



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS - GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**MARCELO PIRES SARAIVA**

**LAMINADO DE MADEIRA REFORÇADO COM FIBRAS NATURAIS**

**BELÉM  
2013**

MARCELO PIRES SARAIVA

**LAMINADO DE MADEIRA REFORÇADO COM FIBRAS NATURAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica do Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, para Obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica. Área de Concentração Materiais e Processos de Fabricação.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Tetsuo Fujiyama

BELÉM  
2013

MARCELO PIRES SARAIVA

**LAMINADO DE MADEIRA REFORÇADO COM FIBRAS NATURAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica do Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, para Obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, Área de Concentração Materiais e Processos de Fabricação.

Data da aprovação:

BANCA EXAMINADORA

-----  
Prof. Dr. Roberto Tetsuo Fujiyama – Orientador

-----  
Profa. Dra. Carmen Gilda Barroso Tavares Dias

-----  
Profa. Dra. Lucineide Balbino da Silva

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, pela minha existência e me abençoar todos os dias;

Ao professor Dr. Roberto Tetsuo Fujiyama pela excelente orientação, paciência e amizade que demonstrou em todos os momentos deste trabalho;

Aos alunos de graduação em Engenharia Naval Jallyson Quaresma de Sousa e Cesar Roberto Paes de Lima Filho, pela colaboração na fabricação dos corpos de prova.

Dedico este mestrado a minha família, meu pai, Francisco Max de Oliveira Saraiva, minha irmã, Márcia Pires Saraiva, meu irmão, Michel Pires Saraiva, minha Mãe, Ana Maria Cabral Pires, minha esposa Bárbara Quadros, as mais novas integrantes da família, Micaele, Sara e, principalmente, a meu filho Artur.

## RESUMO

Visando a aplicação de recursos naturais renováveis da Amazônia, entre estes as fibras naturais, neste trabalho é apresentada a proposta de fabricação e caracterização de laminados de madeira reforçado por compósitos de matriz poliéster e fibras naturais. A matriz é um poliéster teraftálica insaturada e pré-acelerada obtida comercialmente (Duverpoly 754) e o agente de cura um peróxido de MEK (butanox M-50) na proporção de 0,33% em volume. As fibras naturais usadas para cada amostra de laminado fabricado foram o tecido de fibras de tururi, fibras de sisal e fibras de curauá e as laminas de madeira usadas foram as conhecidas comercialmente como imbuia. O tecido de tururi foi usado de duas formas: sem abertura e com abertura de 100% em relação a largura original. As fibras de sisal e curauá foram cortadas em comprimentos de 50 mm na usados na forma de pré-preg. A fabricação do material laminado foi feita através da inserção intercalada de lâmina de material compósito entre as laminas de madeira seguido de pressão controlada através de uma prensa hidráulica com pressão constante de 2 toneladas, produzindo desta forma o laminado de madeira reforçado. Características mecânicas e microestruturais foram obtidas para a lâmina de madeira e para os laminados de madeira reforçados, obtendo-se a resistência a tração, da lamina de madeira e imagens microscópicas depois do ensaio de tração. As laminas de madeira antes do reforço, foram ensaiadas tendo duas orientações de 90° e 0° de orientação das fibras. O laminado de 0°grau apresentou o melhor resistência mecânica, com valor correspondente a 35,64 MPa comparado com o valor de 0,40 MPa para a lamina de 90°. Os ensaios dos laminados de madeira reforçados, de madeira/tururi sem abertura, madeira/tururi com abertura de 100%, madeira/sisal de comprimento de fibras de 50 mm, madeira/curauá de comprimento de fibras de 50 mm, madeira/madeira com orientação de 90°a direção das fibras, alcançaram respectivamente os seguintes resultados de ensaio de tração: 61,33 MPa; 57,27 MPa; 49,27 MPa; 53,76 MPa e 68,29 MPa, sendo que o laminado de madeira/madeira apresentou o melhor resultado e a menor resistência mecânica foi registrado para o laminado de madeira reforçado por fibras de sisal. As imagens obtidas em microscopia eletrônica de varredura corroboraram com as propriedades mecânicas obtidas para cada situação do material e fibra fabricadas.

**Palavra chave:** Laminado de madeira. Tecido de fibra de tururi. Fibra natural.

## ABSTRACT

Towards the implementation of renewable natural resources of the Amazon, between these natural fibers. This paper presents the proposed fabrication and characterization of wooden laminated matrix composites reinforced with polyester and natural fibers. The matrix is an unsaturated and pre-accelerated terephthalic polyester obtained commercially (Duverpoly 754) and a peroxide curing agent MEK (BUTANOX M-50) at a rate of 0.33 % vol. The natural fibers used for each sample of manufactured laminate were Tururi fiber tissue, sisal fibers and defibrated curauá and wood laminates known as Imbuia. The Tururi tissue used with reinforcement was used in two ways: without opening and 100% opening relative to the original width. The curauá and sisal fibers were cut into lengths of 50 mm in the form of pre-preg. The manufacture of the laminated material was done by hand lay-up following controlled pressure through a hydraulic press with a constant pressure of 2 ton. Mechanical and microscopic characteristic were obtained for wood laminates. The wood laminates were assayed having two orientations of 90° and 0° of fiber orientation. The laminate of 0° degree showed the best result with a value corresponding to 35, 64 (MPa) compared to the value of 0,40 (MPa) of the lamina 90°. The tests of the laminates made of wood/Tururi without opening, wood/Tururi with opening 100%, wood/sisal fiber length of 50 mm, wood/curauá fiber length of 50 mm, wood/wood with an orientation of 90 ° the direction of the fibers, respectively achieved the following results in the Attraction tests: 61,33 (MPa), 57,27 (MPa), 49, 27 (MPa), 53, 76 (MPa) and 68, 29 (MPa), being that the laminate / wood presented the best results and lower mechanical strength was recorded for the wood laminate reinforced with sisal fibers. The images obtained in scanning electron microscopy corroborate the mechanical properties obtained for each situation of the manufactured material and fiber.

**Keywords:** Wood laminate; tururi fiber tissue; Natural fibers.

## LISTAS DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Aspecto dos compósitos com fibras orientadas aleatoriamente.....	20
Figura 2- Aspecto dos compósitos unidirecionalmente.....	20
Figura 3- Representação da macromolécula de celulose.....	21
Figura 4- Tecidos de fibra de tururi de tonalidades marrom.....	23
Figura 5- Bolsas fabricadas artesanalmente com tecido de tururi.....	24
Figura 6– Fruto da palmeira de Ubuçu.....	25
Figura 7 – Lâminas de radica.....	29
Figura 8- Lâminas pré-compostas.....	30
Figura 9 – Árvore de espécie <i>Ocotea porosa</i> .....	31
Figura 10 – Tecido de fibra de tururi marrom clara, lavadas e cortadas.....	32
Figura 11 – Lavagem do tururi depois de cortadas e secagem ao sol.....	33
Figura 12 – Fibras de sisal sem tratamento utilizado para corte no comprimento de 50 mm.....	34
Figura 13 – Fibras de curauá desfibradas sem tratamento utilizadas para corte no comprimento de 50 mm.....	35
Figura 14 – Lâmina de madeira de espécie <i>Ocotea porosa</i> conhecida comercialmente como Imbuia rajada.....	36
Figura 15 – Corpos de prova de madeira de espécie <i>Ocotea porosa</i> com direção das fibras a 0° a carga de ensaio.....	37
Figura 16 – Corpos de prova de lamina de madeira de espécie <i>Ocotea porosa</i> com direção das fibras em ângulo de 90° a força de tração.....	37
Figura 17 – Molde superior e inferior usado na fabricação dos laminados.....	38
Figura 18 – Impregnação de resina no molde revestido por uma lamina de película plástica.....	39
Figura 19 – Folha de madeira colocada sobre a superfície.....	39
Figura 20 – Colocação da primeira lamina de madeira e impregnação de resina em sua superfície.....	40
Figura 21 – Tecido de fibra de Tururi sendo colocado sobre a superfície impregnada de resina da folha de madeira.....	40
Figura 22 – Lâmina de madeira sendo impregnada sobre o tecido de tururi.....	41
Figura 23 – Parte superior do laminado com aplicação de transparência.....	41

Figura 24 – Momento da colocação do molde completando a fabricação do laminado.....	42
Figura 25 – Prensa Hidráulica utilizada no experimento.....	42
Figura 26 - Método utilizado para abertura do tecido em 100%.....	43
Figura 27 – Molde usado para manter o tecido de tururi distendido para fabricação dos laminados de 100% de abertura transversal.....	44
Figura 28 – Fabricação de pré-preg de sisal de 50 mm de comprimento de fibras.....	45
Figura 29 – Máquina utilizada no corte dos corpos de prova.....	47
Figura 30- Corpos de prova de laminado madeira/Tururi sem abertura após o corte.....	48
Figura 31 – Microscópio eletrônico de varredura usado nas análises micro estrutural dos compósitos.....	49
Figura 32- Exemplo típico da curva carga versus deslocamento para a lâmina de madeira (0°) após ensaio de tração.....	50
Figura 33- Exemplo típico da curva carga versus deslocamento para a lâmina de madeira (90°) após ensaio de tração.....	50
Figura 34 – Microscopia da lamina de madeira de Octea porosa.....	51
Figura 35 – Laminado de madeira e fibra de Tururi sem abertura.....	52
Figura 36 – Laminado de madeira e fibra de Tururi com abertura de 100%.....	52
Figura 37 – Laminado de madeira e fibra de Sisal.....	53
Figura 38 – Laminado de madeira e fibra de fibra de Curauá.....	53
Figura 39 – Laminado de madeira/matriz poliéster/madeira.....	54
Figura 40 – Resistência a tração dos laminados de madeira reforçados por fibras naturais	55
Figura 41 – Microscopia do laminado de madeira reforçado com tecido de Tururi sem abertura depois do ensaio de tração.....	60
Figura 42 – Visão aproximada da microscopia do laminado de madeira reforçado com tecido de Tururi sem abertura.....	60
Figura 43 – Microscopia do compósito de madeira/tururi com abertura de 100%.....	61
Figura 44 – Pontos de concentração de tensão visualizados no M/T/M/T/M de 100% de abertura transversal a orientação das fibras.....	62
Figura 45 – Microscopia realizada no MEV do laminado de madeira/curauá com fibra de 50 mm de comprimento.....	62
Figura 46- Detalhe da fibra de curauá numa aproximação de 20 $\mu$ m.....	63
Figura 47- Mostra a micro estrutura do compósito de madeira/sisal.....	63
Figura 48- A fibra de sisal com sinais de rompimentos resultante do ensaio de tração.....	64

Figura 49- Micro estrutura do compósito de madeira/matriz poliéster/madeira.....	64
Figura 50- Micro estrutura do compósito de madeira/matriz poliéster/madeira.....	65

## LISTAS DE TABELAS

Tabela 1- Classificação dos materiais compósitos.....	17
Tabela 2- Principais resinas de poliéster.....	19
Tabela 3- Relação de espécies.....	22
Tabela 4- Resumo de uso de <i>Manicaria saccifera Gaertn</i> .....	26
Tabela 5- Propriedades da fibra de sisal encontrada por diversos autores.....	27
Tabela 6- Laminas pré- compostas de Imbuia.....	30
Tabela 7- Propriedades mecânicas obtidas em ensaio de tração para as fibras de tururi com e sem abertura.....	33
Tabela 8- Propriedades mecânicas obtidas em ensaio de tração para as fibras de Sisal.....	34
Tabela 9- Propriedades mecânicas obtidas em ensaio de tração.....	35
Tabela 10- Resultado do ensaio de tração das lâminas de 0° e 90°.....	49
Tabela 11 – Resultados experimentais para as propriedades de tração do compósito de madeira/tururi sem abertura.....	54
Tabela 12 - Quadro comparativo de compósitos.....	57
Tabela 13- Fração mássica dos compósitos de madeira/matriz poliéster/madeira, madeira/tururi sem abertura, madeira/tururi com abertura, madeira/fibra de sisal e madeira/fibra de curauá.....	58

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
1.1 OBJETIVO GERAL.....	15
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	15
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>16</b>
2.1 MATERIAIS COMPÓSITOS.....	16
2.2 MATRIZ.....	17
<b>2.2.1 Resina poliéster.....</b>	<b>18</b>
2.3 REFORÇO.....	19
<b>2.3.1 Fibras vegetais.....</b>	<b>21</b>
2.3.1.1 Tecido de fibra de tururi.....	22
2.3.1.2 Fibra de sisal.....	26
2.3.1.3 Fibra de curauá.....	28
<b>2.3.2 Lâmina de madeira.....</b>	<b>29</b>
2.3.2.1 Madeira de espécie Octea porosa.....	31
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>32</b>
3.1 MATERIAIS.....	32
<b>3.1.1 Resina poliéster.....</b>	<b>32</b>
<b>3.1.2 Fibra de tururi.....</b>	<b>32</b>
<b>3.1.3 Fibra de sisal.....</b>	<b>34</b>
<b>3.1.4 Fibras de curauá.....</b>	<b>34</b>
<b>3.1.5 Lâmina de madeira.....</b>	<b>35</b>
3.2 METODOLOGIA EXPERIMENTAL.....	36
<b>3.2.1 Caracterização da lâmina de madeira.....</b>	<b>36</b>
3.2.1.1 Ensaio de tração da lâmina de madeira.....	36
3.2.1.2 Microestrutura da lâmina de madeira.....	38
<b>3.2.2 Fabricação do compósito de lâmina de madeira/tururi sem abertura.....</b>	<b>38</b>
3.2.2.1 Molde para fabricação do compósito de madeira/tururi sem abertura.....	38
<b>3.2.3 Fabricação do compósito de lâmina de madeira/tururi com abertura.....</b>	<b>43</b>
3.2.3.1 Procedimento de abertura do tecido de fibra de tururi.....	43

<b>3.2.4</b>	<b>Fabricação do compósito de lâmina de madeira/sisal.....</b>	<b>44</b>
3.2.4.1	Técnica de preparação do pré-preg de Sisal.....	45
<b>3.2.5</b>	<b>Fabricação do compósito de lâmina de madeira/curauá.....</b>	<b>46</b>
3.2.5.1	Técnica de preparação do pré-preg de curauá.....	46
<b>3.2.6</b>	<b>Fabricação do compósito laminado de madeira/matriz poliéster/madeira.....</b>	<b>46</b>
<b>3.2.7</b>	<b>Determinação da fração mássica de fibras, lâmina de madeira e de matriz dos laminados madeira/matriz poliéster/madeira, madeira/tururi sem abertura, madeira/tururi com abertura, madeira/fibra de sisal e madeira/fibra de curauá.....</b>	<b>47</b>
<b>3.2.8</b>	<b>Corte e preparação dos corpos de prova de madeira/matriz poliéster/madeira, madeira/tururi sem abertura, madeira/tururi com abertura, madeira/fibra de sisal e madeira/fibra de curauá.....</b>	<b>47</b>
<b>3.2.9</b>	<b>Ensaio de tração dos corpos de prova de madeira/matriz poliéster/madeira, madeira/tururi sem abertura, madeira/tururi com abertura, madeira/fibra de Sisal e madeira/fibra de Curauá.....</b>	<b>48</b>
<b>3.2.10</b>	<b>Caracterização micro estrutural dos compósitos.....</b>	<b>48</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>50</b>
4.1	RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DA LÂMINA DE MADEIRA.....	50
4.1.1	Ensaio de tração da lâmina de madeira.....	50
4.1.2	Micro estrutura da lâmina de madeira.....	52
4.2	RESULTADOS DO ENSAIO DE TRAÇÃO DOS COMPÓSITOS DE MADEIRA/MATRIZ POLIÉSTER/MADEIRA, MADEIRA/TURURI SEM ABERTURA, MADEIRA/TURURI COM ABERTURA, MADEIRA/FIBRA DE SISAL E MADEIRA/FIBRA DE CURAUÁ.....	58
4.3	RESULTADOS DA FRAÇÃO MÁSSICA DOS COMPÓSITOS DE MADEIRA/MATRIZ POLIÉSTER/MADEIRA, MADEIRA/TURURI SEM ABERTURA, MADEIRA/TURURI COM ABERTURA, MADEIRA/FIBRA DE SISAL E MADEIRA/FIBRA DE CURAUÁ.....	59
4.4	RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DA FRATURA DOS COMPÓSITOS DE MADEIRA/MATRIZ POLIÉSTER/MADEIRA, MADEIRA/TURURI SEM ABERTURA, MADEIRA/TURURI COM ABERTURA, MADEIRA/FIBRA DE SISAL E MADEIRA/FIBRA DE CURAUÁ.....	60
4.4.1	Micro estrutura do compósito de madeira/tururi sem abertura.....	60
4.4.2	Micro estrutura do compósito de madeira/tururi com abertura.....	62

<b>4.4.3 Micro estrutura do compósito de madeira/curauá.....</b>	<b>63</b>
<b>4.4.4 Micro estrutura do compósito de madeira/sisal.....</b>	<b>64</b>
<b>4.4.5 Micro estrutura do compósito de madeira/matriz poliéster/madeira.....</b>	<b>65</b>
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>67</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>68</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho intitulado “Laminado de madeira reforçado com fibras naturais” mostra a aplicação como reforço para materiais compósitos de fibras vegetais tipicamente amazônicos e apresenta uma que até então é pouca conhecida da comunidade científica sendo empregado em materiais já existentes como laminas de madeira formando um tipo mais trabalhado de compensado que possa apresentar boas características mecânicas.

Muitos são os estudos desenvolvidos utilizando fibras naturais como reforço de materiais compósitos, verifica-se na atualidade a grande demanda por materiais compósitos de alto desempenho que possuam propriedades estruturas fortes, rígidas e com baixo peso, além de ecologicamente satisfatórios.

Nesse contexto, as fibras vegetais estão sendo cada vez mais usadas para estes propósitos por apresentarem vantagens que atendem a atual realidade de produção que segundo DWEIB *et. al.* (2004) as fibras vegetais apresentam vantagens importantes como, por exemplo: baixa massa específica; maciez e abrasividade reduzida; recicláveis, não tóxicas e biodegradáveis; baixo custo estimula emprego na zona rural e menor consumo de energia na produção, são relativamente mais leves e com boas propriedades mecânicas, quando usadas como reforço de materiais compósitos K. SABEEL AHMED (2008).

As Fibras vegetais são biodegradáveis com os processos biológicos, térmicos, químicos, renováveis e geram materiais recicláveis. A utilização de fibras vegetais reforçando compósitos não é recente, e segue uma tendência global associado a aspectos ecológicos e econômicos. Há também um aspecto social, uma vez que esses materiais são oriundos de regiões economicamente desfavorecidas (SILVA, 2003).

Laminados a partir de materiais compósitos utilizando fibras lignocelulosicas tem sido objeto de intensa pesquisa à procura de novas alternativas para a fabricação e desenvolvimento de produtos provenientes de fontes renováveis e melhoria de produtos já existente como o compensado que neste trabalho procura-se, através do uso de reforço por fibras vegetais, no caso o tecido de tururi, sisal e curauá desenvolver um produto com boas propriedades mecânicas, economia e com maior biodegradabilidade.

O tururi se insere apresentando características como tecido fibroso que consiste em um invólucro flexível e resistente que protege os frutos da palmeira do Ubuçu, que dependendo do espécime do qual é extraída, pode atingir de 30 a 80 cm de comprimento. Esses tecidos

apresentam diferentes tonalidades de cores que variam do marrom mais claro ao marrom escuro, dependendo da fase de maturação dos frutos (CORREA, 1978).

A palmeira Ubuçu (*Manicaria saccifera*) ou bussú como é conhecida, possui monocaule, com 0,5 a 10 m de altura e caule geralmente coberto com folhas velhas, persistentes, medindo de 15 a 20 cm de diâmetro. Espécie amplamente distribuída nos países do norte da América do Sul, em baixas elevações, nos terrenos arenosos e úmidos. A maior abundância de ubuçu está nas áreas próximas aos rios de água preta e solos arenosos ácidos. No Brasil ela ocorre nos estados do Amazonas e Pará.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é a fabricação de laminas de madeira reforçado por fibras naturais de tururi, de sisal e de curauá, todas fabricadas com laminas de madeira de espécie *Ocotea porosa* conhecida comercialmente com Imbuia rajada. Sendo a fibra de tururi na forma de tecido natural e o sisal e curauá na forma de pré-pregs.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Entre os objetivos específicos tem-se:

Fabricar compósitos laminados utilizando tecido de fibra de tururi;

Fabricar compósitos laminados utilizando pré-pregs de fibra de sisal;

Fabricar compósitos laminados utilizando pré-pregs de fibra de curauá;

Fabricar compósitos laminados utilizando somente lamina de madeira;

Avaliar as propriedades no ensaio de tração dos compósitos de lamina de madeira reforçado por fibras de curauá, sisal, curauá e o laminado puro madeira/madeira;

Avaliar as características microestruturais após a fratura no ensaio de tração;

Avaliar os materiais produzidos em comparação com outros mencionados na literatura.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 MATERIAIS COMPÓSITOS

Materiais compósitos são resultantes da combinação entre dois ou mais materiais de modo a formar um novo produto com características diferentes dos constituintes originais. Estes materiais são produzidos através da mistura física de uma fase dispersa que pode ser na forma de partículas, fibras ou mantas em uma fase contínua, denominada matriz (SANTOS, 2006).

Segundo Callister Jr., (2002) materiais compósitos consistem de dois ou mais materiais que em conjunto produzem propriedades as quais não podem ser obtidas com qualquer um dos componentes sozinhos.

O interesse por esses materiais de engenharia está ligado a dois fatores: economia e performance. O fator economia vem do fato do material compósito ser muito mais leve que os materiais metálicos, o que implica numa economia de combustível e conseqüentemente, num aumento de carga útil (aeronáutica e aeroespacial). A redução na massa total do produto pode chegar a 30% ou mais, em função da aplicação dada ao material compósito.

O fator performance está ligado a procura por um melhor desempenho de componentes estruturais, sobretudo no que diz respeito às características mecânicas (resistência a ruptura, resistência à ambientes agressivos, etc.). O caráter anisotrópico dos compósitos, também é de suma importância para a obtenção das propriedades mecânicas requeridas pelo componente. A leveza juntamente com as excelentes características mecânicas faz com que os materiais compósitos sejam cada vez mais utilizados dentro das diversas atividades inclusive esportivas (PEREIRA,2000).

Estes materiais de Engenharia são alternativa viável para a produção de inúmeros materiais envolvendo diversos segmentos do mundo como aeronáuticos (fuselagem de avião, hélice de helicóptero), a automobilística (fabricação de pára-choque, carroceria de caminhão), náuticos (fabricação de barco) químicos (tanques para armazenamento de produtos químicos) entre outras indústrias.

Há três tipos de categorias para classificar os materiais compósitos: os reforçados por fibras, os particulados e os laminados, conforme ilustra a tabela 1. Vale ressaltar que o presente trabalho será desenvolvido o compósito classificado na categoria de laminado utilizando reforço de tecido de fibra vegetal.

**Tabela 1- Classificação dos materiais compósitos**

CLASSE DO COMPÓSITO	DEFINIÇÃO	EXEMPLO
Reforço por fibras	Compósito no qual um material forma a matriz externa e transfere quaisquer cargas aplicadas para as fibras frágeis e mais resistentes.	Compósitos de fibra de vidro - poliéster
Particulado	Compósito que contém grande número de partículas grossas, para reforçar a matriz.	Concreto
Laminado	Compósito que é fabricado alternando – se o empilhamento de diferentes materiais, mantidos juntos por um adesivo.	

Fonte: NEWELL, James. “Fundamentos da Moderna Engenharia e Ciência dos Materiais” (2010).

Os laminados, de acordo com a teoria clássica, é um compósito constituído pela justaposição sucessiva de várias lâminas que obedece a uma seqüência de orientação especificada, recebendo a designação de laminado (SILVA LEITÃO, 2007). Quando o laminado é formado por lâminas de diferentes materiais de reforço, é denominado de híbrido, dessa forma, compósito constituído por pelo menos dois tipos de reforços como, por exemplo, fibra vegetal e madeira, é designado de laminado híbrido.

### 1.1 MATRIZ

A matriz utilizada na manufatura de materiais compósitos tem como finalidades transferir as solicitações mecânicas ao reforço, conferindo ductibilidade à sua estrutura e coesão. Envolvendo o material de reforço dando ao compósito flexibilidade e ao mesmo tempo proteção contra o ambiente externo.

Os tipos de matrizes mais utilizadas são: Metálicas, Cerâmicas e Poliméricas, sendo que as matrizes poliméricas são as mais aplicadas em compósitos. A mesma pode ser classificada em termoplásticos e termorrígidos.

Termoplásticos são materiais formados por macromoléculas, ligadas entre si por forças relativamente fracas, do tipo Van de Waals. Quando aquecidos tornam-se flexíveis devido à quebra das ligações intermoleculares, atingindo um estado líquido viscoso quando na presença de temperatura acima da transição vítrea Tg. Esta temperatura é definida como

sendo o valor médio da faixa de temperatura entre a linha base quando o material se encontra rígido e a linha base quando o material se encontra em um estado amolecido, também denominado de estado borrachoso (CANEVAROLO, 2002).

Classificam-se como termoplásticos o polietileno, cloreto de polivinila, poliestireno, poliamida, acetato de celulose, policarbonato e polipropileno. Os termoplásticos apresentam uma importante característica de retornar ao estado sólido quando resfriado. Este ciclo de aquecimento e resfriamento pode ser repetido por diversas vezes, sendo à base de inúmeros processos de fabricação (SILVA LEITÃO, 2007).

Já os termorrígidos, diferente dos termoplásticos, não podem ser refundidos e conformados repetidamente, devido a forte ligação covalente entre as cadeias. Sua produção é realizada através de uma reação química em dois estágios. O primeiro estágio resulta na formação de moléculas de cadeias longas similares às apresentadas pelos termoplásticos, porém ainda capazes de reagir. O segundo estágio da reação consiste na formação de ligações cruzadas entre as cadeias formadas no primeiro estágio, normalmente através da adição de agentes de cura e aplicação de calor e/ou pressão.

### **1.1.1 Resina poliéster**

Uma das matrizes termorrígidas conhecidas são as Resinas Poliéster. As mesmas são uma família de polímeros formados da reação de ácidos orgânicos dicarboxílicos e glicóis que, quando reagidos, dão origem a moléculas de cadeias longas lineares. Se um ou ambos constituintes principais são insaturados, ou seja, contêm uma ligação dupla reativa entre átomos de carbono, a resina resultante é insaturada. A reação de síntese da resina poliéster é uma reação de polimerização por condensação em etapas, ou seja, a reação de um álcool (base orgânica) com um ácido, resultando em uma reação de esterificação, formando um éster e água (LEVY NETO; PARDINI, 2006).

O poliéster insaturado é produzido quando qualquer dos reagentes contém instaurações. Essa denominação insaturado é oriunda da presença de duplas ligações na sua cadeia molecular. A insaturação do poliéster é fornecida, geralmente, pelo ácido ou anidrido maleíco, assim como pelo seu isômero, ácido fumárico. (PEDROSO, 2002. *apud*. RODRIGUES, 2008).

As principais resinas poliéster são as ortoftálicas, as tereftálicas, as isoftálicas e as bisfenólicas. Existem ainda algumas outras variações que são desenvolvidas periodicamente

para necessidades específicas como as de ácido HET (melhor resistência química), bromadas (características anti – chamas), low – profile (baixa contração), emulsionadas (baixo teor de estireno-ecológica), etc. A tabela 2 mostra as principais resinas de poliéster: (TAKAHASHI, 2011)

**Tabela 2- Principais resinas de poliéster**

PRINCIPAIS RESINAS	COMENTÁRIOS
Ortoftálica	Resina mais comum de menor custo para usos básicos não nobres
Tereftálica	Possui resistência físicas pouco superiores a ortoftálica porém baixa resistência a UV
Isoftálica	Melhores características mecânicas, químicas e térmicas que as anteriores
Bisfenólica	Possui melhores características químicas e térmicas

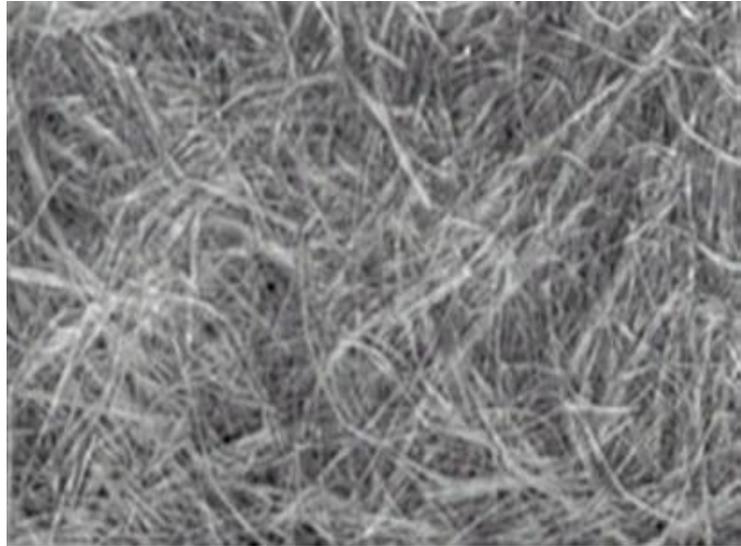
Fonte: Elaboração de TAKAHASHI (2011)

## 1.2 REFORÇO

Os reforços para compósitos têm como principal objetivo receber e distribuir a solicitação mecânica sofrida pelo material compósito. Geralmente a resistência à tração do reforço (fibras) é superior ao da matriz.

O arranjo do reforço pode ser orientado de forma unidirecional, quando orientada segundo uma mesma direção; bidimensionais, com as fibras orientadas segundo duas direções ortogonais (tecidos); tridimensionais, quando orientadas no espaço tridimensional (tecidos multidimensionais) ou com as fibras orientadas aleatoriamente. Na figura 1 e figura 2 segue um esquema representativo das fibras orientadas de forma aleatórias e das unidirecionais.

**Figura 1- Aspecto dos compósitos com fibras orientadas aleatoriamente**



Fonte: Mattews e Rawlings, (1994)

**Figura 2- Aspecto dos compósitos unidirecionalmente**



Fonte : Mattews e Rawlings, (1994)

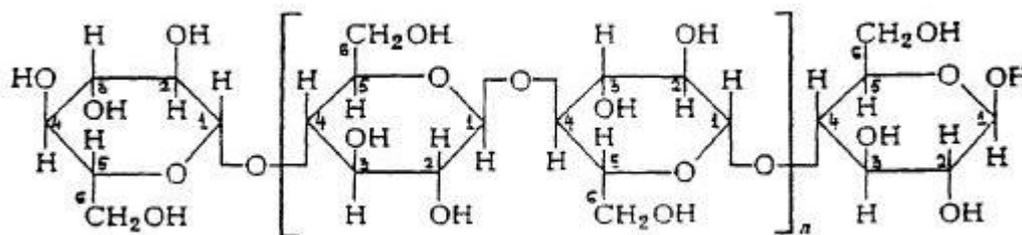
As fibras comumente usadas para reforço podem ser de vários tipos como: fibras vegetais, fibras minerais, fibras animais.

### 2.3.1 Fibras vegetais

As fibras vegetais são classificadas de acordo com a sua origem e podem ser agrupadas em fibras de semente (algodão), fibras de caule (juta, linho, cânhamo), fibras de folhas (bananeira, sisal, piaçava, curauá, abacá, henequém), fibras de fruto (côco) e fibras de raiz (zacatão). As fibras oriundas do caule ou das folhas são chamadas fibras duras e são mais utilizadas como reforço em compósitos poliméricos (SILVA, 2003).

O componente principal das fibras vegetais é a celulose. A unidade elementar da macromolécula da celulose, Figura 3, é a anidro-d-glicose, que contém três radicais hidroxilas (-OH). Estas hidroxilas formam ligações de hidrogênio dentro das moléculas (intramoleculares) e entre moléculas de celulose (intermoleculares), bem como com grupos hidroxila da umidade do ar. Portanto, todas as fibras vegetais são hidrofílicas, isto é, absorvem água numa faixa de 8 a 12,6 %. Outra característica importante das fibras vegetais é seu grau de polimerização. As moléculas de cada fibra diferem neste aspecto e, conseqüentemente, as fibras são uma mistura complexa de série homóloga  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . As fibras da entrecasca das plantas normalmente apresentam o maior grau de polimerização (aproximadamente).

Figura 3- Representação da macromolécula de celulose



Fonte: Saraiva, Marcelo (201)

Cada fibrila possui uma estrutura complexa e em camadas, consistindo de uma fina casca envolvendo uma segunda camada interna mais espessa. Esta última é que determina as propriedades mecânicas da fibra. As fibrilas formam espirais ao longo do eixo das fibras. A resistência e rigidez das fibras correlacionam-se com o ângulo entre a fibrila e esse eixo. Quanto menor esse ângulo, melhor a propriedade mecânica da fibra.

Assim, as propriedades mecânicas das fibras vegetais dependem do teor de celulose, do seu grau de polimerização e do ângulo das fibrilas. Fibras com maior conteúdo de celulose, alto grau de polimerização e um baixo ângulo micro-fibrilar, exibem alta resistência à tração

e rigidez. Também fazem parte da composição das fibras, as ceras, porém em menor quantidade. Elas são responsáveis pelas características de molhabilidade e adesão das fibras.

As propriedades das fibras vegetais podem variar consideravelmente, dependendo de onde são retiradas das plantas, se do caule ou das folhas, do local da plantação e do pré-condicionamento das mesmas.

No entanto, basicamente, as fibras apresentam em sua composição: celulose, hemicelulose, como moléculas unidas umas as outras por lignina (HILLIG, 2006)

A fibra de cana-de-açúcar, por exemplo, é composta por, aproximadamente, 40% de celulose, 30% de hemicelulose e 20% de lignina (MOHANTY,2005)

Nos compósitos, a celulose é responsável pela ligação das fibras ao polímero, enquanto que a lignina atua impedindo a difusão da matriz na celulose, dificultando a aderência da fibra ao polímero. Esses constituintes são polímeros naturais que podem substituir os polímeros sintéticos em compósitos, possibilitando o desenvolvimento de novos materiais e novas tecnologias de produção.

De acordo com a espécie vegetal, as fibras podem ser extraídas das folhas, do caule, dos frutos e até das sementes seguindo relação da Tabela 3.

**Tabela 3- Relação de espécies.**

PARTES DA PLANTA	VEGETAIS	FIBRAS
FOLHA	SISAL, CURAUÁ	Fibras estruturais, fibras vasculares (xilema), fibras durais.
CAULE	LINHO, RAMI, JUTA	Fibras liberianas (floema), fibras macias.
FRUTO	COCO, PAINA	
SEMENTE	ALGODÃO	Pelos ou tricomas, fibras unicelulares.

Fonte: Saraiva, Marcelo (2012)

#### 2.3.1.1 Tecido de fibra de tururi

O tururi é o nome dado ao invólucro flexível e resistente que protege os frutos da palmeira do Ubuçu, que dependendo do espécime do qual é extraída, pode atingir de 30 a 80 cm de comprimento (HAGE, 2009). Esses tecidos apresentam diferentes tonalidades de cores que variam do marrom mais claro ao marrom escuro, dependendo da fase de maturação dos frutos. A figura 4 mostra o tecido de fibra de tururi de coloração marrom.

**Figura 4- Tecidos de fibra de tururi de tonalidades marrrom.**



Fonte: Saraiva, Marcelo Pires (2012)

A Palmeira de Ubuçu é conhecido cientificamente de *Manicaria saccifera*, distribuindo-se desde a América Central até o Brasil, Colômbia, Guianas, Venezuela (ANDERSON *et al.*, 1991), Suriname (OLIVEIRA *et al.*,1991), Equador e Peru. No Brasil, estende-se do Amazonas ao Paraná (CORRÊA, 1978).

O Ubuçu é de boa adaptação e, é também encontrado em quase todos os ambientes amazônicos, das florestas densas às várzeas e igapós. Seu tecido, segundo Hage (2009), já vem sendo utilizado, “*in natura*” ou tingido, para a confecção de bolsas, acessórios e roupas, além de outros potenciais produtos para a indústria da moda, como as apresentadas pelo estilista Jefferson Kulig, em um desfile para São Paulo Fashion Week, em 2006.

O tururi também é empregado no artesanato na fabricação de produtos como sandálias, chapéus, utensílios domésticos, etc, Figura 5, uma das grandes expressões no uso do tururi para esses propósitos é a Associação Flor do Marajó, localizada em Muaná, onde cerca de 30 famílias trabalham na atividade, a mesma contribuiu com este trabalho doando tecidos de fibra e ajudando na colheita do tururi.

**Figura 5- Bolsas fabricadas artesanalmente com tecido de tururi.**



Fonte: Saraiva, Marcelo (2012)

A Palmeira Ubuçu é um vegetal de clima tropical úmido e Equatorial, pertencente à seguinte classificação botânica: Reino Plantae; divisão Magnoliophyta; classe Liliopsida; ordem Arecales; família Arecaceae; gênero *Manicaria* e espécie *M. saccifera*. (SOUZA et al, 2008).

Esta palmeira possui folhas grandes capazes de suportar ventos de chuva e, como consequência, sofrem, freqüentemente, rachaduras na nervura central, formando seções semelhantes aos folíolos.

O fruto do buço é globoso ou 2 – 3 lobados, marrons (ANDERSON et al., 1991), superfície coberta com tricomas lenhosos piramidais; sementes globosas de cerca de 3 – 4 cm, como mostra a Figura 6.

**Figura 6– fruto da palmeira de ubuçu**



Fonte: Saraiva, Marcelo (2012)

Quase todas as partes desta palmeira tem utilização. Populações ameríndias usam as folhas para telhados, espata para fibras, caule como uma excelente fonte de amido e os frutos como fonte de óleo (BALICK, 1979). O buçu é usado também na alimentação de animais domesticados, para atrair animais, como ornamental e medicinal, dentre outros.

Na construção, as folha do buçu são pouco recortadas, têm grande durabilidade (CAVALCANTE, 1988), variando de 6 a 8 anos (OLIVEIRA et al., 1991), são também impermeáveis (LORENZI et al., 1996). Estas folhas fornecem um material que é utilizado para cobertura de casas, de barcos (ANDERSON et al., 1991), choupanas dos arrebaldes e, em algumas ilhas, muitas barracas de seringueiros são construídas com estas folhas (CAVALCANTE, 1988). Também são utilizadas para construção de galinheiros e tapiris. As folhas têm um valor paisagístico servindo para cobrir barracas e malocas estilizadas (OLIVEIRA et al., 1991).

Na Guiana, o leite obtido de frutos novos é usado contra resfriados e sapinhos, uma infecção fúngica da língua ou boca de bebês. Na Venezuela, este leite é empregado contra resfriados e asma. A água do fruto facilita a respiração. O “palmito” ralado é misturado com a água do fruto e embebido (PLOTKIN e BALICK, 1984).

Os índios warao, na Venezuela, empregam essa palmeira contra a febre e utilizam a água do fruto para remover impurezas. Por dia, são bebidos três copos de líquido. Também

empregam os eófilos frescos de *Mauritia* sp. misturados com a água do fruto do buçu para uma criança de sexo oposto, e colocada para descansar por 48 horas. Depois, é aplicada no corpo, especialmente na têmpora e na testa. Esse procedimento é repetido três vezes ao dia. Onde crianças pequenas são lavadas com esse líquido, da cabeça aos pés, no caso de diarreia acompanhada de febre (PLOTKIN e BALICK, 1984). A tabela 4 ilustra a relação da parte da planta e seu uso.

**Tabela 4- Resumo de uso de *Manicaria saccifera* Gaertn**

<b>Parte da planta</b>	<b>Forma</b>	<b>Categoria do uso</b>	<b>Uso</b>
Caule	-	Alimento humano	Fonte de amido
Folha	Fibra	Artesanato	Confecção de chapéus, bolsas, sacolas, chinelos, peças de vestuário e artigos de decoração em geral
Folha	Integral	Construção	Cobertura de casas, barcos, choupanas, barracas; construção de galinheiros, tapiris, para cobrir barracas e malocas estilizadas.
Folha	-	Outros	Pecíolo para fazer fogo.
Folha	Integral	Outros	Velas para canoas.
Fruto	In natura	Alimento animal	Alimento para animais domesticados.
Fruto	-	Alimento humano	Fonte de óleo.

Fonte: Saraiva, Marcelo (2012)

### 2.3.1.2 Fibra de sisal

A fibra de sisal é extraída das folhas do *Agave Sisalana*, *Agave Veracruz* ou *Agave Cantala*. É uma fibra leve, atóxica, que apresenta alto módulo e resistência específica e custa aproximadamente dez vezes menos que a fibra de vidro. Esta fibra tem uma composição química básica de 47 – 62% de celulose, 7 – 9 % de lignina, 21 – 24% de pentose e 0,6 – 1% de cinzas (ROWELL et al., 1997).

A extração de fibras a partir das folhas de sisal envolve o corte e a descorticação das mesmas, seguidos de lavagem, secagem e da limpeza das fibras. As folhas de sisal são

estruturas tipo sanduíche, e a partir de cada uma delas pode-se extrair de 700 a 1400 fibras, que variam de 0,5 a 1 metro em comprimento (LEVY NETO; PARDINI, 2006).

Cada fibra de sisal (fibra técnica) é constituída por uma centena de fibras elementares ligadas entre si. Possuem um alto teor de celulose, excelentes propriedades de resistência à ruptura e alongamento e boa resistência à ação da água salgada (SILVA, 2003).

A fibra de sisal possui seção transversal arredondada, porém irregular e variável, decrescendo em direção às extremidades livres das folhas. Além disso, a resistência à tração das fibras de sisal não é uniforme ao longo das mesmas. Todos estes fatores contribuem para elevar a variação das propriedades mecânicas das fibras, influenciando, conseqüentemente, na qualidade dos compósitos (LEVY; NETO; PARDINI, 2006).

A tabela 5 apresenta algumas propriedades mecânicas e físicas das fibras de sisal encontradas por diversos autores.

**Tabela 5- Propriedades da fibra de sisal encontrada por diversos autores**

<b>Autor</b>	<b>Diâmetro (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>M. Específica (<math>\text{g}/\text{cm}^3</math>)</b>	<b>Resist. Tração (MPa)</b>	<b>Alongamento (%)</b>
CARVALHO (2005)	482,16	1,591	218,3 ( $\pm 51,2$ )	7,07% ( $\pm 3,95$ )
SAVASTANO JR. (2004)	204	1.387	-	-
SILVA (2003)	194	-	176 ( $\pm 63,36$ )	2,2% ( $\pm 0,04$ )
TORRES; CUBILLAS (2005)	223,53	-	268,11	2,08%
SILVA, BELTRÃO (1999)	223,50	-	268,11	2,08%
IDICULA et al. (2005)	205 ( $\pm 4,3$ )	1,41	350 ( $\pm 7$ )	6 – 7%
WAMBUA ET AL. (2003)	-	1,33	600 - 700	2 – 3%

Fonte: Arquivo Pessoal

A fibra de sisal se destaca entre as fibras foliares, em termos de qualidade e de aplicação comercial, e também por possuir um dos maiores valores de módulo de elasticidade. Estudos recentes demonstram que o sisal pode ser utilizado com reforço para polímeros comerciais, tais como o polietileno e a borracha natural (VARGHESE et al., 1994, JOSEPH ET et al, 1995).

O sisal pode ser utilizado de maneira bastante satisfatória para o reforço de peças plásticas com diferentes aplicações na indústria automobilística. Várias indústrias fornecedoras de peças plásticas para as montadoras de automóveis, ônibus e caminhões já vêm utilizando fibras vegetais em suas formulações, dentre os quais se destacam fibras vegetais nas seguintes peças: revestimentos internos da cabina (teto, parede traseira e portas), apoio de cabeça e encosto de banco, pára-sol externo, painel de instrumentos, bolsa de ferramentas, encapsulamento de cabina/motor e pára-choque.

Existe, também, o desenvolvimento desses materiais plásticos reforçados com fibras de sisal para o uso na construção civil, como por exemplo, em substituição de placas de madeira ou em formulação com argamassa.

#### 2.3.1.3 Fibra de curauá

A fibra de curauá é produzida de forma similar a extração das fibras de sisal. O curauá, denominado cientificamente de *Ananas erectifolius*, caracteriza-se por ser uma monocotiledônea herbácea da família das bromélias e por ser também uma planta típica da região amazônica paraense. O curauá pertence ao gênero *Ananas* e a espécie *Ananas erectifolius*.

De acordo com Takahashi, 2011, a planta de curauá é encontrada na natureza contendo diferentes colorações referentes às suas folhas, há o curauá que apresenta em suas folhas uma coloração roxo-avermelhada e outro com coloração verde-claro o qual é conhecido vulgarmente como curauá branco.

A folhagem do curauá mede cerca de 5 cm de largura por 5 mm de espessura e o comprimento é de aproximadamente 1,5 m.

A fibra de curauá é caracterizada por um alto conteúdo de holocelulose e celulose-R e baixo teor de lignina, (IDICULA et al 2005). Suas seções transversais são variáveis, decrescendo em direção às extremidades livres das folhas. A resistência à tração das fibras de curauá não é uniforme. Essas propriedades contribuem no sentido de elevar a variação das propriedades mecânicas dessa fibra, o que resulta na qualidade dos compósitos produzido por este tipo de fibra (LEVY NETO; PARDINI, 2006).

A fibra de curauá vem sendo apontado como um possível substituto da fibra de vidro, uma vez que se trata de um produto natural biodegradável, oriundo de fonte renovável, o que representa vantagem em relação às fibras de vidro. Além disso, sua utilização pode ainda

gerar renda e com isso promover tanto o desenvolvimento social quanto o econômico das regiões amazônicas.

### 2.3.2 Lamina de madeira

São finos cortes de madeira variando de 0,50 mm a 2,0 mm de espessura, com tamanhos e comprimentos variados de 20 a 70 cm e comprimento a partir de 2,6 m. Podem-se criar lâminas mais largas com um processo de emenda de duas peças, podendo ser obtidas por dois processos: o torneamento, e o faqueamento. Além de madeiras naturais, um diferencial no revestimento de Aglomerado, MDF ou Compensado pode ser as lâminas de radica natural ou de lâminas pré-compostas.

- **Radica Natural:** A fabricação da radica é praticamente igual à lâmina reta, só que o seu corte pode ser feito em galhos, forquilhas, raízes e tronco atravessado. Não existem radicas naturais com mais de 18 cm de largura e 1,20 m de comprimento, somente as de tronco que podem chegar até 90 cm de diâmetro, conforme ilustra a figura 7.

**Figura 7 – Lâminas de radica**



Fonte: Arquivo Pessoal.

A madeira é extremamente selecionada, que são cozidas em caldeiras específicas, fatiadas em guilhotinas e a secagem em estufas que aquecem a vaporização simultaneamente. Este processo é demorado e cuidadoso, pois a perda é de 40% na fabricação sem contar as perdas no transporte até chegar ao uso final.

-**Lâminas Pré- Composta:** Outra boa opção para a marcenaria é a lâmina pré-composta ilustrada na Figura 8, que utiliza madeira reflorestada. Seu processo de fabricação é diferente, pois a matéria-prima é fatiada em lâminas finas, que são prensadas e novamente

cortadas. Esse processo cria um desenho chamado lenheiro, que possui traçado paralelo. Quando esse bloco é novamente prensado e cortado em outro ângulo, o traçado se modifica e surge assim lâmina catedral.

**Figura 8- Lâminas pré-compostas**



Fonte: Saraiva, Marcelo (2012).

O processo pode ainda ser repetido várias vezes, o que possibilita uma variação de padrões praticamente infinita. No quarto corte, por exemplo, o desenho cria a lâmina radica pré-composta.

A tabela 6 apresenta a lamina pré-composta de imbuia rajada utilizada neste trabalho e suas aplicações.

**Tabela 6- Laminas pré-compostas de Imbuia.**

	<p><b>Imbuia</b> – Uso:contraplacado, pisos, prateleiras, objetos decorativos, etc. Cerne muito variável, indo do pardo-claro-amarelado ao pardo-escuro-vermelhado, normalmente com a presença de veios mais escuros paralelos ou andulados, superfície irregularmente lustrosa e lisa e odor característico e agradável. A madeira de Imbuia apresenta massa específica e resistência mecânica médias, com retratibilidade volumétrica baixa. É considerada de boa durabilidade natural.</p>
--	---

Fonte: Saraiva, Marcelo (2012)

### 2.3.2.1 Madeira de espécie *Octea porosa*

A *Octea porosa* (Figura 9), fulgarmente chamada de imbuia, canela-imbuia, imbuia-clara, imbuia-parda, imbuia-preta, imbuia-amarela, imbuia-rajada, imbuia-lisa, imbuia-brasina, imbuia-reversa, umbuia, imbuia-zebrina (LORENZI, 2002 e RIZZINI, 1978). Consiste em uma madeira de excelente qualidade, bastante comercializada como laminas de decoração e revestimento. Floresce e frutifica de novembro a abril e frutifica de março a outubro e dezembro.

A madeira apresenta altura de 15 m, folhas alternadas, bem como, odor acentuado. A espécie quando coletada na floresta Ombrófila Mista apresenta folhas lanceoladas, diferindo das obovadas ou elípticas. Vegetativamente pode ser confundida com *O. catharinensis* e *O. elegans*, diferindo pelas domácias cobertas por tricomas ferrugíneos.

A mesma habita na Floresta Ombrófila Densa no Paraná é encontrada nas formações Montana e Altomontana, ocupando o dossel, entre 850 a 1.650 m s.n.m. na região Sul (BAITELLO et al.,2003). A espécie é amplamente distribuída na FOD do Paraná e facilmente encontrada, sendo categorizada nos critérios da IUCN (2001) com Preocupação Menor (LC), cuja distribuição geográfica ocorre no Paraguai e no Brasil, em São Paulo e na região Sul, (BAITELLO et al., 2003) sendo bastante comercializada em grande parte dos estados brasileiros.

A madeira é de excelente qualidade, empregada principalmente para fabricação de mobiliário de luxo. Também é utilizada na forma de peças serradas para construção civil ou como lâmina para faces externas de compensados. Pode ainda ser utilizada na fabricação de instrumentos musicais e para obras de escultura e artesanato (KLEIN, REIS et REITZ, 1979).

A espécie foi escolhida neste trabalho em função das suas características como porosidade, resistência, comercializada em Belém e por ser proveniente de reflorestamentos.

**Figura 9 – Árvore de espécie *Octea porosa***



Fonte: C.T.Blum/Sociedade Chauá(2003)

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 MATERIAIS

##### 3.1.1 Resina poliéster

A matriz utilizada no material compósito foi a resina poliéster tereftálica insaturada e pré-acelerada, fabricada pela Royal Polímeros sob a denominação comercial de Denverpoly 754. O agente de cura utilizado foi o peróxido de Mek (Butanox M- 50), na proporção de 0,33% (v/v), proporção esta otimizada, segundo RODRIGUES (2008). A resina foi adquirida já pré-acelerada com naftenato de cobalto (CoNap), na proporção de 0,15% em massa segundo dados comparativos estudados na literatura.

##### 3.1.2 Fibra de tururi

A fibra de tururi Figura 10 foi aplicada como reforço no compósito para fabricação de laminados, cujas amostras vieram do município de Muaná, no estado do Pará, localizado a uma latitude 01°31'42'' sul e a uma longitude de 49°13'00'' oeste, estando a uma altitude de 22 metros. Onde foram colhidas diretamente das Palmeiras de Ubuçu da fazenda Caripunás, sendo usadas na forma natural sem nenhum tipo de processo para formação de tecido.

**Figura 10 – Tecido de fibra de tururi marrom clara, lavadas e cortadas**



Fonte: Saraiva, Marcelo (2012)

Os invólucros do tururi, forma natural colhida da palmeira de Ubuçu, não receberam tratamento e foram lavados com água encanada para retirada das impurezas, cortadas e secas ao sol, segundo o método utilizado pela associação de artesões Flor do Marajó, método este, usado no desenvolvimento de materiais artesanais. A figura 11 ilustra as etapas de limpeza e secagem das fibras.

**Figura 11 – Lavagem do tururi depois de cortadas e secagem ao sol**



(a)



(b)

Fonte: Saraiva, Marcelo (2012)

Duarte, 2011, obteve características das fibras de tururi. Na tabela 7 tem-se propriedades mecânicas para as fibras de tururi. Nesta tabela são apresentadas a resistência a tração para as fibras com e sem abertura.

**Tabela 7- Propriedades mecânicas obtidas em ensaio de tração para as fibras de tururi com e sem abertura.**

Abertura do Tecido de Tururi	Carga máxima [N]	Alongamento na Carga Máxima [mm]	Tensão Máxima [MPa]
0%	1617,3 ± 28,02	8,93	29,95
100%	309,5±4,68	4,74	9,38

Fonte: Duarte, 2011.

### 3.1.3 Fibra de sisal

As fibras de sisal foram obtidas no comércio da cidade de Belém todas desfibradas e sem tratamento químico superficial. As fibras foram manualmente cortadas (com tesoura) seguindo o comprimento de 50 mm de acordo com o trabalho de (TAKAHASHI, 2011), como mostrada a Figura 12.

**Figura 12 – Fibras de sisal sem tratamento utilizado para corte no comprimento de 50 mm**



Fonte: Saraiva, Marcelo (2012)

Costa, 2012, efetuou a caracterização das mesmas fibras usadas neste trabalho, obtendo as propriedades mecânicas de tração, apresentadas na tabela 8.

**Tabela 8- Propriedades mecânicas obtidas em ensaio de tração para as fibras de sisal.**

Resistência a Tração (MPa)	Alongamento na Carga Máxima (mm)	Diâmetro (mm)	Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	Teor de Umidade (base úmida) (%)
Média (Desvio Padrão)	Média (Desvio Padrão)	Média (Desvio Padrão)	Média (Desvio Padrão)	Média (Desvio Padrão)
453,62 (± 91,98)	5,5 (± 2,02)	0,250 (± 0,032)	1,42 (± 0,01)	13,10 (± 0,5)

Fonte: Costa, 2012.

### 3.1.4 Fibras de curauá

Assim como a fibra de sisal, as fibras de curauá foram obtidas no comércio da cidade de Belém, desfibradas e também, sem tratamento químico superficial e foram manualmente

cortadas (com tesoura) seguindo o comprimento de 50 mm de acordo com o trabalho de (TAKAHASHI, 2011). A figura 13 mostra as fibras de curauá adquiridas.

**Figura 13 – Fibras de curauá desfibradas sem tratamento utilizadas para corte no comprimento de 50 mm**



Fonte: Saraiva, Marcelo (2012)

Na tabela 9 têm-se listados valores de propriedades mecânicas das fibras de curauá, usadas neste trabalho, obtidos por Banna, 2012.

**Tabela 9- Propriedades mecânicas obtidas em ensaio de tração.**

Diâmetro ( $\mu\text{m}$ )	Resistência a Tração (MPa)	Alongamento na Carga Máxima (mm)	Densidade ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	Teor de Umidade (%)
161,46	1002,63	8	1,30	10

Fonte: Banna, 2012.

### 3.1.5 Lamina de madeira

As laminas de madeira foram compradas na loja Parámapa compensados comercializados na capital de Belém. A lamina adquirida foi do tipo Imbuia Rajada bastante utilizada em revestimento de paredes e moveis. Figura 14.

As laminas de madeira não receberam nenhum tipo de tratamento ou lavagem apenas foram cortadas de acordo com o tamanho do molde que correspondente a 295 mm x 150 mm.

As lâminas de madeira serão caracterizadas mecanicamente e microestruturalmente nesta dissertação.

**Figura 14 – Lamina de madeira de espécie Octea porosa conhecida comercialmente como Imbuia rajada**



Fonte: Saraiva, Marcelo (2012)

## 3.2 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

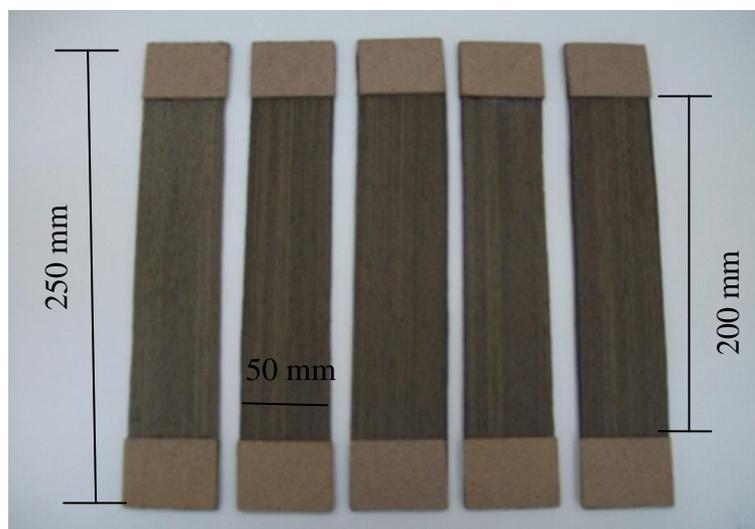
### 3.2.1 Caracterização da lamina de madeira

#### 3.2.1.1 Ensaio de tração da lamina de madeira

As laminas de madeira de espécie *Octea porosa*, conhecida vulgarmente como Imbuia rajada foram caracterizadas quanto à sua resistência a tração e características morfológicas.

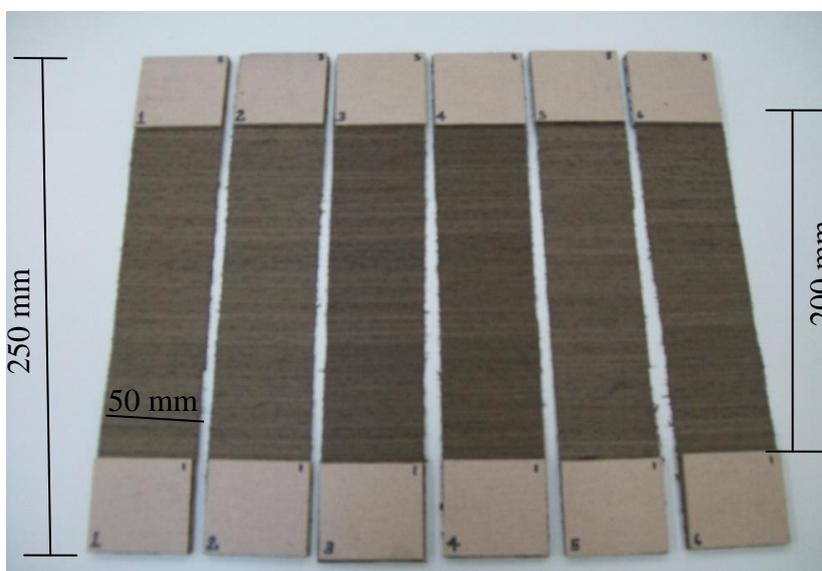
A resistência a tração foi determinada tendo como base a norma NBR 11912, utilizada para ensaios de tração em tecidos e não tecidos, admitiu-se para isso, a lamina de madeira, como um não tecido devido as sua fina espessura e flexibilidade. As amostras foram preparadas num total de 20 (vinte) corpos de prova, sendo 10 (dez) com fibras na direção da carga, ângulo de 0° Figura 15 e 10 (dez) e ângulo de 90° Figura 16, todos com dimensões de 250 mm de comprimento, por 50 mm de largura, mostrado na figura 5. A distância entre garras foi de 200 mm, pré- tensão de 0,50 N.

**Figura 15 – Corpos de prova de madeira de espécie Octea porosa com direção das fibras a 0° a carga de ensaio**



Fonte: Saraiva, Marcelo (2012)

**Figura 16 – Corpos de prova de lamina de madeira de espécie Octea porosa com direção das fibras em ângulo de 90° a força de tração**



Fonte: Saraiva, Marcelo (2012)

Os ensaios foram realizados em uma máquina de ensaio universal EMIC DL500 – com célula de carga de 5 KN, a uma velocidade de ensaio de 2,3 mm/min.

### 3.2.1.2 Microestrutura da lamina de madeira

As laminas de madeira foram ainda caracterizadas micro estruturalmente no laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura – LABMEV do Instituto de Geociência da UFPA. O equipamento utilizado foi o MEV, modelo LEO – 1430. Sendo as amostras metalizadas com platina e o tempo de recobrimento foi de 2,0 minutos. As condições de análises para as imagens de elétrons secundários foi: corrente de feixe de elétrons = 90  $\mu$ A, voltagem de aceleração constante = 10 kV, distância de trabalho = 15 – 12 mm.

### 3.2.2 Fabricação do compósito de lâmina de madeira/tururi sem abertura

A fabricação do compósito de madeira/Tururi seguiu o método *Hand lay up*. Método esse, bastante utilizado em laboratórios pela simplicidade onde os compósitos foram formados a partir de camadas alternadas de resina e tecido de tururi analogicamente a um “sanduíche”

#### 3.2.2.1 Molde para fabricação do compósito de madeira/tururi sem abertura

Para uso como molde na fabricação do compósito laminado de madeira/tururi sem abertura foi utilizado duas peças de madeira, figura 17 – de 29,5 X 15 cm por 6 cm de espessura, sendo o mesmo revestido com folhas de película plástica, com função de desmoldante.

**Figura 17 – Molde superior e inferior usado na fabricação dos laminados**



Fonte: Saraiva, Marcelo (2012)

A matriz usada para a fabricação dos laminados de compósito de madeira/Tururi, foi a resina poliéster, mesma utilizada por (RODRIGUES, 2008) e (COSTA, 2012), que usou a porcentagem de 0,33% v/v de agente de cura obtendo boas propriedades nesse volume para a matriz de poliéster.

O compósito de madeira/tururi foi fabricado obtendo 6 (seis) camadas de resina poliéster, 3 (três) camadas de lamina de madeira e 2 (duas) camadas de fibra de Tururi em forma de tecido natural.

A sequência de etapas que foram usadas na fabricação é apresentada a seguir:

1ª Etapa - O compósito laminado foi fabricado inicialmente a partir da deposição de uma fina camada de resina em torno da superfície demarcada do molde, sendo em seguida, espalhada por uma espátula de plástico, mostrada na figura 18.

**Figura 18 – impregnação de resina no molde revestido por uma lamina de película plástica**



Fonte: Saraiva, Marcelo (2012)

2ª Etapa - Na sequência foi colocada sobre a resina uma fina folha de madeira, ajustada de forma a ficar perfeitamente colada ao molde, figura 19.

**Figura 19 – Folha de madeira colocada sobre a superfície**



Fonte: Saraiva, Marcelo (2012)

3ª Etapa - Em seguida, nova aplicação de resina na superfície da lamina de madeira foi colocada, Figura 20.

**Figura 20 – Colocação da primeira lamina de madeira e impregnação de resina em sua superfície**



Fonte: Saraiva, Marcelo (20120)

4ª Etapa - Com auxílio de uma espátula e um rolo compactador a resina foi completamente espalhada, sendo assim aplicada uma camada de reforço de tecido de fibra de tururi posteriormente sobre a superfície da folha de madeira impregnada de resina, formando a segunda camada do laminado e primeira camada de reforço do compósito. Figura 21.

**Figura 21 – Tecido de fibra de Tururi sendo colocado sobre a superfície impregnada de resina da folha de madeira**



Fonte: Saraiva, Marcelo (2012)

5ª Etapa - O tecido de tururi também foi impregnado de resina poliéster por toda a área do tecido até ficar em condições para a aplicação de outra folha de madeira que recebeu o mesmo tratamento das demais camadas. Figura 22.

**Figura 22 – lamina de madeira sendo impregnada sobre o tecido de tururi**



Fonte: Saraiva, Marcelo (2012)

6ª Etapa - Após a colocação e impregnação da lamina de madeira, é aplicado sobre o material uma segunda lamina de tecido de fibra de tururi, outra camada de folha de madeira foi colocada em sua superfície, todas intercaladas por uma lamina de resina completando o número de camadas do laminado, sendo coberto por uma outra folha de transparência em sua superfície. Figura 23.

**Figura 23 – Parte superior do laminado com película plástica**



Fonte: Saraiva, Marcelo (2012)

7ª Etapa - Concluindo as etapas de fabricação e depois da colocação da película plástica, o laminado foi fechado como se fosse um sanduiche figura 24.

**Figura 24 – Momento da colocação do molde completando a fabricação do laminado**



Fonte: Saraiva, Marcelo (2013)

8ª Etapa – O conjunto é levado posteriormente para ser compactado em uma prensa hidráulica de marca Marcon, com força exercida por uma pressão de 2 ton. Figura 25. Na prensa, um compensado, uma lamina de ferro e uma peça de madeira foi usada como suporte para melhor fixação o compósito.

**Figura 25 – Prensa Hidráulica utilizada no experimento**



Fonte: Saraiva, Marcelo (2013)

O compósito foi mantido em temperatura ambiente completando um ciclo de cura de 72 horas, Após o tempo de cura completa, o compósito foi desmoldado de maneira simples retirando o molde superior e depois o inferior, retirando também a película plástica que se solta facilmente do laminado, sendo dessa forma extraído o compósito.

### 3.2.3 Fabricação do compósito de lâmina de madeira/tururi com abertura

A fabricação do compósito de madeira/tururi com abertura, que também seguiu o método *Hand lay up*. Foi formado por 5 (cinco) camadas: 3 (três) de lamina de madeira e 2 (duas) de tecido de fibras de tururi, tendo como matriz a resina de poliéster, tendo como diferença a abertura do reforço o corresponde a 100% de sua largura normal através de técnicas de abertura do tecido de tururi.

#### 3.2.3.1 Procedimento de abertura do tecido de fibra de tururi

A abertura do tecido tem como adjetivo: obter peças de tamanhos variadas aproveitando-se da capacidade elástica do tecido sem que haja perda consideráveis de resistência.

O procedimento para abertura do tecido de tururi foi, primeiramente, através da seleção do tecido, lavagem, secagem e corte para 17 cm, ou seja, dois centímetros a mais que a largura utilizada no tecido de tururi sem abertura, com o objetivo de facilitar a fixação do aparelho nas extremidades do tecido. Foram utilizadas duas réguas gabaritos, uma de dimensão transversal de 15 cm e outra régua gabarito de 30 cm. O tecido foi preso e parafusado nas extremidades do alongador que com a tensão transversal, foi distendido manualmente através da regulagem dos parafusos, da largura de 15 cm, inicial para a de 30 cm, o correspondente a 100% de abertura do tecido, conforme observa-se na figura 26.

**Figura 26 - Método utilizado para abertura do tecido em 100%**



Fonte: Saraiva, Marcelo (2012)

O tecido distendido recebeu uma camada de resina poliéster pré-acelerada nas extremidades e finíssimas laminas de madeira como moldura impedindo que o tecido voltasse ao seu tamanho original, de acordo com a figura 27.

**Figura 27 – Molde usado para manter o tecido de tururi distendido para fabricação dos laminados de 100% de abertura transversal**



Fonte: Saraiva, Marcelo (2012)

Após a obtenção do tecido, o mesmo foi utilizado para a fabricação do compósito laminado de madeira reforçado por fibras de tururi com abertura de 100%, obedecendo à mesma sequência utilizada na preparação do laminado com tecido de tururi sem abertura.

### **3.2.4 Fabricação do compósito de lâmina de madeira/sisal**

A fabricação do compósito de madeira/sisal seguiu o método *Hand lay up*. As fibras de Sisal foram cortadas no tamanho de 50 mm para a formação de pré-preg. O compósito foi formado com 5 (cinco) camadas: 3 (três) de lamina de madeira e 2 (dois) de pré-preg de Sisal, juntamente por matriz de poliéster.

### 3.2.4.1 Técnica de preparação do pré-preg de sisal

Na fabricação de pré-preg seguiu como orientação o trabalho desenvolvido por (TAKAHASHI,2011), iniciando com a produção de uma base de silicone de 295 mm x 150 mm cuja dimensão visava atender a norma ASTM D 3039. O molde feito de silicone se justifica pela facilidade de descolamento das fibras após a impregnação com a resina de poliéster.

As fibras de sisal foram cortadas na dimensão de 50 mm em função do melhor desempenho de resistência a tração deste comprimento em comparação com as fibras de 10 e 25 mm e com o peso em massa de fibra de 2 g, relatados no trabalho de (TAKAHASHI, 2011).

Para distribuir a resina sobre as fibras de sisal, utilizou-se um pulverizador no qual a resina de poliéster foi previamente diluída em estireno na proporção de 30% em volume para diminuir a viscosidade da resina e facilitar a pulverização. A Figura 28, mostra o molde de silicone juntamente com as fibras de sisal utilizada na fabricação do pré-preg.

**Figura 28 – Fabricação de pré-preg de sisal de 50 mm de comprimento de fibras**



Fonte: Saraiva, Marcelo (2012)

Após a impregnação os pré-pregs produzidos foram submetidos ao processo de cura por período de 7 dias.

Os procedimentos de fabricação do laminado composto com as fibras de sisal obedeceram as mesmas etapas desenvolvidas para a fabricação do laminado reforçado por tecido de tururi com e sem abertura, onde no lugar da fibra de tururi foi usado o pré-preg de fibra de sisal.

### **3.2.5 Fabricação do compósito de lâmina de madeira/curauá**

A fabricação do compósito de madeira/curauá seguiu o método *Hand lay up*. As fibras de Curauá foram cortadas no tamanho de 50 mm e foram distribuídas aleatoriamente para a formação de pré-preg, O compósito foi formado com 5 (cinco) camadas: 3 (três) de lamina de madeira e 2 (dois) de pré-preg de Curauá, juntamente por matriz de poliéster.

#### **3.2.5.1 Técnica de preparação do pré-preg de curauá**

Na fabricação de pré-preg de curauá a mesma metodologia usadas para a preparação do pré-preg de sisal.

O compósito de madeira/curauá foi fabricado obtendo 5 (cinco) camadas intercaladas por resina poliéster: tendo 3 (três) camadas de lamina de madeira e 2 (duas) camadas de pré-preg de curauá.

O compósito laminado foi fabricado seguindo a metodologia usada para o laminado de madeira reforçado por fibras de tururi e sisal.

### **3.2.6 Fabricação do compósito de lâmina de madeira/matriz poliéster/madeira**

A fabricação do compósito de madeira/madeira seguiu o método *Hand lay up*. Sendo fabricados sem reforços de fibras de tururi, pré-preg de sisal ou curauá. O compósito foi formado com 4 (quatro) camadas de laminas de madeira intercaladas por matriz de poliéster.

A fabricação do compósito de lâmina de madeira pura obedeceu aos mesmos procedimentos descritos para os compósitos de laminas de madeira, matriz polimérica, reforçado por fibras de tururi, sisal e curauá.

### **3.2.7 Determinação da fração mássica de fibras, lâmina de madeira e de matriz dos laminados madeira/matriz poliéster/madeira, madeira/tururi sem abertura, madeira/tururi com abertura, madeira/fibra de sisal e madeira/fibra de curauá.**

Para a determinação da fração mássica, foi utilizado um método prático e que consistiu na pesagem de cada uma das laminas de madeiras usadas para a produção do compósito e dos tecidos de fibra de tururi com e sem abertura e dos prepreg's usados na fabricação do material compósito. Também foi feito a pesagem da quantidade de resina necessária para garantir a perfeita molhabilidade das lâminas de madeira e das fibras de tururi, sisal e curauá, para cada situação de compósito.

### **3.2.8 Corte e preparação dos corpos de prova de madeira/madeira, madeira/tururi sem abertura, madeira/tururi com abertura, madeira/fibra de sisal e madeira/fibra de curauá.**

Os corpos de prova foram cortados utilizando uma bancada, conforme Figura 29, desenvolvida exclusivamente para o corte dos laminados contendo uma máquina de corte de mármore e granito marca D'walt, sendo fixada na bancada através de parafusos. A bancada possuía um dispositivo de ajuste de tamanho, para possibilitar o corte de compósito com larguras diferentes.

**Figura 29 – Máquina utilizada no corte dos corpos de prova**



Fonte: Saraiva, Marcelo (2012)

A figura 30 ilustra o exemplo das amostras após o corte para a situação do compósito de lamina de madeira e as fibras de tururi sem abertura. Os corpos de prova dos outros materiais compósitos, de madeira e tururi com abertura, madeira e fibra de sisal, madeira e fibra de curauá e madeira/matriz poliéster/madeira apresentaram as mesmas características geométricas as apresentadas na figura 30.

**Figura 30- Corpos de prova de laminado madeira/tururi sem abertura após o corte**



Fonte: Saraiva, Marcelo (2012)

### **3.2.9 Ensaio de tração dos corpos de prova de madeira/madeira, madeira/tururi sem abertura, madeira/tururi com abertura, madeira/fibra de sisal e madeira/fibra de curauá**

Os corpos de prova foram preparados, conforme a norma ASTM D 3039, com as seguintes dimensões: 250 mm de comprimento por 15 mm de largura e espessura de 1 mm, área útil de tração, correspondente a 138 x 15 mm e velocidade de ensaio de 2 mm/minuto. Para o ensaio de tração foram colocados tabs, com a função de fazer a fixação do corpo de prova na máquina de ensaio de tração e evitar o esmagamento do compósito pelas garras da máquina.

### **3.2.10 Caracterização micro estrutural dos compósitos**

O laminado madeira/madeira puro e os compósitos de lâmina de madeira reforçados por fibras de tururi (com e sem abertura), bem como os de madeira/sisal e madeira/curauá,

após o ensaio de tração, ou seja, fraturados, foram caracterizados micro estruturalmente no laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura – LABMEEV do instituto de Geociências da UFPA. O equipamento utilizado foi um MEV modelo LEO -1430. As amostras foram metalizadas com platina e o tempo de recobrimento foi de 2,0 minutos. As condições de análises para as imagens de elétrons secundários foram corrente de feixe de elétrons =  $90\mu\text{a}$ , voltagem de aceleração constante = 10KV, distancia de trabalho = 15 – 12 mm. A figura 31 ilustra o MEV modelo LEO-130.

**Figura 31 – Microscópio eletrônico de varredura usado nas análises micro estrutural dos compósitos**



Fonte: Saraiva, Marcelo (2012)

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DA LAMINA DE MADEIRA

#### 4.1.1 Ensaio de tração da lamina de madeira

Os resultados de força máxima, alongamento na força máxima e tensão máxima obtido no ensaio de tração encontram-se listados na tabela 10, obtido para a lâmina de madeira após o ensaio de tração, para as lâminas de madeira no sentido das fibras presentes na estrutura de celulose da madeira 0° e perpendicular as fibras da madeira 90°.

**Tabela 10- Resultado do ensaio de tração das laminas de 0° e 90°**

Orientação	Força Máxima (N)		Alongamento na força máxima (mm)		Tensão Máxima (MPa)	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
0°	962,48	109,12	5,64	0,31	35,64	4,04
90°	11,22	1,63	0,33	0,2	0,40	0,06

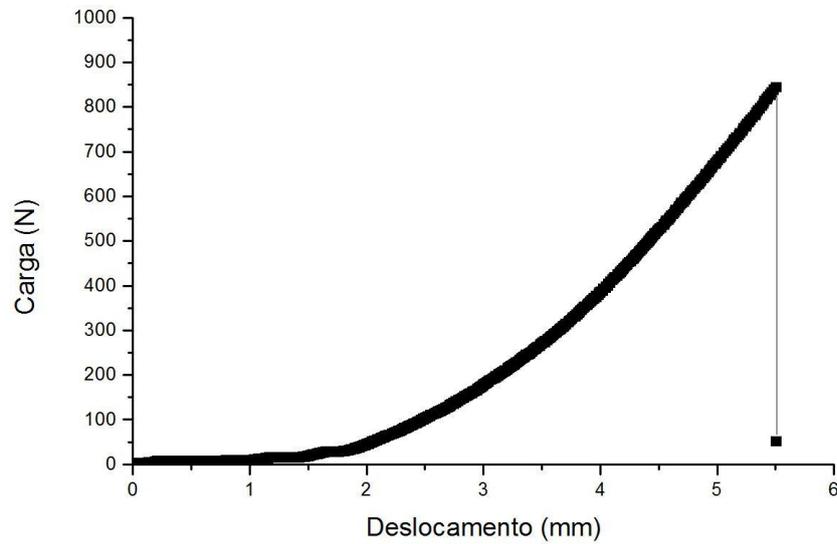
Fonte: Elaboração de SARAIVA (2012).

Conforme a tabela 10 são mostrados os resultados dos ensaios das laminas de madeira com dois tipos diferentes de orientação das fibras de celulose em relação à carga de tração, ângulo de 0° e 90°. Como se era de esperar, as laminas de madeira com ângulo de 0°, apresentou melhor resultado em comparação com a lamina de madeira de ângulo de 90°, apresentando também melhor alongamento. As literaturas já vêm mencionando as vantagens e ganhos de resistência a tração das fibras unidirecionais alinhadas longitudinalmente ao carregamento.

Segundo Silva (2007), este tipo de orientação é o que propicia maior resistência quando adicionado ao compósito, uma vez que as fibras estariam alinhadas na direção principal do carregamento. Isso se explica pela distribuição da carga pelas fibras fazendo com que o material tenha maior resistência à carga.

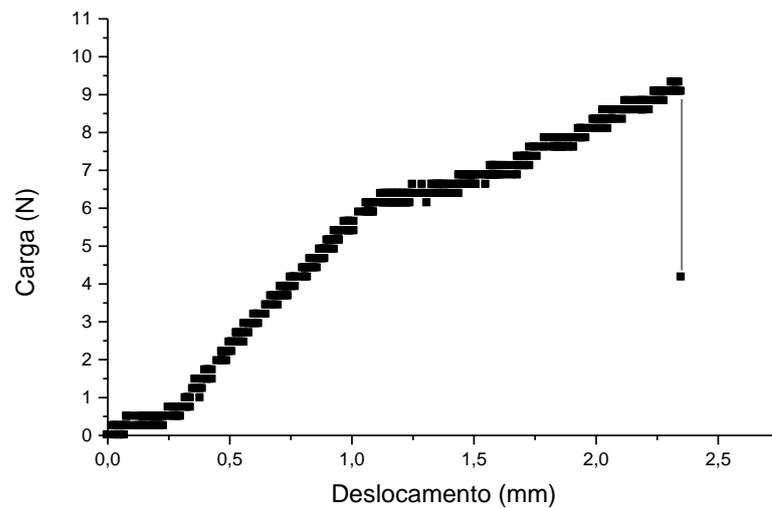
As figuras 32 e 33 ilustram o comportamento da curva obtida no ensaio de tração para as lâminas de madeira a 90° e a 0°, respectivamente, onde observa-se o maior valor de carga e alongamento obtidos para as lâminas a 0°.

**Figura 32- Exemplo típico da curva carga versus deslocamento para a lâmina de madeira (0°) após ensaio de tração.**



Fonte: Saraiva, Marcelo (2012)

**Figura 33- Exemplo típico da curva carga versus deslocamento para a lâmina de madeira (90°) após ensaio de tração.**

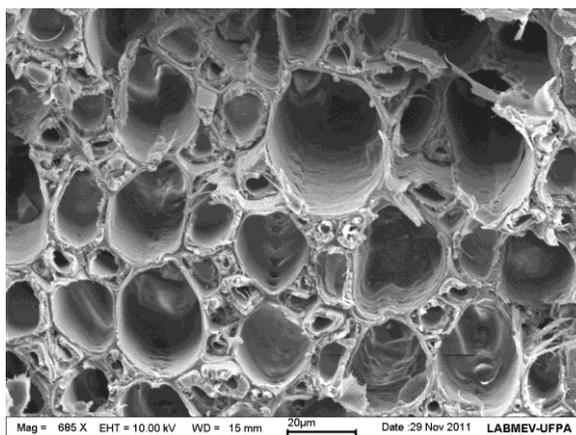


Fonte: Saraiva, Marcelo (2012)

#### 4.1.2 Microestrutura da lamina de madeira

Os resultados da microscopia realizados na lamina de madeira da espécie *Ocotea porosa* mostraram características morfológicas importantes para o estudo da interação com a matriz resina poliéster e os reforços de fibra vegetal Figura 34.

**Figura 34 – Microscopia da lamina de madeira de *Ocotea porosa***



Fonte: Saraiva, Marcelo (2012)

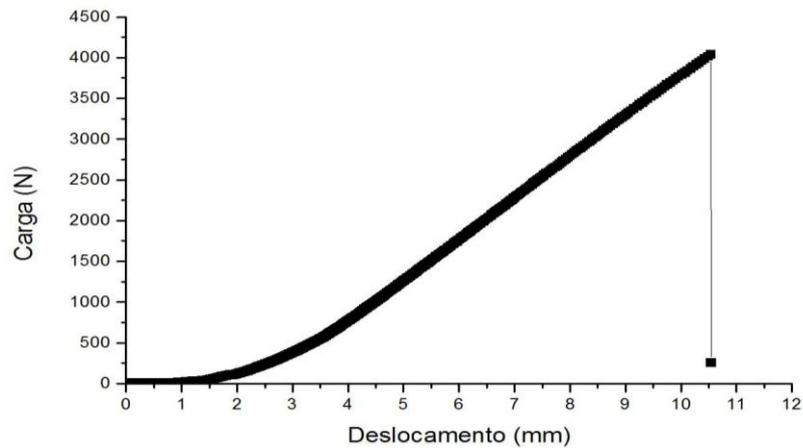
A figura 34, apresenta a seção transversal da lamina de madeira onde pode se observar a estrutura das paredes celulares denominadas fibras, formando um conjunto de vasos de diferentes formas e tamanhos, de parede finas e alinhadas. Segundo Hentze (2010) a madeira é formada de camadas de fibrilas e microfibrilas de celulose que são a matéria prima natural e renovável entremeadas por uma matriz amorfa, a lignina, tendo como ponte entre essas duas a hemicelulose.

#### 4.2 RESULTADOS DO ENSAIO DE TRAÇÃO DOS COMPÓSITOS DE MADEIRA/MADEIRA, MADEIRA/TURURI SEM ABERTURA, MADEIRA/TURURI COM ABERTURA, MADEIRA/FIBRA DE SISAL E MADEIRA/FIBRA DE CURAUÁ.

A figura 35 ilustra o comportamento da carga versus deslocamento para o laminado de madeira reforçado por fibras de tururi sem abertura.

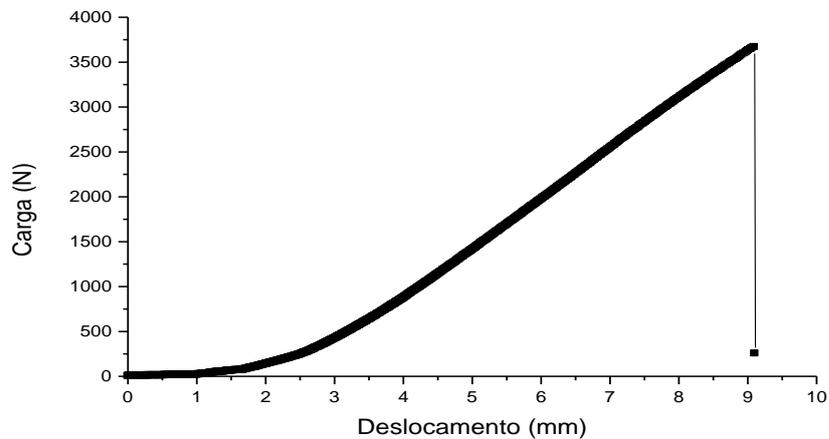
A figura 36 por sua vez apresenta o comportamento também da carga versus deslocamento para o laminado de madeira reforçado por fibras de tururi com a abertura de 100%.

**Figura 35 – Laminado de madeira e fibra de tururi sem abertura**



Fonte: Saraiva, Marcelo (2012)

**Figura 36 – Laminado de madeira e fibra de tururi com abertura de 100%**

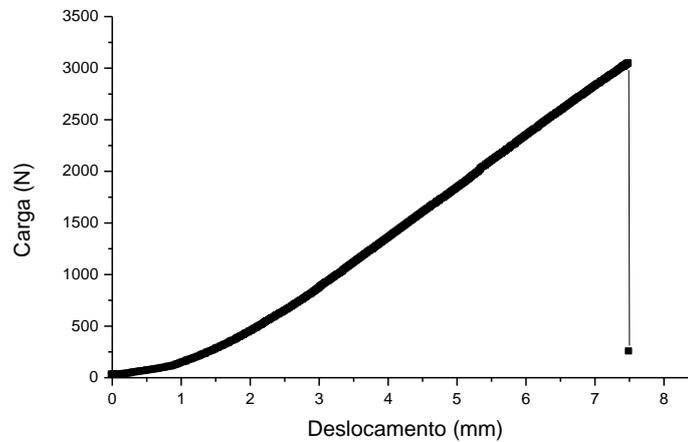


Fonte: Saraiva, Marcelo (2012)

Observando os gráficos das figuras 35 e 36 é notório a verificação do maior nível de resistência a carga e maior nível de alongamento para o laminado de madeira reforçado pela fibra de tururi sem abertura.

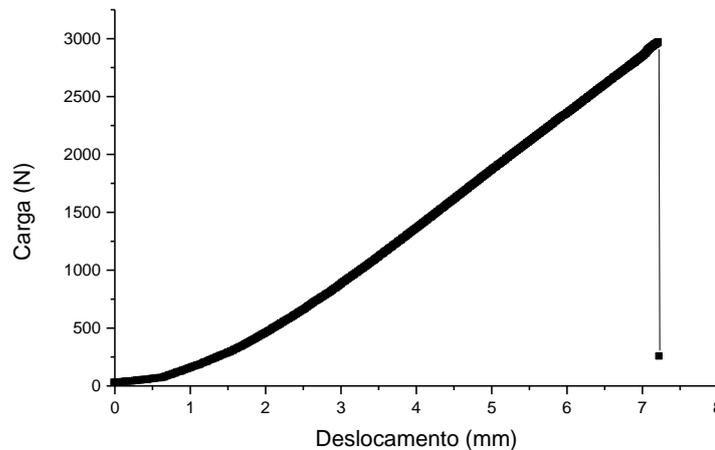
As figuras 37 e 38 ilustram o comportamento da carga versus deslocamento para os laminados de madeira reforçados por fibras de sisal e curauá, respectivamente. O nível de carregamento foi obtido um pouco superior para o laminado reforçado por fibra de curauá, e o alongamento praticamente se manteve constante para os dois materiais.

**Figura 37 – Laminado de madeira e fibra de sisal.**



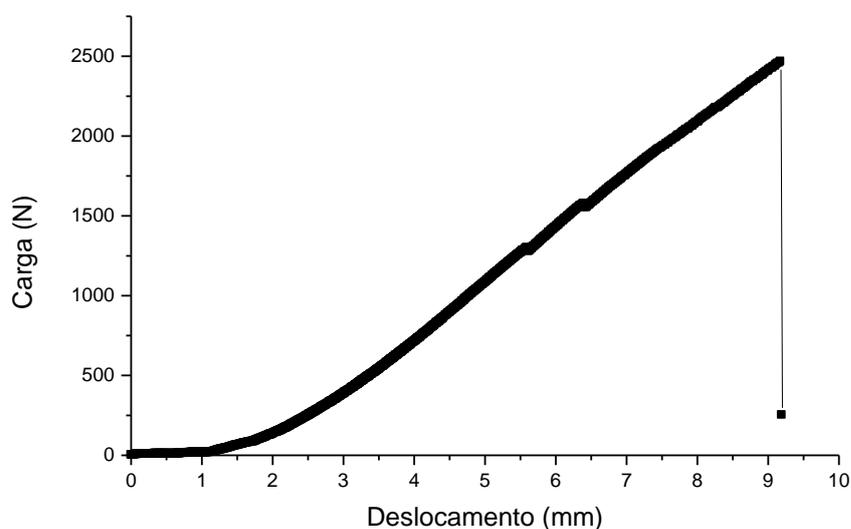
Fonte: Saraiva, Marcelo (2012)

**Figura 38 – Laminado de madeira e fibra de fibra de curauá**



Fonte: Saraiva, Marcelo (2012)

A figura 39 apresenta a curva carga versus deslocamento para o laminado madeira/matriz poliéster/madeira, sem reforço de fibras. O nível de carga máxima foi menor quando comparado com os outros laminados reforçados por fibras de tururi, sisal e curauá, porém o nível de tensão mostrou ser superior, tendo em vista as fibras apresentarem-se naturalmente bem aderidas a estrutura de celulose.

**Figura 39 – Laminado de madeira/matriz poliéster/madeira**

Fonte: Saraiva, Marcelo (2012)

Os resultados do ensaio de tração dos compósitos constituídos pelos laminados de madeira reforçados por fibras de tururi com e sem abertura, fibras de sisal, fibras de curauá e madeira sem reforço encontram-se na tabela 11. Nos ensaios foram utilizados 10 (dez) corpos de prova para cada série de material.

**Tabela 11 – Resultados experimentais para as propriedades de tração dos compósitos ensaiados.**

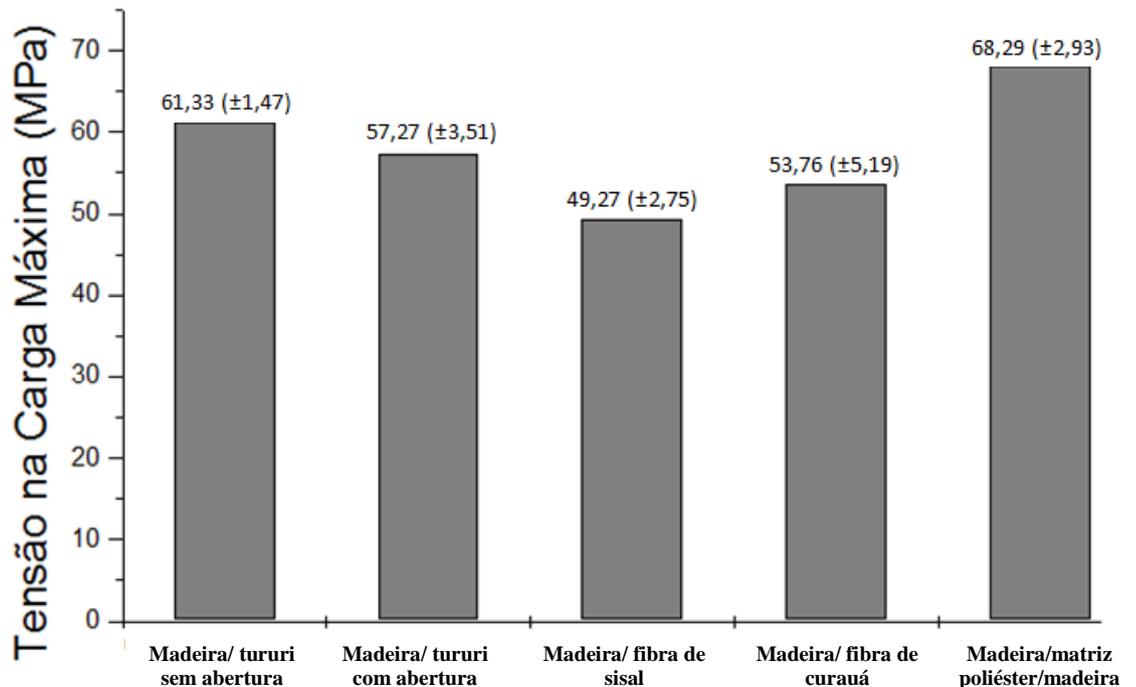
Tipo de Compósito	Carga máxima [N]	Alongamento na Carga máxima [mm]	Tensão na Carga máxima [MPa]
Madeira/tururi sem abertura	3986,47±95,81	10,37±0,91	61,33±1,47
Madeira/tururi com abertura	3579,48±219,06	9,05±0,38	57,27±3,51
Madeira/fibra de sisal	2955,93±165,13	7,80±0,71	49,27±2,75
Madeira/fibra de curauá	2956,75±285,81	7,80±0,44	53,76±5,19
Madeira/matriz poliéster/madeira (0°)	2407,08±103,28	9,00±0,48	68,29±2,93

Fonte: Saraiva, Marcelo (2012)

O maior alongamento foi observado para o compósito constituído pelo laminado de madeira reforçado pelas fibras de tururi sem abertura, seguido pelos laminados de madeira reforçada por fibras de tururi com abertura e o laminado de madeira/matriz poliéster/madeira.

A figura 40 ilustra os níveis resistências à tração dos laminados reforçados por fibras de tururi, sisal, curauá e o laminado de madeira/matriz poliéster/madeira.

**Figura 40 – Resistência a tração dos laminados de madeira reforçado por fibras naturais**



Fonte: Saraiva, Marcelo (2012)

A maior resistência mecânica foi observada para o laminado de madeira/matriz poliéster/madeira, seguido para o laminado reforçado com fibra de tururi sem abertura. A aplicação do reforço de tecido de tururi sem abertura, nas laminas de madeira proporcionou pouca redução na resistência mecânica quando comparado ao conjunto madeira/matriz poliéster/madeira e madeira/tururi com abertura, cerca de 10%. Duarte, 2011, observou que as fibras de tururi, quando submetido a abertura de 100% criam trincas nos ligamentos das microfibras que formam o tecido natural, que pode ter sido responsável pela redução na resistência a tração em comparação com o laminado reforçado pelas fibras de tururi sem abertura.

As fibras de curauá são mais resistentes que as fibras de sisal, conforme mostrado nas tabelas 8 e 9, fato que pode ter sido responsável pela maior resistência mecânica do laminado reforçado pelas fibras de curauá quando comparado com o reforço de fibras de sisal.

De acordo com os resultados da tabela 11, o laminado de madeira/matriz poliéster/madeira, ou seja, sem reforço, apresentou o melhor desempenho 68,29 MPa, valor

médio de tensão máxima e 2,93 MPa de desvio padrão comparado com os demais laminados. O laminado de madeira reforçado com tecido de tururi sem abertura transversal ao carregamento, teve o segundo melhor resultado com os valores de  $61,33 \pm 1,47$  MPa de tensão máxima e desvio padrão, respectivamente, este resultado superior ao madeira/tururi com abertura, se mostrou também superior aos laminados de madeira reforçado com pré-preg de curauá com fibras de 50 mm de comprimento, assim como para o laminado de madeira reforçado com pré-preg de fibras de sisal, também de 50 mm. Menores níveis de resistência mecânica foram observados para o laminado de madeira reforçado por fibras de sisal.

As razões pelo qual o laminado madeira/matriz poliéster/madeira tenha atingido o melhor valor de resistência pode se justificar pela orientação das fibras de celulose presentes na lamina de madeira, configuração essa que reproduz o arranjo para melhor resistência que o material compósito pode apresentar, ou seja, as fibras estão contínuas e alinhadas na direção do carregamento e fortemente aderidas à matriz de lignina.

No que diz respeito as laminados de madeira/curauá e madeira/sisal, cujo os valores de tensão máxima e desvio padrão foram de  $53,76 \pm 5,19$  MPa;  $49,27 \pm 2,75$  MPa, respectivamente, possivelmente se devem a concentradores de tensão devido a forma aleatória na qual as fibras foram disposta no laminado, embora esse tipo de concentradores seja mais evidente em fibras curtas e menos evidente comparadas com fibras longas.

De acordo com (Sabariz, 2006), um compósito polimérico constituído de uma matriz epóxi Araldite LY – 1553, reforçado com fibras da Agave Americana, com 2 camadas de tecido da fibra, apresentou uma tensão máxima 30,86 MPa, ou seja, os compósitos aqui estudados apresentaram valores superiores aos produzidos por tecido de fibra de sisal. Os valores foram superiores em 0,50%, 0,46%, 0,37%, 0,43%, 0,55% para os compósitos de madeira/tururi sem abertura, madeira/tururi com abertura, madeira/fibra de sisal, madeira/fibra de curauá, madeira/madeira ( $0^\circ$ ), respectivamente.

Leão (2008) desenvolveu um compósito utilizando resina poliéster reforçada com fibra de licuri, em forma de tecido unidirecional, alcançando uma resistência a tração da ordem de 36,0 MPa. Em comparação com os materiais compósitos produzidos a superioridades obtidas para os compósitos madeira/tururi sem abertura, madeira/tururi com abertura, madeira/fibra de sisal, madeira/fibra de curauá, madeira/madeira ( $0^\circ$ ) foram 0,41%; 0,37%; 0,27%; 0,33% e 0,47%.

Silva (2003) desenvolveu compósito utilizando resina de poliuretano, reforçada com tecido de fibra de sisal tratada (NA OH 10%) e não tratado, com fração volumétrica da fibra

na ordem de 27% e 22%, alcançando uma resistência a tração da ordem de 38 MPa e 33 MPa, respectivamente. Se compararmos esses valores com os valores obtidos para os materiais compósitos produzidos nesta pesquisa verifica-se que os valores de resistência mecânica continuam superiores. Elbadry et al., 2012, efetuaram pesquisa com materiais compósitos constituído de tecido de juta e matriz de resina poliéster (produzido por laminação manual), quando o material estava com 11% em peso de tecido foi obtido resistência a tração de 20,10 MPa e para 32% de peso de tecido foi obtido 35,40 MPa de resistência mecânica, que comparado com os materiais desta pesquisa observa-se que o material com a menor resistência mecânica, neste caso o laminado de madeira/sisal, apresentou resistência mecânica superior ao apresentado por Elbadry et al.

A tabela 12 ilustra a comparação entre os valores da resistência a tração dos materiais compósitos produzido nesta pesquisa com alguns autores.

**Tabela 12 - Quadro comparativo de compósitos**

Compósitos		Resistência a tração (MPa)	Fração da fibra	Forma da fibra	Autores
Poliéster + Tururi	Sem abertura	35,76	14,39 [massa]	Tecido	DUARTE (2011)
	50 % de abertura	19,01	9,35 [massa]		
	100 % de abertura	16,8	7,19 [massa]		
Poliéster + Licuri		36	-	Tecido	LEÃO (2008)
Epoxi + Agave Americana		38,43	29% [volume]	Tecido	SABARIZ (2006)
Poliuretano + de Sisal	Tratadas NAOH 10%	38	27% [volume]	Tecido	SILVA, (2008)
	Não tratadas	33	22% [volume]		
Madeira/tururi sem abertura		61,33	14,41 [massa]	Tecido	Neste Trabalho
Madeira/tururi com abertura		57,27	11,50 [massa]		
Madeira/fibra de sisal		49,27	5,59 [massa]	Pre-preg	
Madeira/fibra de curauá		53,76	5,89 [massa]		
Madeira/matriz poliéster/madeira (0°)		68,29	55,79 [massa]	Lamina	

Fonte: Saraiva, Marcelo (2012)

#### 4.3 RESULTADOS DA FRAÇÃO MÁSSICA DOS COMPÓSITOS DE MADEIRA/MADEIRA, MADEIRA/TURURI SEM ABERTURA, MADEIRA/TURURI COM ABERTURA, MADEIRA/FIBRA DE SISAL E MADEIRA/FIBRA DE CURAUÁ.

Na tabela 13 tem-se listados os valores da fração mássica dos constituintes de cada material compósito objetivo desta pesquisa, para os compósitos de madeira/madeira, madeira/tururi sem abertura, madeira/tururi com abertura, madeira/fibra de sisal e madeira/fibra de curauá.

**Tabela 13- Fração mássica dos compósitos de madeira/madeira, madeira/tururi sem abertura, madeira/tururi com abertura, madeira/fibra de sisal e madeira/fibra de curauá**

Tipo de Material Compósito	Camadas	Material	% Peso
Madeira/tururi sem abertura	6	Resina	49,44
	3	Lamina de madeira	36,15
	2	Fibra de Tururi sem abertura	14,41
Madeira/tururi com abertura	6	Resina	53,90
	3	Lamina de madeira	34,60
	2	Fibra de Tururi com abertura	11,50
Madeira/fibra de sisal	6	Resina	54,80
	3	Lamina de madeira	39,61
	2	Pré-preg de Fibra de sisal	5,59
Madeira/fibra de curauá	6	Resina	48,96
	3	Lamina de madeira	45,15
	2	Pré-preg de Fibra de curauá	5,89
Madeira/madeira	5	Resina	44,21
	4	Lamina de madeira	55,79

Fonte: Saraiva, Marcelo (2012)

Os valores listados na tabela 13 foram os medidos durante o processo de fabricação como os necessários para garantir a molhabilidade das fibras e da lâmina de madeira para que o material produzido apresentasse a menor quantidade de defeito e melhor qualidade e propriedades.

Observando os valores da tabela 13 observa-se que o material compósito madeira/fibra de sisal apresentou maior quantidade de resina em sua constituição, que deve estar associado a maior absorção de resina por parte das fibras de sisal que são mais porosas que as fibras de curauá e as fibras de tururi.

A quantidade de fibras entre as camadas foi maior para o compósito madeira tururi sem abertura, seguido do compósito madeira/tururi com abertura, madeira/curauá e madeira/sisal. As quantidades de fibras estão associadas a maior densidade de fibras na área do laminado do material compósito, que ocorreu para o material compósito madeira/tururi sem abertura.

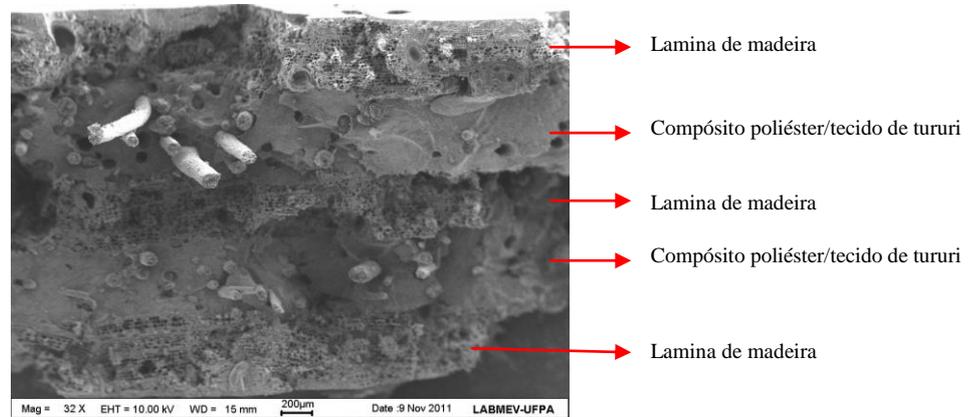
#### 4.4 RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DA FRATURA DOS COMPÓSITOS DE MADEIRA/MADEIRA, MADEIRA/TURURI SEM ABERTURA, MADEIRA/TURURI COM ABERTURA, MADEIRA/FIBRA DE SISAL E MADEIRA/FIBRA DE CURAUÁ.

##### **4.4.1 Micro estrutura do compósito de madeira/tururi sem abertura**

Avaliando a microscopia do laminado madeira/tururi sem abertura, Figura 41, pode-se observar claramente a heterogeneidade das amostras com as camadas intercaladas de lamina de madeira e as fibras do tecido de tururi. É possível também ser visualizados vários mecanismos de falha dispersas através do material, como o arrancamento de fibras da matriz, mais conhecido como pull out.

Duarte, 2011, produziu laminados de materiais compósitos com tecido de fibras de tururi. Em sua análise da superfície de fratura foi observado fibras e vazios que apresentavam variação de diâmetro devido ao fato do tecido apresentar variação dos diâmetros dos fios que compõem o invólucro do tecido, ou seja, em uma das extremidades do invólucro tem o diâmetro do fio menor e cresce em direção a outra extremidade.

**Figura 41 – Microscopia do laminado de madeira reforçado com tecido de tururi sem abertura depois do ensaio de tração**

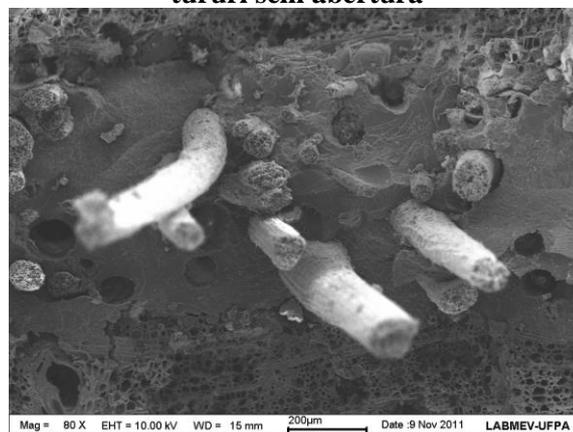


Fonte: Saraiva, Marcelo (2012)

Em uma imagem mais aproximada pode-se constatar que a falta de tratamento químico do tecido de fibra de tururi sem abertura não influenciou seriamente na resistência do laminado, visto que muitas fibras permaneceram bem aderidas, embora outras, segundo a ilustração da figura 42, tenham apresentado sinais de descolamento e pull out e ainda o efeito denominado de pontes de fibras (fiber bridging). Segundo (RODRIGUES, 2008), vários destes mecanismos podem atuar simultaneamente durante o processo de fratura de um compósito.

Outra característica observada na microscopia é a aderência da lamina de madeira a matriz, não sendo possível a constatação de delaminação sendo um fator positivo na fabricação desse tipo de compósito.

**Figura 42 – Visão aproximada da microscopia do laminado de madeira reforçado com tecido de tururi sem abertura**

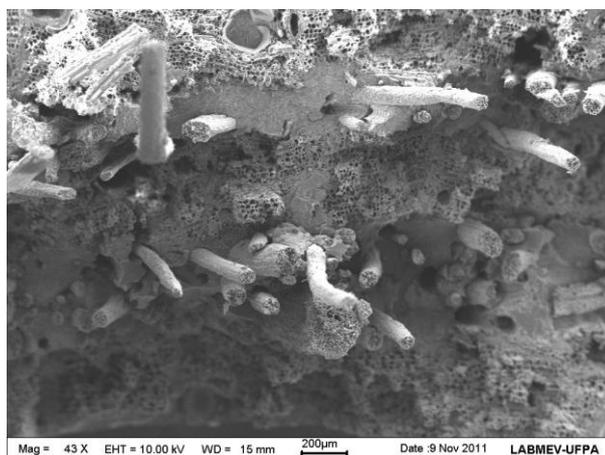


Fonte: Saraiva, Marcelo (2012)

#### 4.4.2 Micro estrutura do compósito de madeira/tururi com abertura

O laminado de madeira/tururi com abertura a 100%, de acordo com a microscopia, figura 43, apresentou-se, assim como observado no laminado de madeira/tururi sem abertura, as camadas de madeira, matriz e fibras bem definidas e bem visíveis, apresentando vários mecanismos de falha dispersos no material.

**Figura 43 – Microscopia do compósito de madeira/tururi com abertura de 100%**

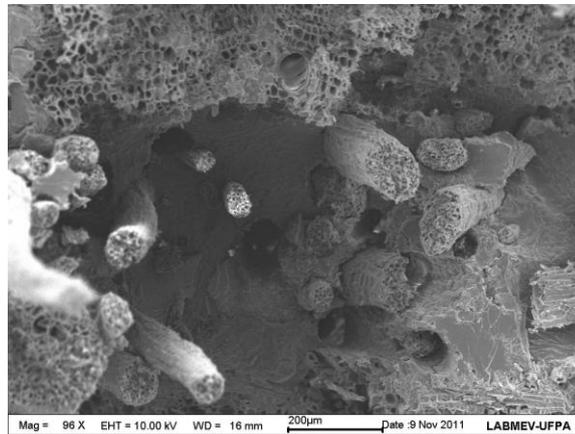


Fonte: Saraiva, Marcelo (2012)

Na figura 43, é possível visualizar falhas no laminado possivelmente resultantes da abertura do tecido, formando pontos de concentração de tensão. Na mesma, ainda mostra as regiões de solitação das fibras do reforço no momento da ruptura.

O tecido de tururi não apresenta as fibras homogeneamente disposta apresentando falhas e espaços em sua superfície que se acentuam com a distensão das fibras no sentido transversal a sua orientação preferencial, o fato de ter gerado uma abertura de 100% em toda a extensão do tecido pode ter causado o aparecimentos de um numero maior de pontos de concentração de tensão diminuindo a resistência do laminado durante o ensaio, conforme a figura 44. As fibras exposta indicam as fibras que sofreram fratura total após o ensaio de tração.

**Figura 44 – Pontos de concentração de tensão visualizados no M/T/M/T/M de 100% de abertura transversal a orientação das fibras**

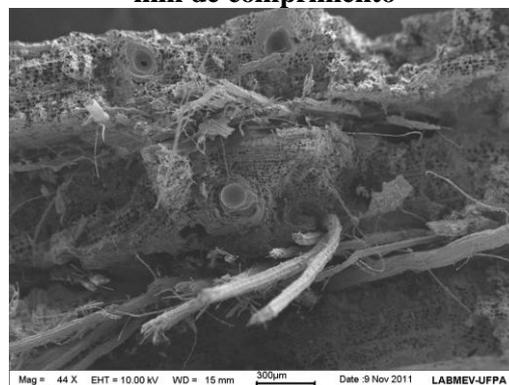


Fonte: Saraiva, Marcelo (2012)

#### 4.4.3 Micro estrutura do compósito de madeira/curauá

A micrografia da figura 45 ilustra a superfície de fratura do material compósito constituído por laminas de madeira e fibras de curauá. Nesta imagem observa-se claramente as camadas que separam cada material, ou seja, as camadas intercaladas de lâmina de madeira e de pre-preg de fibras de curauá. Observa-se que a camada de pre-preg de fibras de curauá é de pequena espessura quando comparado com a espessura da lâmina de madeira e nela observa-se fibras exposta devido ao arrancamento das mesmas originado no processo de fratura.

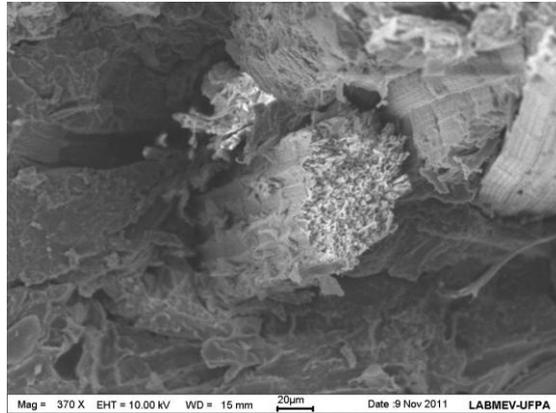
**Figura 45 – Microscopia realizada no MEV do laminado de madeira/curauá com fibra de 50 mm de comprimento**



Fonte: Saraiva, Marcelo (2012)

De acordo com a figura 46, pode ser visualizado o detalhe de uma fibra que sofreu fratura durante o ensaio de tração do material compósito.

**Figura 46- Detalhe da fibra de Curauá numa aproximação de 20  $\mu\text{m}$ .**



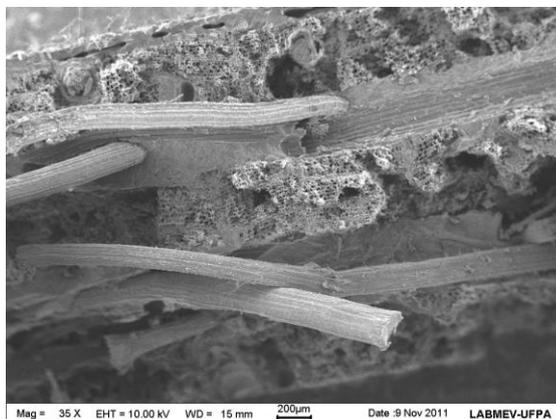
Fonte: Saraiva, Marcelo (2012)

#### 4.4.4 Micro estrutura do compósito de madeira/sisal

Na figura 47 observam-se analogamente as imagens para os laminados madeira/curauá, as camadas intercaladas de lâmina de madeira e a lâmina de pre-preg de fibra de sisal. As fibras de sisal expostas indicam o arrancamento das mesmas durante o processo de ensaio de tração.

A camada de lâmina de madeira é representada pela seção onde se observa as microfibrilas da madeira.

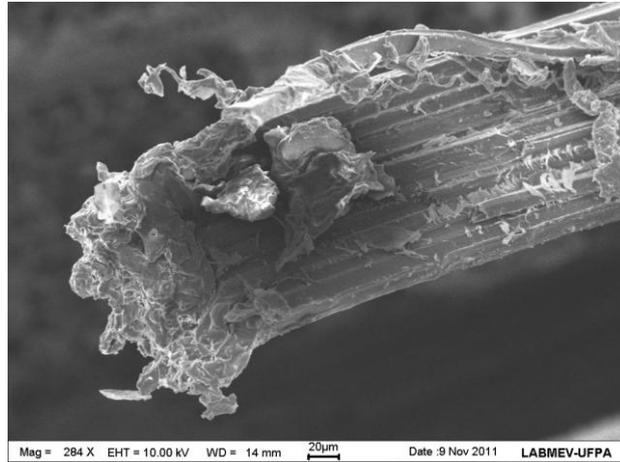
**Figura 47- Mostra a micro estrutura do compósito de madeira/sisal**



Fonte: Saraiva, Marcelo (2012)

A figura 48 mostra uma fibra de sisal que sofreu fratura após o ensaio de tração do material compósito.

**Figura 48- A fibra de sisal com sinais de rompimentos resultante do ensaio de tração**

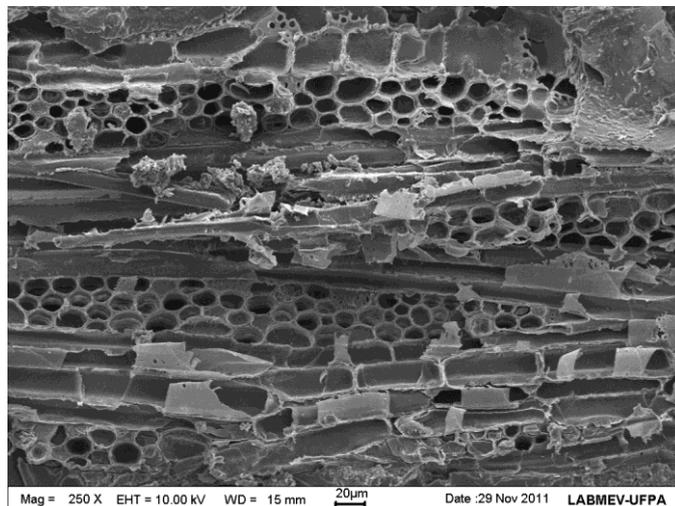


Fonte: Saraiva, Marcelo (2012)

#### 4.4.5 Micro estrutura do compósito de madeira/matriz poliéster/madeira

A figura 49 ilustra seção do material compósito constituído de lâmina de madeira. A superfície ilustra as camadas de fibrilas e microfibrilas de celulose entremeadas por uma matriz de lignina. Nesta imagem também é possível observar as camadas de cada lâmina de madeira que foi usada para preparar o laminado composto.

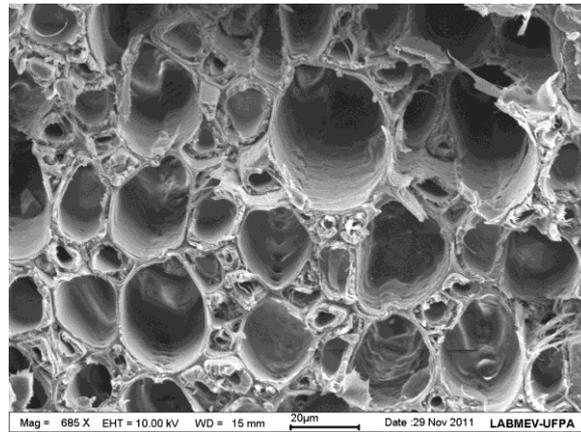
**Figura 49- Micro estrutura do compósito de madeira/madeira**



Fonte: Saraiva, Marcelo (2012)

Um maior detalhe das camadas de fibrilas e microfibrilas de celulose entremeadas por uma matriz de lignina pode ser observado na figura 50.

**Figura 50- Micro estrutura do compósito de madeira/madeira**



Fonte: Saraiva, Marcelo (2012)

## 5 CONCLUSÕES

Os resultados da pesquisa mostraram as seguintes conclusões:

O método de fabricação dos compósitos laminados mostrou-se satisfatório para todos os conjuntos, madeira/madeira, madeira/tururi, madeira/sisal, madeira/curauá e madeira/madeira, tendo em vista que os materiais não apresentaram delaminação;

Entre os laminados produzidos, o laminado puro, madeira/madeira apresentou melhor comportamento quanto a resistência a tração, seguido dos conjuntos madeira/tururi sem abertura, madeira/tururi com abertura, madeira/curauá e madeira/sisal;

Maior alongamento na carga máxima foi obtido para o laminado madeira/tururi sem abertura e o menor para o laminado madeira/sisal e madeira/curauá;

A aplicação do reforço de tecido de tururi sem abertura, nas laminas de madeira, proporcionou pouca redução na resistência mecânica quando comparado ao conjunto madeira/matriz poliéster/madeira, cerca de 10%;

Maior redução com a adição de fibras como reforço, foi na forma de pre-pregs para a fibra de sisal, cerca 28% de redução;

O uso de reforço com fibras de tecido de tururi com abertura e pre-pregs de fibras de curauá mantiveram-se em um mesmo patamar, com redução média de 18%, quando comparado com o laminado puro madeira/madeira, podendo ainda ser viável;

O método de fabricação mostrou-se adequado para estes laminados híbridos, porém a quantidade de fibra deve ter influenciado fortemente nos resultados dos ensaios de tração;

Quanto aos aspectos microestruturais da fratura dos laminados de madeira puro e reforçado por tecido de fibra de tururi (com e sem abertura), sisal e curauá foi verificado que não houve delaminação entre as camadas após o ensaio de tração, logo o aumento do teor de fibras deverá aumentar a resistência mecânica dos sistemas híbridos;

O trabalho mostrou também que a produção de laminado de madeira reforçado por fibras naturais pode ser uma nova alternativa para a fabricação de novos materiais, devido apresentarem qualidades como biodegradabilidade, matéria prima abundante e renovável.

Comparado com outros materiais compósitos constituídos por tecido de fibra natural os laminados desta pesquisa apresentaram resposta em termos de resistência mecânica superior.

## REFERÊNCIAS

- ANDERSON A.;BECK, H.T.;SCARIOT, A. **Flora de palmeiras da ilha de Marajó Pará Brasil**. Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi. V. 7. n.2. 1991.
- BAITELLO, J.B., HERNANDEZ, F.L., MORAES, P.L.R., ESTEVES, R., MARCOVINO, J.R., J.R., Lauraceae. *In*: WANDERLEY, M.G.L.; SHEPHERD, G. J.; MELHEM, T. S.; GIULIETTI, A. M.; KIRIZAWA, M.; (Org.) **Flora fanerogamica do Estado de São Paulo – RiMa/Fapesp**. V.3. São Paulo. 2003.
- BALICK, M.J. Amazoniam **Oil palms of promise: a survey**. Economic Botany. V.33.n.1,1979.
- CALLISTER. W. D. Jr. **Ciência e Engenharia de Materiais – uma introdução**. Utah: Ltc, 2002. 602p.
- CANEVAROLO, S. V., **Ciência dos Polímeros**, Artliber Editora LTda, São Paulo, Brasil, p. 9, 2002.
- CARASCHI, J. C.; LEÃO, A. L. Wood flour as reinforcement of polypropylene. **Materiais Research**, v. 5, n. 4, p. 405-409, 2002.
- CAVALCANTE P.B. Arboretum amazoniam. **Iconografia dos mais importantes vegetais espontâneos e cultivados da região amazônica**. 5ª década. Pará: MPEG. 1988.
- CORREA, M. P. **Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas** . Rio de janeiro: Imprensa Nacional, v. 6, 1978.
- 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**. 2012. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade de Federal do Pará, 2012.
- DUARTE, C. **Fabricação e Caracterização de Material Compósito de Resina Poliéster Reforçada por Tecido de Fibra de Tururi Extraído da Palmeira de Ubuçu** (Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica) Universidade Federal do Pará, Pará 2011.
- DWEIB, M. A.; Hu, B. O`DONNELL; A. Shenton, H. W., Wool, R. P. 2004, **Bio-based composite roof structure: Manufacturing and processing issues**. **Composite Structures**, 147-157.
- ELBADRY, E. A., ALY-HASSAN, M. S., HAMADA, H., **Mechanical Properties of Natural Jute Fabric/Jute Mat Fiber Reinforced Polymer Matrix Hybrid Composites**, *Advances in Mechanical Engineering*, Volume 2012 (2012), 12 pages
- EL BANNA, W. R. **Estudo comparativo de material compósito reforçado por fibras de bananeira e curauá e matriz poliéster**. 2012. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade de Federal do Pará, 2012.

FAGURY, R. V. G. **Avaliação de fibras naturais para a fabricação de compósitos: açaí, coco e juta.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Pará, 2005.

GEILFUS, FRANS; 1994. **El árbol al servicio del agricultor. Manual de Agrofloresteria para el desarrollo rural,** Turrialba/ Costa Rica, CATIE, 778p, 2V.

HAGE FERNANDO, 2009 **“Múltiplos Artesanatos”** Dissertação (Mestrado em moda cultura e arte no centro) Universitario Senc: Ira-Revista de moda, cultura e arte, vol. 2. n. 1, São Paulo, Brasil.

HENTZE, H. P., **From Nanocellulose Science towards Applications.** VTT – Technical Reserch Center of Finlande. PulPaper, 2010.

HILLIG E. **Modelagem de Misturas na Fabricação de Compósitos Polímero-fibra, utilizando Polietileno e Serragem de Pinus sp.** Ciência Florestal. V. 16, n. 3, p. 343-351,2006.

K. SABEEL AHMED, S. Vijayarangan and A.C.B. Naidu // **Materials and Design** (2007) 2287.

KLEIN, R. M.; REIS, A.; REITZ, R. Madeiras do Brasil. Florianópolis: Lunardelli, 320p., 1979.

IDICULA, M.; MALHOTRA, S. K.; JOSEPH, K.; THOMAS, S. **Dynamic mechanical analysis of randomly oriented intimately mixed short banana/sisal hybrid fibre reinforced polyester composites.** Composites Science and Tecnology, n. 65, p. 1077-1087, 2005.

JOSEPH, K.; THOMAS, S.; PAVITHRAN, C. **Effect of ageing an the physical and mechanical properties of sisal-fiber reinforced polyethylence composites,** Composites Science and Technology, Barking, V. 53, p. 99- 110, 1995.

LEÃO, M. A; **Fibras de Licuri:** um Reforço Alternativo de Compósitos Poliméricos. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal , 2008.

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

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil.** 4. Ed. Nova Odessa, SP: Plantarum, 384 p. 2002

LORENZI, H.; Souza, H.M., de; MEDIROS-COSTA.J.T. de; CERQUEIRA, L.S.C. de; BEHR, N.von. **Palmeiras no Brasil: nativas e exóticas.** Nova Odessa, SP: Editora Plantarem: 1996: 303p.

MATTEWS F.L, RAWLINGS R. D. **Composite Materials: Engineering And Science.** Chapman and Hall, Uk, 1994.

MENESES, L.C.F; **Comportamento de 24 espécies arbóreas tropicais madeiras introduzidas no Parque Zoobotânico**, Rio Branco/AC, 77p, 1995.

MOHANTY A.K.; MISRA, M.; DRZAL, L.T. **Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites** Taylor e francis group – crc press, 2005.

NECHWATAL, A.; MIECK, K. P. e REUBMANN, T., **Development in the characterization of natural fibre properties and in the use of natural fibres for composites**. Composites Science and Technology, V. 63, n.8, p. 1273-1279,2003.

OLIVEIRA, JORGE et al. **Espécies Vegetais**. Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi Série Botânica, 1991.

PEDROSO, A. G. **Desenvolvimento de um processo de manufatura de placas de compósitos de poliéster insaturado/fibras de vidro pós-consumo e resina de poliéster insaturado**. Tese (Doutorado em Química)- Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

PEREIRA, J. C. **Curso de projeto estrutural com materiais compósitos**. UFSC, 99 P., 2000.

PLOTKIN, M.J.; BALICK, M. **Medicinal uses of South American palm**. Journal of Ethnopharmacology, v.10, p- 157-179,1984.

REDDY, JN., (1997), **Mechanics of Laminated Composite Plates: theory and analysis** CRC Press, Inc., ISBN 0-8493-3101-3.

RIZZINI, C. T. **Árvores e madeiras úteis do Brasil: manual de dendrologia brasileira**. São Paulo: Edgard Blucher, 1978. 118 p.

RODRIGUES, J. D.S. **Comportamento Mecânico de Material, Compósito de Matriz Poliéster Reforçado por Sistema Híbrido-fibras naturais e Resíduos da Indústria madeireira**. 2008.224. Dissertação(Mestrado em Engenharia Mecânica)- Universidade Federal do Pará,2008.

ROWELL,R e et al. (1997). **Utilization of natural fibers in plastic composites problems and opportunities**. In: LEÃO, A.; CARVALHO, F.X.; FROLLINI, E.,eds. Lignocellulodics-plastics composites, São Paulo: USP: UNESP. p.23-51.

SABARIZ, A., Silva, V. R. V., Silva, L. J. da, et al. **Propriedades Mecânicas de Compósitos Formados por Matriz Epoxídica Reforçada com Fibras Vegetais**. In.: cbecimat - congresso brasileiro de engenharia e ciência dos materiais, 17, Foz do Iguaçu, PR – 2006. **Anais..** Foz do Iguaçu, PR: IPEN, 2006. P. 3650-60.

SABARIZ et al.; **Propriedades Mecânicas de Compósitos Formados por Matriz Epoxídica reforçada com fibras vegetais**, 17º CBECimat. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, PR, Brasil, 2006.

SANTOS, Neide Marulli dos. **Fibras têxteis**. São Paulo: SENAC, [200-]. 2006.

SILVA D. J. RODRIGUES. **Comportamento mecânico de material compósito de matriz poliéster reforçado por sistema híbrido fibras naturais e resíduos da indústria madeireira**. 2008. 22 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)- Universidade Federal do Pará, Pará, 2008.

SILVA et al. **Desenvolvimento de tecidos de sisal para utilização em compósitos poliméricos**. (2009).

SILVA LEITÃO. **Caracterização mecânica de Compósitos Poliméricos Bobinados em diversas orientações do reforço** (Dissertação em Ciência na Área de Tecnologia nuclear) Universidade de São Paulo, 2007

SILVA, R, V. **compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais**. 2003. 157 F. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais)- Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SILVA, R. V. **Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais**. 2003. 157 F. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais)- Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SOUZA Botânica Sistemática: **guia ilustrado para identificação das famílias de Fanerógamas nativas e exóticas no Brasil**, baseado em APGII/2 ed. Nova odessa, SP. Instituto Plantareum, 2008.

TANOBE, V.; MOCHNACZ, S.; MAZZARO, I, **Caracterização de biocompósitos poliéster/luffa cilíndrica ou sisal**. In: 58º CONGRESSO ANUAL DA ABM, São Paulo, 2002. **Anais...**São Paulo: ABM, 2002.p. 1671-1680.

TAKAHASHI, R. **Desenvolvimento de material compósito de matriz polimérica reforçada a partir de Pré-pregs de fibras naturais de curauá e de sisal**. Monografia (grau de Engenheiro Mecânico)- Universidade Federal do Pará, p. 17-19, 2011.

VARGHESE, S.; KURIAKOSE, B.; THOMAS, S.; JOSEPH, K. **Effect of adhesion ou the equilibrium swelling of short sisal fiber reinforced natural rubber composites**. Rubber chenistry and Technology, Akron, v.68, p. 01-13,1994.

VOGT. **Processo para obtenção de tecido a base de fibra de malva**. BR. N. PI 0802376-0A2, 10 maio, 2998, 02.03.2010.