



Universidade Federal do Amazonas- UFAM
Faculdade de Tecnologia - FT
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC

**Desenvolvimento e aplicação de compósitos à base de matriz polimérica
reforçado com fibras de curauá (*Ananás erectifolius*) e resíduos de madeiras
amazônicas**

FLÁVIA REGINA SILVA DOS SANTOS

Manaus

2013

Universidade Federal do Amazonas- UFAM
Faculdade de Tecnologia - FT
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC

Desenvolvimento e aplicação de compósitos à base de matriz polimérica reforçado com fibras de curauá (*Ananás erectifolius*) e resíduos de madeiras amazônicas

Flávia Regina Silva Dos Santos

ORIENTADOR: RAIMUNDO PEREIRA DE VASCONCELOS, PROF. DR.

CO-ORIENTADOR: JOÃO DE ALMEIDA MELO FILHO, PROF.DR.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC da Universidade Federal do Amazonas - UFAM, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Manaus

2013

Desenvolvimento e aplicação de compósitos à base de matriz polimérica reforçado com fibras de curauá (*Ananás erectifolius*) e resíduos de madeiras amazônicas.

Flávia Regina Silva dos Santos

BANCA EXAMINADORA

Prof.Dr. Raimundo P. de Vasconcelos (Orientador)
Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC
Universidade Federal do Amazonas - UFAM

Prof. Dr. João de Almeida Melo Filho (Co-orientador)
Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC
Universidade Federal do Amazonas

Prof. Dr. Gustavo Henrique Denzi Tonoli
Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira
Universidade Federal de Lavras – UFLA/Minas Gerais

Prof. PhD. Antônio Pedro Garcia de Valadares Souto
Professor do departamento de engenharia têxtil,
Universidade do Minho, Portugal.

“Se quer viver uma vida feliz, amarre-se a uma meta, não às pessoas nem às coisas.”

Albert Einstein

*“Acredito que a família foi estabelecida muito antes da igreja, e o meu dever é primeiro com
minha família. Não devo negligenciar minha família.”*

D. L. Moody

Agradecimentos

A Deus e ao seu único Filho Jesus Cristo, pela oportunidade de ser e estar a crescer, pela capacidade de raciocínio e saúde, e por vivenciar mais essa conquista.

Aos meus pais, Agnelo (*in memorian*) e a minha mãe Neuza, por seu amor incondicional, sua presença é viva em tudo o que faço.

As minhas irmãs e ao meu único irmão pelo apoio e motivação, pelo carinho e estímulo que me ofereceram e que com certeza continuarão a me oferecer.

Ao meu orientador Prof^o Dr. Raimundo Pereira de Vasconcelos, pela ajuda, amizade e serenidade em todas as etapas do curso e por sua orientação segura para executar este trabalho.

Ao Prof^o. Dr. João de Almeida Melo Filho, pela sua precisa co-orientação na realização deste trabalho.

A Maria Gorett dos Santos Marques, que se revelou uma grande amiga, me acolhendo, apoiando e ajudando em toda a minha pesquisa, pelos momentos tristes e alegres que passamos juntas.

A Mirian Dayse Furtado Lima, por sua contribuição e, por sua amizade nos momentos que precisei sempre esteve disposta a ajudar-me.

Ao amigo Luciano Varando Donizeti, que desde primeiro momento que cheguei a USP me ajudou na pesquisa e sempre se demonstrou solícito em ajudar-me.

Aos amigos que aqui conquistei Marcio Rogério e Julio Molina, pelas palavras de apoio e pelo companheirismo, é nos momentos difíceis que se revelam os verdadeiros amigos.

A Alessandra Fonseca, por sua hospitalidade, apoio e ajuda nos ensaios químicos do meu trabalho, e aos colegas que ali fiz, como o Joabel Raabe e Tatti Costa, que também foram de grande ajuda nos ensaios.

A toda equipe da Universidade Federal do Amazonas- UFAM, em especial aos técnicos do laboratório Patrícia e o Nilson, pelo ajuda prestada.

A toda equipe do Laboratório de Madeira e Estrutura de Madeira (LaMEM) da Universidade do Estado de São Paulo/USP - São Carlos, pela colaboração e convívio prazeroso;

Em especial ao Prof^o Dr. Carlito Calil Jr, pelo apoio logístico, por sua confiança, ajuda, amizade e apoio durante a realização deste trabalho;

Ao Profº Dr. Francisco A. Rocco Lahr, pela receptividade, colaboração, incentivo, motivação e amizade sempre muito bem-humorada;

Aos técnicos de laboratório Aparecido Galindo(Cidão) e Jaime Galindo, a pesquisadora M^a de Fátima (Fati) pelo auxílio na realização da minha pesquisa, a Tânia secretária do LaMEM, pelo acolhimento e gentileza que sempre prestou-me, em especial a sua filha Beatriz, pela hospedagem e ajuda nos dias que passei em Pirassununga.

A toda a equipe da Universidade Estadual de São Paulo – USP – Pirassununga, FZEA;

Em especial ao Profº Dr. Holmer Savastano Jr., pelo acolhimento no seu laboratório, pelo seu incentivo e por sua admirável sabedoria e ajuda prestada, e ao Profº Dr. Juliano Fiorelli, pela atenção e sugestões para melhoria deste trabalho;

A toda a equipe da Universidade Estadual de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” ESALQ-USP – Piracicaba;

Em especial ao Profº Dr. Mário Tomazello Filho – pelo acolhimento, receptividade e gentileza que sempre me prestou, e pela disponibilidade no Laboratório de Anatomia e Identificação da Madeira, e o Profº Dr. Francides Gomes da Silva Júnior, pela colaboração, e prestimosa ajuda nos ensaios realizados nos Laboratórios de Química, Celulose e Energia;

As mestrandas Ivanka e Maria (Laboratório de Anatomia ESALQ) e Camila Sarto (Laboratório de Química ESALQ) pela ajuda prestada nos ensaios que realizei.

A equipe da Universidade Federal de Lavras –UFLA/MG;

Ao Profº Dr. Paulo Fernando Trugilho – pela disponibilidade nos Laboratórios de Biomateriais e Ciência e Tecnologia da Madeira, e ao Profº Dr. Gustavo Henrique Denzin Tonoli, pela receptividade, colaboração, apoio logístico, e prestimosa ajuda nos ensaios realizados nos Laboratórios da UFLA-MG;

Ao técnico de Laboratório Antônio Claret e a Bióloga Selma Lopes Goulart (UFLA), pela ajuda prestada.

- Á PEMATEC – Santarém-Pará
- Ao INPA – Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia
- A Mil Madeiras Preciosas Ltda.
- À CAPES e o PRÓ-ENGENHARIA pela bolsa concedida e pelo suporte financeiro para o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

A busca por novos materiais não convencionais para construção civil à base de fontes renováveis tem contribuído com questões ambientais e com o desenvolvimento sustentável. No atual contexto ambiental e tecnológico as fibras da região amazônica brasileira têm cada vez mais se destacado, com relação ao seu uso em produtos dos mais diversos setores da engenharia. Dentre estas, pode-se citar o exemplo do curauá (*Ananás erectifolius*), espécie de bromeliácea que faz parte da família do abacaxi. O curauá tem se tornado uma planta bem atrativa, tanto pelo ponto de vista econômico, por possuir fácil acesso e necessitar de mão de obra de baixo custo, quanto pelo ponto de vista científico, por possuir baixa densidade e elevada resistência mecânica. O presente trabalho apresenta um estudo da viabilidade de produção e avaliação de painéis de fibra de curauá (*Ananás erectifolius*), sem e com resíduos de madeiras Amazônicas das espécies amapá-doce (*Brosimum parinarioides Duk*) e louro-inhamuí (*Ocotea cymbarum H.BK.*), produzidos sob pressão com resina poliuretana bi-componente à base de óleo de mamona. A pesquisa foi dividida em três etapas, na primeira foram feitas as caracterizações físicas, químicas e mecânicas da fibra, e no segundo momento confeccionados os painéis e realizados os ensaios de flexão estática, tração perpendicular e arrancamento de parafuso de superfície de acordo com a norma NBR 14810-2. Os resultados obtidos apontam que os painéis apresentaram boas propriedades físico-mecânicas, estando de acordo com a norma brasileira. Espera-se que o estudo possibilite o desenvolvimento e a futura geração de mais uma opção de material alternativo para o setor da construção civil, sendo assim fica comprovado o seu bom desempenho, podendo atender os requisitos técnicos para a área moveleira e construção civil.

Palavras-chave: Compósito, fibra de curauá, resíduos de madeiras amazônicas.

ABSTRACT

The search for new unconventional materials for construction based on renewable sources has contributed to environmental issues and sustainable development. In the current context of environmental and technological fibers in the Amazon region have become increasingly prominent, with respect to its use in products from various sectors of engineering. Among these, one can cite the example of curauá (*Ananas erectifolius*), species of bromeliad that is part of the pineapple family curauá has become a very attractive plant, both the economic point of view, because it has easy access and require low labor cost, as the scientific point of view, because it has low density and high strength. This paper presents a study of the viability of production and assessment of curauá (*Ananas erectifolius*) fiber panels, with and without wastes of Amazonian timber species amapá-doce (*Brosimum parinarioides Duk*) and louro-inhamuí (*Ocotea cymbarum H.BK.*), produced under pressure with bi-component polyurethane resin-based castor oil. The study was divided into three stages, the first characterizations were made physical, chemical and mechanical properties of the fiber, and the second time fabricated panels and the tests of bending, tensile and screw perpendicular surface according to standard NBR 14810-2. The results indicate that the panels showed good mechanical and physical properties, which is in accordance with the Brazilian standard. It is hoped that the study will enable the development and future generation of longer an option alternative material for the construction industry, so it is proved its good performance and can meet the technical requirements for the construction and furniture area.

Keywords: Composite, curauá fiber, waste wood Amazon.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema de Classificação dos materiais compósitos	201
Figura 2 – Empilhamento de camadas sucessivas reforçadas com fibras orientadas	222
Figura 3 – Visualizando um Diagrama esquemático mostrando a construção de um	22
Figura 4 - Compósito reforçado com fibras (a) contínuas; (b) descontínua	23
Figura 5 – Classificação das fibras vegetais	255
Figura 6 – Estrutura de um filamento individual (fibra vegetal)	266
Figura 7 – (a) Planta piaçava; (b) fibra piaçava	28
Figura 8 – (a) Planta do sisal; (b) fibra de Sisal	29
Figura 9 – (a) Planta de juta; (b) fibra de juta	30
Figura 10 – (a) Planta de malva; (b) fibra de malva	30
Figura 11 – (a) Açaizeiro; (b) fibra de açaí	32
Figura 12 - Planta do curauá (a) curauá branco e (b) curauá roxo	33
Figura 13 – (a) Mudanças de curauá; (b) Espaçamento para o plantio das mudas	35
Figura 14 – Desfibradora “Tapuia” empregada na produção da fibra de curauá	37
Figura 15 – Fibras estendidas no varal	39
Figura 16 - (a) peneira; (b) bolsa	40
Figura 17 - Porta-malas de carro	40
Figura 18 - (a) Planta da mamona “ <i>Ricinus communis L.</i> ”; (b) Óleo de mamona	42
Figura 19- Estrutura macroscópica do tronco de madeira	46
Figura 20 - Madeira Compensada- Colagem e Corte	51
Figura 21 – Esquematização dos tipos de resíduos de madeireiros	52
Figura 22 - Identificação da Madeira de amapá-doce	56
Figura 23 - Identificação da Madeira de louro-Inhamuí	57
Figura 24 - Esquema do planejamento experimental da pesquisa	58
Figura 25 – Fibra de curauá	59
Figura 26 - Madeira e Resíduos de madeira: (a) amapá-doce; (b) louro-inhamuí	59
Figura 27 - (a) Moinho para triturar a fibra, (b) fibras moídas	61
Figura 28 – (a) Moinho de facas; (b) agitador de peneiras	62
Figura 29 – (a) Estufa para esterilização e secagem; (b) dissecador e balança	63
Figura 30 - (a)Cadinho poroso nº2; (b) Cadinhos com amostras do material	65
Figura 31 - (a) Cadinho de alumínio; (b) Estufa da marca Marconi; (c) Dissecador	66
Figura 32 - (a) Balança eletrônica; (b) Material sendo pesado	67

Figura 33 - (a) Balão volumétrico de fundo chato de 250 ml e soxhlet	68
Figura 34 - (a) e (b) Material no recipiente Enlermeyr em banho maria	68
Figura 35 - (a) mufla; (b) as cinzas do material	70
Figura 36 - (a) e (b) Material livre extrativo nos vidros de penicilina	71
Figura 37 - (a) e (b) Vidros de penicilina com o material em banho maria	74
Figura 38 - (a) Aparelho chamado de banho-maria	75
Figura 39 - (a) Picnômetro conectado ao cilindro de gás Hélio	76
Figura 40 - (a) e (c) Equipamento DTG-60H; (b) e (d) Equipamento DSC-60	78
Figura 41 - (a) Recipiente de alumínio (b) Pinça; (c) Pincel e acetona	78
Figura 42 - Suporte de papel enumerado para fixação das fibras de curauá	79
Figura 43 - Processo de medição do diâmetro da fibra	80
Figura 44 - (a) Máquina Universal para ensaio de tração	81
Figura 45 - (a) e (b) Fibras cortadas; (c) Poliol a base de mamona	83
Figura 46 - Mistura das fibras cortadas com as resinas	83
Figura 47 - (a) Resíduo de amapá-doce; (b) Resíduo de louro-inhamuí	84
Figura 48 - Etapas da formação do colchão; (a) Formação do colchão	85
Figura 49 - (a) Prensa semi-automática; (b) Painéis de fibra de curauá	85
Figura 50 - (a) Painéis prensados na prensa semi-automática	86
Figura 51 - (a) e (b) Esquadrejamento do painel; (b) e (c) Corpos de prova	87
Figura 52 - (a) Amostras submersas; (b) Remoção do excesso de água	89
Figura 53 - (a) Corpos de prova marcados; (b) e (c) Corpo de prova	91
Figura 54 - (a) e (b) Suportes de aço com as amostras; (c) e (d) Corpos de prova	93
Figura 55 - (a) Parafuso sendo colocado na face; (b) Parafuso	94
Figura 56 - Dimensões e tipo do parafuso a ser utilizado no ensaio	94
Figura 57 - (a) Corpo-de-prova colocado na máquina universal de ensaio	95
Figura 58 - Curvas de TG/DTG da fibra de curauá	99
Figura 59 - Curva típica Tensão x Deformação para fibra de curauá	100
Figura 60 - Resultado comparativo da densidade aparente dos painéis ensaiados	102
Figura 61 - Resultado comparativo de inchamento dos painéis ensaiados	103
Figura 62 - Resultado comparativo de absorção de água dos painéis ensaiados	104
Figura 63 - Resultado comparativo do MOR dos painéis ensaiados	106
Figura 64 - Resultado comparativo do MOE dos painéis ensaiados	106
Figura 65 - Resultado comparativo do arrancamento de parafusos dos painéis	108
Figura 66 - Resultado comparativo de tração perpendicular	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação botânica do curauá	36
Tabela 2 - Características do lenho de reação	47
Tabela 3 - Composição Química da fibra de curauá e outras fibras vegetais	96
Tabela 4 - Composição química dos resíduos de madeiras	97
Tabela 5 – Densidade da fibra de curauá comparadas com outras fibras vegetais	98
Tabela 6 – Características mecânicas da fibra de curauá comparada.....	101
Tabela 7 – Resultados do ensaio de densidade dos painéis e valores médios	104
Tabela 8 - Valores de Inchamento em Espessura	102
Tabela 9 - Valores de Absorção de Água	103
Tabela 10- Resultados de valores médios para o MOR e MOE no ensaio.....	103
Tabela 11- Classificação, valores mínimos e uso recomendado de painéis.....	107
Tabela 12 - Ensaio de arrancamento de parafuso de superfície com os valores.....	108
Tabela 13 – Ensaio de tração perpendicular	109

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIPA	Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira;
ABIMCI	Associação Brasileira da Indústria da Madeira Processada Mecanicamente;
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas;
ANSI	American National Standard Institute;
ASTM	American Society for Testing and Materials;
CA	Curauá com resíduo de amapá-doce;
CEAPAC	Centro de Apoio a Projetos de Ação Comunitária;
CEPLAC	Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira;
CL	Curauá com resíduo de louro-inhamui;
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento da Bahia;
COSIBRA	Companhia Sisal do Brasil
FC	Fibra de curauá;
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPA	Instituto de Pesquisas da Amazônia
LaMEM-	Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeira / USP
MDF	Medium Density Fiberboard
MDP	Medium Density Particleboard
MF	Melamina formaldeído
MOE	Módulo de Elasticidade
MOR	Módulo de Ruptura
NBR	Norma Brasileira Registrada
POM	Pequenos Objetos de Madeira
PPGEC	Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
TAPPI	Technical Association of the Pulp and Paper Industry

SUMÁRIO

RESUMO	7
1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Considerações iniciais	15
1.2 Objetivos	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1. MATERIAL COMPÓSITO – CONCEITO E CLASSIFICAÇÕES	18
2.1.1 Conceito	18
2.1.2 Classificação dos Compósitos	19
2.1.2.1 Compósito reforçado com partículas	20
2.1.2.2 Compósito Estrutural	21
2.1.2.3 Compósito Reforçado com Fibras	23
2.2 FIBRAS NATURAIS	24
2.2.1 Fibras Vegetais (Lignocelulósicas)	24
2.3. FIBRAS VEGETAIS NO BRASIL	27
2.3.1 Fibras de Piaçava	27
2.3.2 Fibras de Sisal	28
2.3.2 Fibras de Juta	29
2.3.3 Fibras de Malva	30
2.3.4 Fibras de Açaí	31
2.4 CURAUÁ (<i>Ananás erectifolius</i>)	32
2.4.1. Preparo das mudas	33
2.4.2 Características gerais do curauá	36
2.4.2.1 Classificação Botânica	36
2.4.2.2 Morfologia:	36
2.4.3. Beneficiamento da fibra	37
2.4.4. Aplicação das fibras de curauá	39
2.5 Resina Poliuretana à base de Mamona	41
3. PRODUTOS DERIVADOS DA MADEIRA E AGLOMERADOS	44
3.2 Classificação da Madeira	44
3.3 Propriedades Estruturais da Madeira	47
3.3.1 Painéis de Madeira Aglomerada	48
3.3.2 Classificação	49
3.4. Resíduos de madeiras	51
3.4.1 Madeiras Amazônicas	55
3.4.1.1 AMAPÁ-DOCE – Características Gerais	55
3.4.1.2 LOURO INHAMUÍ – Características Gerais	56
4. MATERIAIS E MÉTODOS	58
4.1 MATERIAIS	59
4.2. MÉTODOS	60
4.2.1 Caracterização química da fibra de curauá e dos resíduos de madeiras amazônicas	60
4.2.1.1 Preparação para os ensaios químicos.	61
4.2.1.2 Teor de Umidade	62
4.2.1.3 Teor de Extrativos	64
4.2.1.4 Teor de Cinzas (Minerais)	69
4.2.1.6 Determinação da Holocelulose	70
4.2.1.7 Determinação do teor de Celulose	72
4.2.1.8 Determinação do teor hemicelulose	72
4.2.1.5 Determinação do teor de lignina	72
4.3 Caracterização física da fibra de curauá	75

4.3.1 Densidade real	75
4.3.2 Análise Térmica	77
4.4 Caracterização física e mecânica da fibra de curauá	79
4.4.1 Fase de Preparação da fibra de curauá	79
4.4.2 Desenvolvimento do molde da fibra para os testes de ensaio mecânico	79
4.4.3 Determinação do diâmetro das Fibras	80
4.4.4 Avaliação das Propriedades Mecânicas	80
4.5. PROCESSO PARA PRODUÇÃO DOS PAINÉIS	82
4.5.1 Produção dos Painéis	82
4.5.2 PREPARAÇÃO PARA O ENSAIO FÍSICO/MECÂNICO	86
4.5.2.1 Preparação para o ensaio físico	87
4.5.2.1.1 Densidade do painel	87
4.5.2.1.2 Inchamento e Absorção do painel	88
4.5.2.3 Ensaio mecânico de flexão estática	90
4.5.2.4 Ensaio de Tração perpendicular (Adesão Interna)	92
4.5.2.5 Ensaio de Arrancamento de Parafuso de superfície	93
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	96
5.1. Caracterização química do reforço	96
5.2 Caracterização físico-mecânica da fibra de curauá	98
5.2.1 Densidade real	98
5.2.2 Análise térmica	99
5.2.3 Tração direta	100
5.3 Caracterização Físico-Mecânica dos Compósitos (Painéis)	101
5.3.1 Densidade	101
5.3.2 Inchamento e absorção	102
5.3.3 Caracterização de flexão estática	104
5.3.4 Arrancamento de parafuso de superfície	107
5.3.5 Tração perpendicular (Adesão Interna)	109
6. CONCLUSÕES FINAIS	111
7. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	113
8. REFERÊNCIAS	114
9. ANEXOS	128

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

O uso de materiais ecologicamente corretos tem se desenvolvido muito nos últimos anos, com o principal objetivo de diminuir os impactos ambientais, sabemos que o mundo está em constante transformação, e a escassez crescente de alguns recursos naturais, vem incentivando pesquisas em busca de alternativas. A melhor alternativa para o desenvolvimento sustentável são os materiais oriundos de fontes renováveis ou ditos “materiais verdes”, que podem ser empregados em substituição àqueles que causam grande impacto ambiental, principalmente os destinados à indústria da construção civil e a indústria moveleira.

O desenvolvimento sustentável torna-se de fundamental importância para o Brasil, pois no território brasileiro está a maior floresta do mundo, a “Floresta Amazônica”, sendo esta uma das mais ricas em biodiversidade, apresentando uma riqueza incalculável nas suas variedades de organismos, com a maior concentração de água doce, minérios, madeiras, espécies vegetais e animais.

A região Amazônica é rica em recursos naturais renováveis, dentre estes, com relação ao escopo do presente trabalho, encontram-se as fibras vegetais, como o curauá uma “bromélia” (*Ananas erectifolius*), da mesma família do abacaxi. O seu cultivo no Brasil teve início na Amazônia Oriental, no estado do Pará (Rio Xingu, Trombetas e outros), especificamente no Lago Grande de Curuai, no município de Santarém. Neste município foi implantada a Pematec Triangel, indústria especializada na utilização de fibras vegetais como material de revestimento interno de veículos. O seu cultivo vem se espalhando por outras regiões, como Acre, Mato Grosso e Amazonas, sendo que nesta última, o cultivo é feito em uma das margens do Rio Negro no município do Iranduba.

A utilização da fibra de curauá vem do período pré-colombiano, onde os primitivos da floresta já usavam esta fibra para amarrar embarcações, produzir redes e balaios (cestas). O curauá é uma fibra atraente do ponto de vista econômico e tecnológico, é de fácil acesso e possui mão de obra de baixo custo e não necessita de grandes equipamentos tecnológicos (da plantação a colheita), do ponto de vista científico possui baixa densidade e elevada resistência mecânica.

A necessidade atual de um desenvolvimento tecnológico com menor impacto ambiental nos últimos anos tem levado seus pesquisadores a descobrir novas opções de utilização das fibras vegetais na produção de materiais para construção civil, tendo como grande desafio o estudo de materiais compósitos reforçado com fibras vegetais. Com isso, possibilitando o melhor uso das fibras vegetais, tendo estas um grande potencial para utilização no futuro como fonte de recurso natural renovável. Entretanto, existe ainda uma falta de informações técnicas sobre as propriedades das fibras de curauá e dos possíveis produtos obtidos com esta fibra.

Neste contexto, o presente trabalho apresenta uma pesquisa relativa a viabilidade técnica da produção de painéis de matriz polimérica com fibra de curauá (*Ananas erectifolius*) e resíduos de madeiras amazônicas para aplicação na construção civil, seguindo as etapas que são apropriadas ao processo de produção de um compósito.

A apresentação do trabalho está dividida nos seguintes tópicos: fundamentação teórica, materiais e métodos, resultados e discussão, conclusões finais, sugestões para trabalhos futuros e referências bibliográficas.

Na fundamentação teórica temos uma revisão bibliográfica, distribuída em dois capítulos, constando no segundo capítulo uma compreensão sobre os materiais compósitos e no terceiro capítulo uma revisão sobre a madeira e painéis aglomerados. No quarto capítulo, inicia-se a fase experimental, onde são descritos os materiais e estão divididos em três etapas: 1ª etapa: Caracterização da fibra e dos resíduos de madeira; 2ª etapa: Produção dos compósitos e a 3ª etapa: Caracterização dos compósitos. O quinto capítulo constam os

resultados obtidos nos ensaios descritos no capítulo anterior. Por fim a conclusão do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

1.2 Objetivos

Objetivo Geral:

- Produzir e avaliar as principais características físicas e mecânicas de compósitos de resina de mamona reforçados com fibra de curauá e resíduos de madeiras amazônicas para uso em painéis industriais.

Objetivos Específicos:

1. Caracterizar fisicamente, quimicamente e mecanicamente a fibra de curauá;
2. Caracterizar quimicamente os resíduos das madeiras amazônicas: louro-inhamuí e amapá-doce;
3. Analisar o comportamento físico e mecânico de compósitos em forma de painéis poliméricos produzidos com fibra de curauá e resíduos de madeiras típicas da região Amazônica.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. MATERIAL COMPÓSITO – CONCEITO E CLASSIFICAÇÕES

2.1.1 Conceito

Segundo ASHBY e JONES (2007), na atualidade a palavra “compósito” nos dá um ar de moderno. Porém, usar a alta resistência das fibras para enrijecer e fortalecer uma matriz de material barato é, talvez, tão antigo quanto a invenção da roda. Um exemplo é o caminho da antiga Babilônia, uma das menos cotadas maravilhas do mundo antigo, foi feito de betume reforçado com palha trançada. Palha e crina de cavalo têm sido utilizadas para reforçar tijolos de barro (melhorando sua tenacidade à fratura) há, no mínimo, 5.000 anos. O papel é um compósito, o concreto também; ambos eram conhecidos dos romanos. E quase todos os materiais naturais que devem suportar carga são compósitos, exemplos disso são a madeira, osso e músculo.

O resultado da combinação de dois ou mais materiais distintos é chamado material compósito. O exemplo clássico e mais vulgar são os compósitos fibrosos, isto é, que resultam da dispersão de fibras num material aglomerante, que se designa por matriz. A incorporação de fibras para melhorar as propriedades dos materiais tradicionais começou nos primórdios da história da humanidade. Hoje em dia, o conjunto de materiais que se pode combinar para produzir compósitos é muito vasto, e vão desde o vulgar concreto armado até os compósitos de elevados desempenho, à base de resinas epóxi reforçados com fibras contínuas de carbono, (MOURA *et al.* 2005).

Conforme NETO e PARDINI (2006), as conquistas tecnológicas nesse campo são inúmeras, principalmente as relacionadas com aplicações relevantes em áreas, tais como aeronáutica, aeroespacial, petroquímica, naval, bioengenharia, automobilística, construção civil, e de artigos esportivos, entre outras, mas se tornaram viáveis após o advento dos compósitos estruturais. Esta classe de materiais é bastante ampla e abrangente, compreendendo desde os

polímeros reforçados com fibras, os materiais híbridos metal/compósito, os concretos estruturais, e outros compositos que incorporam matriz metálica ou matriz cerâmica. Os compósitos obtidos a partir de reforços contínuos apresentam um excelente desempenho estrutural, considerando a resistência e a rigidez específicas. Estes materiais são muito resistentes a vários tipos de corrosão, e se comparados às ligas metálicas estruturais são bem mais leves (por fatores superiores a até 4 vezes).

Segundo ASKELAND e PHULÉ (2008), materiais compósitos podem ser selecionados para resultar em combinações incomuns de rigidez, resistência mecânica, peso, desempenho em altas temperaturas, resistência à corrosão, dureza ou condutividade.

2.1.2 Classificação dos Compósitos

Segundo CALLISTER (2000), os compósitos possuem três divisões principais, que são os compósitos reforçados com partículas, os compósitos reforçados com fibras e os compósitos estruturais (Figura 1); ainda, existem pelo menos duas subdivisões para cada uma delas. A fase dispersa para os compósitos reforçados com partículas tem eixos iguais (isto é, as dimensões das partículas são aproximadamente as mesmas em todas as direções); para os compósitos reforçados com fibras, a fase dispersa tem a geometria de uma fibra (isto é, uma grande razão entre o comprimento e o diâmetro). Os compósitos estruturais são combinações de compósitos e materiais homogêneos, cujas propriedades dependem não somente das propriedades dos materiais constituintes, mas também do projeto geométrico dos vários elementos estruturais. Os compósitos laminares e os painéis em sanduíche são dois dos tipos de compósitos estruturais mais comuns.

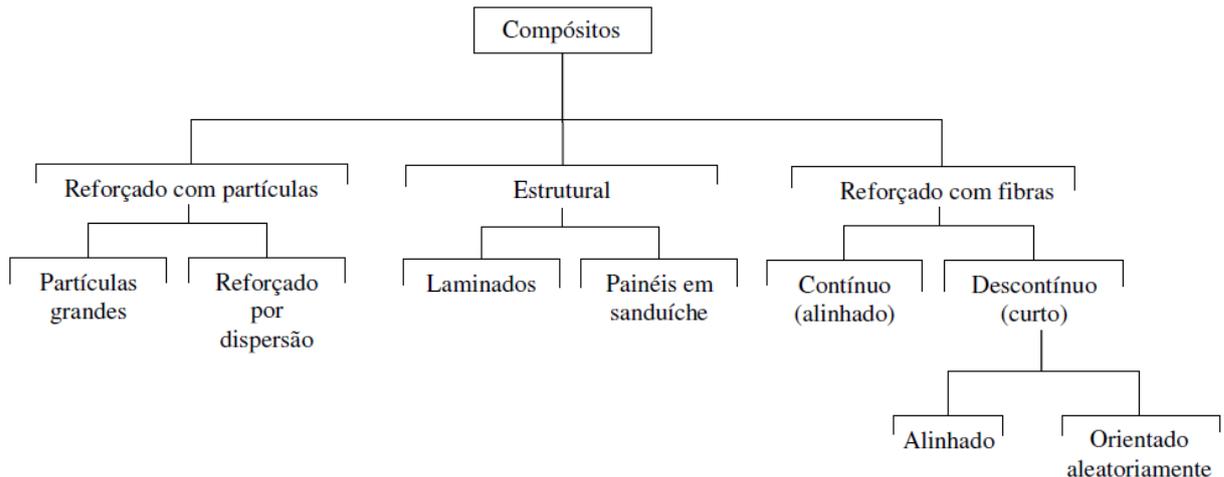


Figura 1 – Esquema de Classificação dos materiais compósitos

Fonte: Adaptado de CALLISTER JR. (2000).

2.1.2.1 Compósito reforçado com partículas

Esse compósito se divide em: compósitos de partículas grandes e compósitos fortalecidos por dispersão.

- ✓ **Partícula Grande:** O sentido que se dá a palavra “Grande”, na verdade é usada para indicar que as interações partícula-matriz do ponto vista atômico ou molecular é empregado na mecânica de sólido contínuo. Para a maioria desses compósitos, a fase particulada é mais dura e mais rígida do que a matriz, e eles podem ser obtidos com os três tipos de materiais: metais, polímeros e cerâmicos. Temos o exemplo do concreto que nos é familiar, o concreto é composto por cimento (matriz), sendo a areia e a brita os particulados (CALLISTER JR., 2000).
- ✓ **Reforçado por Dispersão:** Neste tipo de compósitos, que têm a sua resistência aumentada por dispersão, as partículas são, em geral, muito menores, com diâmetros entre $0,01\mu\text{m}$ e $0,1\mu\text{m}$. Através da interação partícula-matriz ocorre o aumento da resistência ao nível atômico ou no nível molecular. A matriz suporta a maior parte da carga aplicada, ao passo que as partículas pequenas que estão espalhadas impedem ou dificultam o seu movimento. Sendo assim, a deformação plástica é reduzida de tal modo

que é melhorado o limite de escoamento, a resistência à tração, bem como sua dureza (CALLISTER, 2000).

2.1.2.2 Compósito Estrutural

É normalmente formado por materiais homogêneos, sendo sua nova forma geométrica um fator importante nessa união. Subdivide-se em laminados e painéis sanduíche.

✓ **Laminados:** É determinado por folhas ou painéis bidimensionais de direção única, possui alta resistência mecânica, igual ao encontrado na madeira e em plásticos reforçados com fibras contínuas e alinhadas (Figura 2). As camadas são empilhadas e subsequentemente unidas umas às outras, de tal modo que a orientação da direção de alta resistência varia de acordo com cada camada sucessiva. Por exemplo, as folhas sucessivas de madeira na madeira compensada são alinhadas com as direções dos grãos em ângulos retos umas com as outras. Os laminados também podem ser construídos empregando-se materiais na forma de tecidos, tais como o algodão, o papel, ou fibras de vidro trançadas, os quais são inseridos no interior de uma matriz polimérica. Este tipo de compósito laminar possui uma resistência relativamente alta em uma diversidade de direções no plano bidimensional; entretanto, a resistência em qualquer direção específica é, obviamente, menor do que aquela que existiria se todas as fibras estivessem orientadas naquela direção (CALLISTER, 2000).

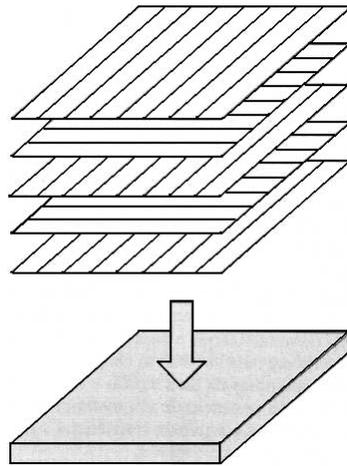


Figura 2 – Empilhamento de camadas sucessivas reforçadas com fibras orientadas para um compósito laminar.

Fonte: CALLISTER JR. (2000).

Painéis Sanduiche: É formado por duas folhas ou faces externas mais resistentes sendo separadas por uma camada de material menos denso, ou enchimento, que tenha menor rigidez e menor resistência mecânica (Figura 3), por sua vez essas faces suportam maior parte do carregamento dentro do plano e qualquer tipo de tensão de flexão transversal. Estruturalmente falando, o enchimento desempenha duas atividades, a primeira é que ela separa as folhas e resiste à deformação perpendicular ao plano da face; a segunda é que ela possibilita um grau de rigidez maior em relação a tensão de cisalhamento ao longo do plano (CALLISTER JR.,2000).

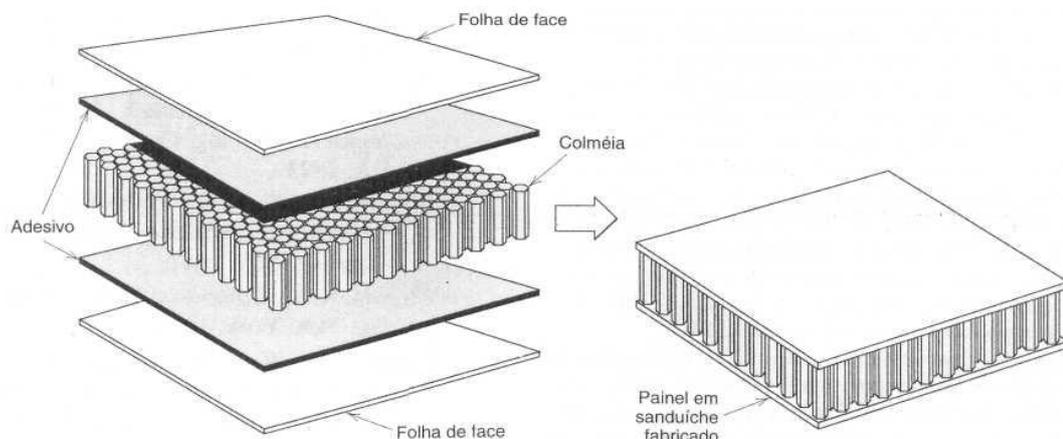


Figura 3 – Visualizando um diagrama esquemático mostrando a construção de um painel sanduiche com enchimento em colmeia.

Fonte: Adaptado de CALLISTER JR. (2000).

2.1.2.3 Compósito Reforçado com Fibras

Uma das vantagens dos compósitos reforçados com fibra é que estas promovem um aumento na resistência mecânica e uma redução na densidade do compósito. Compósitos reforçados com fibra são subdivididos pelo comprimento de fibra: compósito de fibra contínua (longa) compósito de fibra curta (NETO e PARDINI, 2006).

Segundo QUIRINO (2010), o arranjo e a concentração das fibras exercem influência sobre a resistência mecânica e outras propriedades de compósitos reforçados por fibra. Com relação ao arranjo, as fibras podem ser dispostas de duas maneiras. A primeira é o alinhamento paralelo do eixo longitudinal das fibras, a outra é um alinhamento randômico. Fibras contínuas estão normalmente alinhadas enquanto que fibras descontínuas podem ser agrupadas randomicamente orientadas.

Com relação às propriedades mecânicas, outros aspectos que são importantes dos compósitos reforçados com fibras, a reciprocidade entre matriz/fibra, fragmentação volumétrica dos componentes da mistura e, composição química da matriz e das fibras. Conforme Figura 4, observa-se o desenho ilustrativo de compósito reforçado por fibra.

- ✓ **Fibras Contínuas (alinhadas):** São geralmente destinados a aplicações estruturais, pois possuem maior resistência mecânica, sendo que suas propriedades finais dependem principalmente da orientação e configuração das fibras (QUIRINO, 2010).

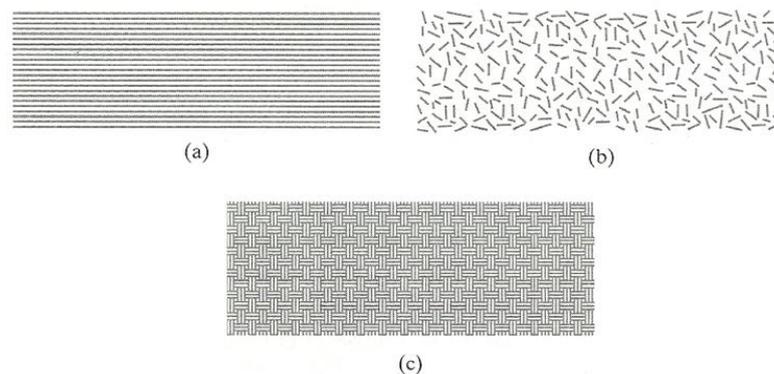


Figura 4 –Compósito reforçado com fibras (a) contínuas; (b) descontínua (ou curtas); (c) tecido tramado, que é usado para criar uma estrutura laminada.

Fonte: Adaptado de SHACKELFORD (2008).

- ✓ **Fibras Descontínuas (curtas):** muitos são os compósitos com fibras descontínuas usados na engenharia. É de forma heterogênea que se apresenta as tensões, uma das suas funções é transmitir os esforços para o reforço, que podem ser transmitidos pela deformação plástica ou elástica na matriz e nas suas extremidades, ainda que o elemento de reforço seja menor para as fibras descontínuas do que para as fibras contínuas, a sua aplicação vem se fortalecendo cada vez mais no mercado comercial, têm-se como exemplo as fibras de vidro picadas, de carbono e aramida, sendo todas estas, fibras sintéticas (QUIRINO, 2010).

2.2 FIBRAS NATURAIS

Em busca de novas alternativas, atualmente a utilização de recursos naturais tem desempenhado um importante papel na economia de qualquer país, contribuindo para o desenvolvimento sustentável.

Conforme NETO e PARDINI (2006), as fibras vegetais possui baixa massa específica; maciez e abrasividade reduzida; recicláveis, não tóxica e biodegradável; baixo custo; estimulam empregos na zona rural; e baixo consumo de energia e produção.

Segundo NETO e PARDINI (2006), utilizar um compósito de fibras naturais (via de regra de origem vegetal ou animal), tem como principal propósito, fazer com que o mesmo atue como uma carga de material reciclável e de baixo custo à matriz, do que realmente reforça-la mecanicamente de forma significativa.

2.2.1 Fibras Vegetais (Lignocelulósicas)

A fibra vegetal é um conjunto de filamentos individuais, formadas por fibrilas e unidas por espécies químicas orgânicas não cristalinas, as ligninas e as hemiceluloses. As fibrilas se

orientam em ângulos distintos, unindo-se e formando as diversas camadas que compõem a macrofibra, (PINTO, 2008).

Segundo TROMBETA (2010) *apud* GEORGE *et al.* (2001), as fibras vegetais ou lignocelulósicas são tiradas de suas diversas partes, como: caule (juta, banana, linho, cânhamo, kenaf, rami, malva); folha (abacaxi, sisal, henequém, curauá); fruto ou semente (algodão, mamona, coco e açaí).

A Figura 5 mostra as principais categorias das fibras lignocelulósicas. Na Europa o linho é a fibra vegetal mais importante, isso comercialmente falando, e no Brasil é o sisal (NEIS, 2008 *apud* YOUNG, 1995).

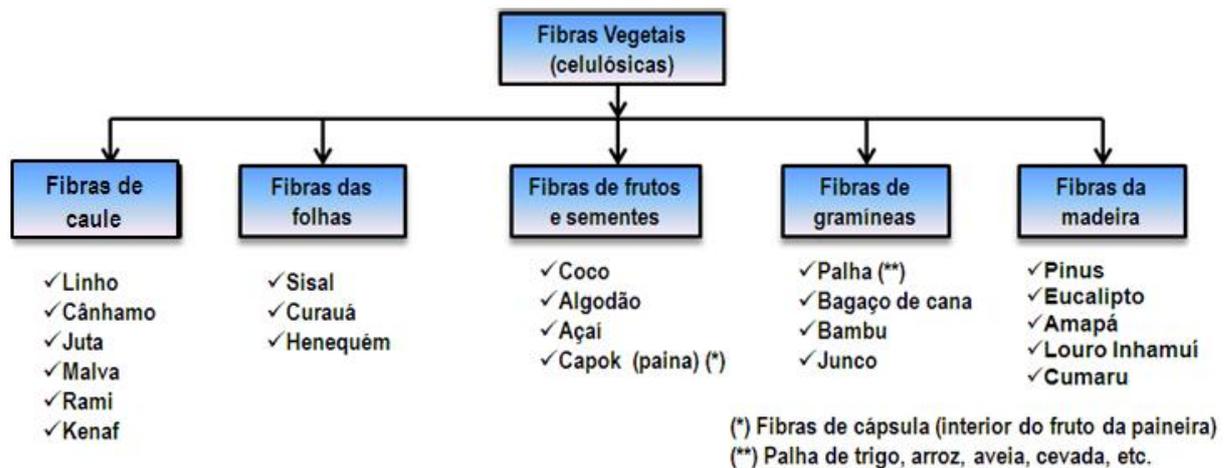


Figura 5 – Classificação das fibras vegetais

Fonte: Adaptado de NEIS (2008) *apud* YOUNG (1995)

De acordo com PINTO (2008) *apud* ARSÈNE *et al.* (2003), de forma simplificada, a celulose é um polímero natural que reforça o material, e é de grande importância nas fibras vegetais, sua função é estrutural aumentando a resistência à tração. A cadeia de celulose forma microfibrilas que, juntamente com a hemicelulose, formam as fibrilas. As fibrilas são dispostas em várias camadas para construir a estrutura da fibra. As fibras são cimentadas dentro da planta por lignina.

Pode-se observar a estrutura de um filamento individual na Figura 6. Vê-se, a parede primária (P), com cerca de 0,05 μm de espessura. A parede secundária que é formada por três camadas distintas, caracterizadas por diferentes alinhamentos das fibrilas. A camada S1 tem entre 0,1 μm e 0,2 μm de espessura. A camada S2 tem de 2 μm a 10 μm de espessura. A camada S3 é a mais interna, tendo cerca de 0,1 μm de espessura.

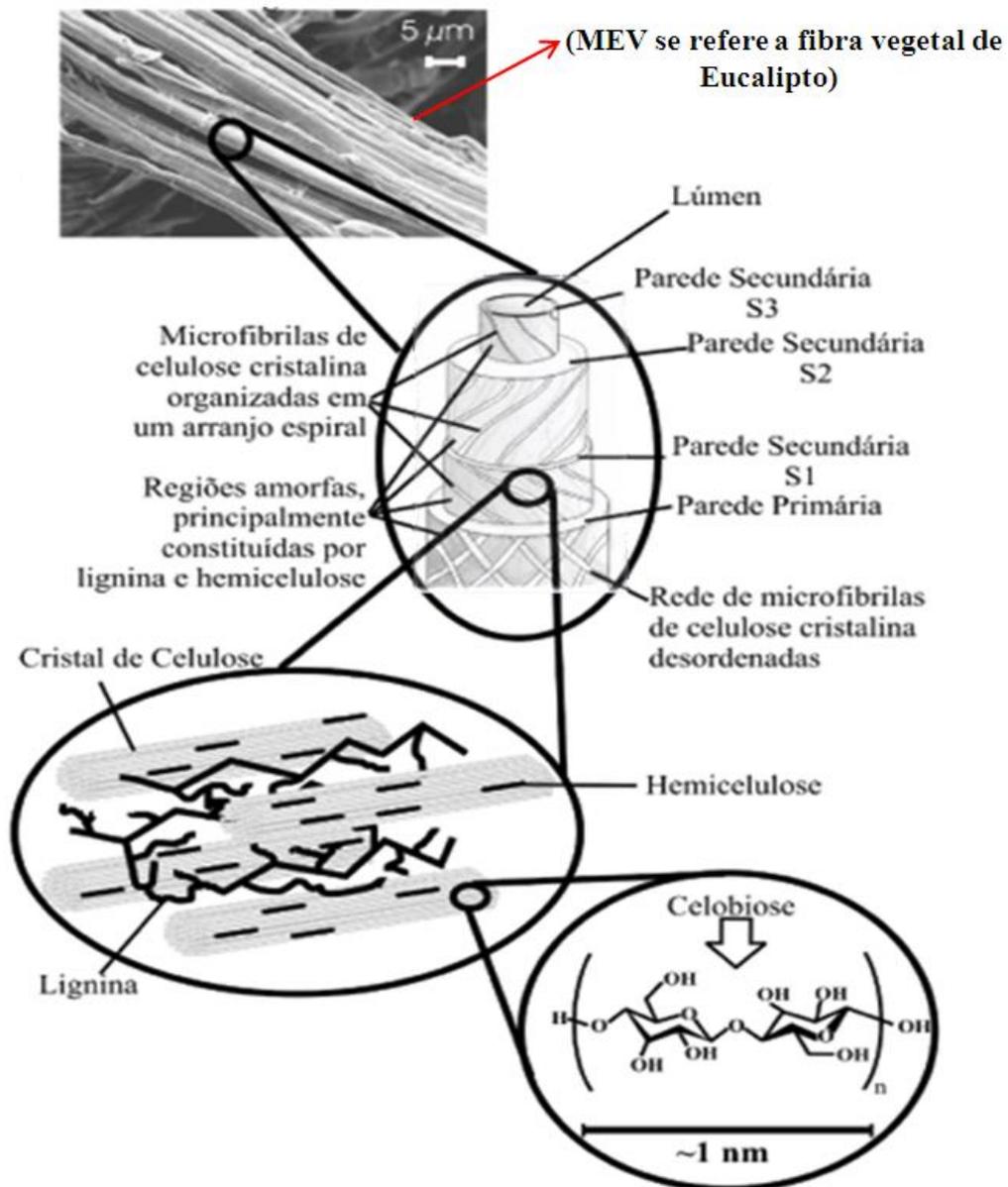


Figura 6 – Estrutura de um filamento individual (fibra vegetal)
Fonte: adaptado de SILVA *et al.* (2009).

2.3. FIBRAS VEGETAIS NO BRASIL

Ecologicamente falando, sabe-se que o Brasil possui uma riqueza extraordinária, onde os seus recursos naturais são abundantes e tem ao seu favor, condições climáticas favoráveis e solo fértil, elementos que possibilitam uma grande produção de fibras vegetais, tais como: banana, algodão, coco, sisal, juta, malva, piaçava, buriti, abacaxi e curauá, onde são plantadas, cultivadas e trabalhadas principalmente nos estados do Norte e Nordeste.

A utilização de compósitos reforçados com fibras lignocelulósicas, atualmente vem crescendo no ramo da engenharia, e vários são os produtos feitos com elas, em especial no setor de construção civil e automobilístico, onde a procura tem sido expressiva. A seguir são citados alguns exemplos encontrados na literatura de fibras naturais que já foram empregadas em produtos da engenharia.

2.3.1 Fibras de Piaçava

A fibra de piaçava ou piaçaba palmeira (*Attalea funifera Martius*) ilustrado na Figura 7, é obtida principalmente na região nordeste do país, mais precisamente no sul da Bahia, sendo também cultivadas no Estado do Amazonas. O nome vulgar piaçava é de origem tupi, traduzido como “planta fibrosa” com a qual se faz utensílios caseiros.

Segundo a Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira - CEPLAC, os produtos que são gerados da piaçava são: vassouras, pentes, artesanatos, enchimento nos assentos de carros, cordoaria e escovões. O resíduo obtido de sua limpeza, o qual é conhecido como bagaço, fita ou borra, serve para cobertura de casas nos meios rural e urbano (CEPLAC, 2012).

Atualmente este produto é muito utilizado na cobertura de quiosques em áreas de lazer como sítios, clubes e praças, além de unidades para produção de beijus e bolos para a aquisição do PAA – Produção e Aquisição de Alimentos (CEPLAC, 2012).



Figura 7 – (a) planta piaçava; (b) fibra piaçava.

Fonte: Adaptado CONAB (2012)

Os compósitos feitos com a Piaçava possuem um grande potencial de competitividade, com relação a outros produtos industriais a base de madeira ao qual vale a pena ser desenvolvido (AQUINO, 2005).

2.3.2 Fibras de Sisal

A Planta de Sisal (*Agave sisalana*) é originária do México, porém sua comercialização e expansão econômica teve lugar em outros países (SILVA, 2004). Sua adaptação se deu muito bem nas regiões do nordeste do Brasileiro. Sua propagação se dá por meio de filhotes e bulbilhos. Os filhotes ou rebentões são mudas que nascem ao lado das plantas mãe e são ligadas a elas por rizomas. Os bulbilhos são pequenas plantas que se desenvolvem nos pendões florais, após a queda das flores. O emprego de bulbilhos como material de plantio representa grandes vantagens para o processo de comercialização, eles desenvolvem-se rapidamente, atingindo a idade de corte mais cedo que as plantas que são originadas dos rebentões (OASHI, 1999).

Segundo ARAÚJO (2009), atualmente o Brasil é o maior produtor de fibra de Sisal (*Agave sisilana*) do mundo, sendo a Bahia responsável por 80% da produção da fibra no país. Isto demonstra o grande potencial que o Brasil tem para produção de fibras naturais.

Além disso, existem diversos estudos das fibras de sisal conjugadas com polímeros, melhorando propriedades mecânicas, reológicas e elétricas (QUIRINO, 2010).



Figura 8 – (a) Planta do sisal; (b) fibra de Sisal.

Fonte: adaptado de MILANESE (2008)

Segundo a COSIBRA (2011), aproximadamente um milhão de pessoas na região nordeste vive do cultivo do sisal sendo, portanto esta, uma fibra de alto valor econômico para o país.

2.3.2 Fibras de Juta

É uma planta herbácea chega a uma altura de 3 a 4 metros, a juta (*Corchorus capsularis*) (Figura 9) é de clima quente e úmido, as temperaturas elevadas contribuem para a fermentação, facilitando a separação da fibra da parte lenhosa do caule. Introduzida no Brasil por imigrantes japoneses é hoje uma das principais atividades econômicas das populações ribeirinhas da região amazônica, sendo um fator fundamental da permanência de mais de 50 mil famílias no campo, QUIRINO (2010).

A fibra de Juta é uma das fibras vegetais mais utilizadas como reforço de matrizes poliméricas, juntamente com outras fibras, como as fibras do algodão, rami e coco. São bastante utilizadas na indústria automotiva brasileira, QUIRINO (2010).



Figura 9 – (a) Planta de juta; (b) fibra de juta.

Fonte: adaptado de QUIRINO (2010)

2.3.3 Fibras de Malva

A Malva é uma planta nativa da região amazônica, seu nome científico é *Urena lobata L.*, de onde também se extrai fibra. É cultivada na região norte desde os anos 30, mais precisamente no estado do Pará, sendo somente explorada no Amazonas a partir de 1971. O cultivo da malva origina uma fibra com uma boa resistência mecânica, SABBÁ (1993).



Figura 10 – (a) Planta de malva; (b) fibra de malva.

Fonte: adaptado de FRAXE *et al.* (2007).

No Estado do Amazonas o sistema de juta/malva teve um desenvolvimento significativo devido ao fato de ter se tornado uma opção lucrativa no meio rural, onde é desenvolvido, apesar de serem produzidos também nos Estados do Pará e Maranhão, é no Estado do Amazonas que ocorre sua maior produção, PAIVA (2009).

Segundo a CONAB (2012), a produção juta com a malva no Brasil, se concentra nos estados do Amazonas e do Pará os quais são responsáveis por mais de 70% da matéria prima da indústria de fios e de embalagens de fibras naturais. Os outros 30% demandados pelo país são atendidos por embalagens de fibras naturais importadas da Índia e de Bangladesh, cujos preços de venda no Brasil apresentam-se mais baratos do que os preços de venda dos mesmos produtos fabricados no Brasil. De acordo com dados da SEPROR-AM (2012), a produção total de juta e malva no Amazonas, no período de 2010/2011 foi de 5.366.253 toneladas com o valor total do benefício R\$ 1.071.288,17.

Segundo o IBGE, a produção de fibras no Brasil principalmente nas regiões norte e nordeste, com relação as safras das plantações da juta, malva e sisal, até o primeiro semestre/2012.

2.3.4 Fibras de Açaí

É uma palmeira típica da Amazônia de clima tropical, existem duas espécies açazeiro (Figura 11): *Euterpe oleracea* e *Euterpe precatória*. Abundante nos estados do Pará, Mato Grosso, Tocantins, Amazonas, Maranhão e Amapá e em países da América do Sul (Venezuela, Colômbia, Equador, Suriname e Guiana) e da América Central (Panamá), QUIRINO (2010).

Sua fibra é extraída da semente, onde é beneficiada e tingida para a confecção de artesanato e biojóias (Figura 10 (c)). Existe uma incipiente pesquisa a respeito da matéria-prima e sua viabilidade técnica, comparando com outras como a fibra do sisal, bananeira e bambu, por exemplo, que tem emprego definido, QUIRINO (2010).

QUIRINO (2010), em sua pesquisa verificou a viabilidade técnica da produção de painéis com a fibra, onde os painéis apresentaram superfície uniforme como morfologia

externa visualmente agradável e características mecânicas que permitiriam a sua aplicação na indústria da construção civil e na indústria moveleira.

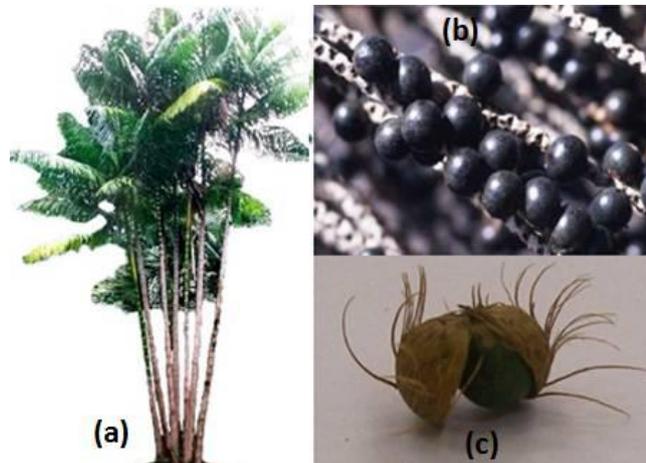


Figura 11 – (a) Açaizeiro; (b) fibra de açaí.

Fonte: adaptado de QUIRINO (2010)

2.4 CURAUÁ (*Ananás erectifolius*)

Da mesma família do abacaxi, inclusive com aspectos muito semelhantes, o curauá é uma planta nativa da região amazônica, da família das bromeliáceas, sendo o seu nome científico *Ananás erectifolius*. Existem duas variedades distintas do curauá (figura 12), uma de folha roxo-avermelhada (curauá-roxo) e outra de folha verde-claro (curauá-branco).

Conforme cita MEDINA(1959), o curauá encontra-se nas regiões do rio Xingu, Tocantins, Tapajós, Marcuru, Trombetas, Paru, Acará e Guamá, nas partes altas da Ilha do Marajó e no Amapá. É certa sua existência nos estados de Goiás e Mato Grosso no Território do Acre. Ocorre em lugares onde a precipitação pluviométrica ultrapassa a 2 mil mm anuais. Encontram-se pés isolados, nas margens dos rios e nas clareiras dos matos, sombreados ou não, formando agrupamento mais ou menos pequenos e ralos.

Segundo MEDINA (1959), suas folhas são rígidas, eretas e planas, sua medida chega a 1 m ou mais de comprimento, medem cerca de 3,5 cm de largura podendo ser até mais larga,

desprovidas de espinhos nas margens da folha; sincarpo não suculento, subcilíndrico; rebentos em grande número (2º ou mais) nas axilas das folhas basais da coroa principal, às vezes, produz sementes.

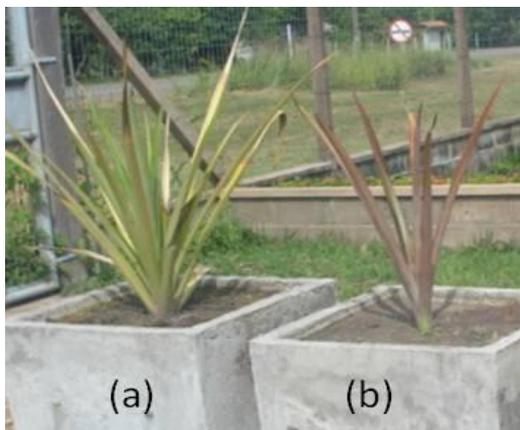


Figura 12 - Planta do curauá: (a) curauá branco e (b) curauá roxo.

Os lavradores da região amazônica plantavam o curauá nos acessos de seus roçados para utilizar as fibras na confecção de cordas.

É de grande importância escolher bem o local de plantio do curauá, conforme relata MEDINA (1959), o plantio do curauá, se desenvolve bem em solos sílico-humusos, entretanto, nos terrenos argilo-silicosos ou simplesmente silicosos. Não vegeta bem nos terrenos úmidos ou impermeáveis.

2.4.1. Preparo das mudas

Conforme CEAPAC (2010), as mudas (figura 13 (a)) do curauá são bastante resistentes, porém apodrecem facilmente quando acumula água, o que acontece quando elas ficam amontoadas na posição horizontal ou ensacadas para transporte. Para evitar ao máximo a perda de mudas e garantir o desenvolvimento rápido após ser plantadas, a CEAPAC (2010) recomenda encanteirá-las, imediatamente ao recebê-las, num lugar sombreado e, na época de verão, úmido – porém sem risco de ficarem encharcadas.

Segundo MEDINA (1959), recomenda-se o plantio nas distancias de 1 m x 1 m ou de 1 m x 0,80 m. A planta é propagada por intermédio dos filhotes que se formam na coroa ou na base do fruto, ou pelos rebentos que brotam na base da planta, entre as bainhas das folhas, ou diretamente dos rizomas. Pode ser ainda multiplicada por sementes. As mudas podem ser plantadas diretamente no terreno definitivo ou ser previamente enviveiradas. Neste caso, as mudas de 10 cm de altura são plantadas nas distâncias de 20 cm x 30 cm a transplantação é feita quando alcançam de 30 a 40 cm de altura.

Em condições favoráveis de solo e clima, o seu crescimento é relativamente rápido; com 8 meses de idade as folhas mais velhas podem alcançar até 1,5 m de comprimento. Um pé de curauá possui, em condições normais, aos 6 meses de plantado, de 30 a 40 folhas que atingem de 1 m a 1,2 m de comprimento. Com 12 a 14 meses, o número de folhas é de 50 a 60, MEDINA (1959).

Atualmente, os espaçamentos mais adotados pelos produtores variam entre 1 m x 1 m, ou seja, 10.000 plantas por hectare, até 1 m x 0,40 m (24.000 plantas por hectare). Pode ter variações, como por exemplo, 1,5 m x 0,5 m (13.300 plantas). Outra proposta é plantar a 2 m x 0,5 m (figura 18 (b)) no primeiro ano para poder plantar duas fileiras de mandioca na entre fila, e depois da colheita da mandioca plantar mais uma fileira de curauá, dando o espaçamento final de 1m x 0,5 m. Há opiniões divergentes sobre o melhor espaçamento que garanta uma ótima produção que facilite o manejo da área, e possibilite o consórcio com outras culturas e também não desgaste o solo, CEAPAC (2010).

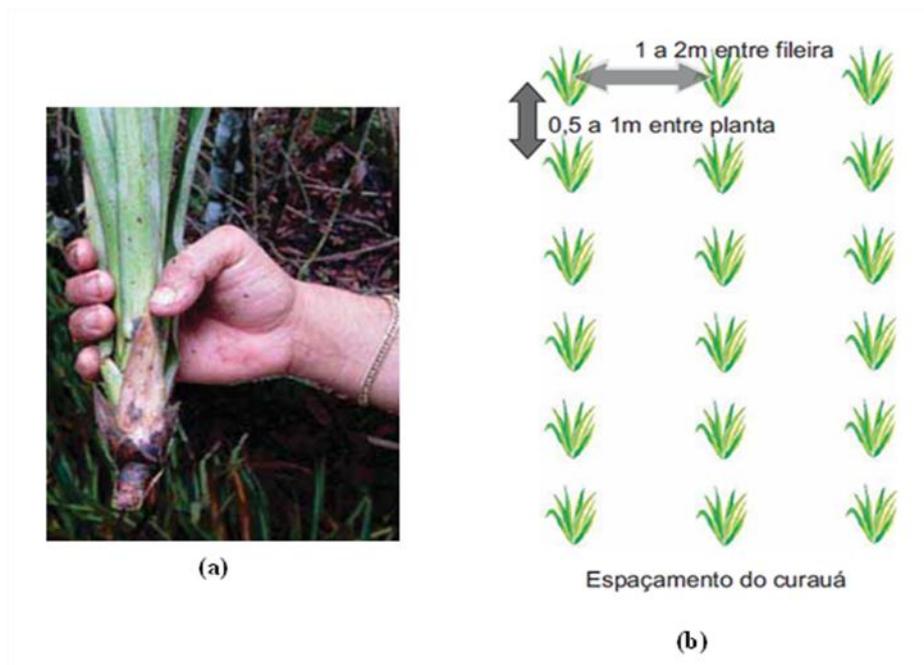


Figura 13 – (a) Mudas de curauá; (b) Espaçamento para o plantio das mudas.

Fonte: Adaptado da CEAPAC (2010)

De acordo com a CEAPAC (2010), para se colher a folha, dependendo do tamanho inicial da muda plantada e da época do plantio, pode-se começar a partir do décimo mês, mas há casos que dura um pouco mais de tempo. A folha deve ser colhida logo quando sua ponta começa a secar. Se demorar mais tempo, haverá perda na fibra, pois a parte seca da folha deve ser cortada antes do desfibramento para atribuir melhor qualidade à fibra. A princípio pode-se colher folhas de curauá em qualquer época do ano, sendo que a secagem das fibras é mais rápida no verão ou início do inverno.

Geralmente são realizadas várias colheitas ao ano, pois enquanto a planta não estiver com fruta, ela continua produzindo folhas novas. Em cada etapa são arrancadas aproximadamente de cinco a dez folhas maduras, sempre começando pela folha mais baixa na planta que, logicamente, também é a mais velha. Se a planta já está com fruto, geralmente são arrancadas quase todas as folhas de uma vez, deixando só umas poucas folhas para proteger o fruto e garantindo assim um melhor crescimento das mudas. Quando estas alcançarem certo tamanho, o fruto vai começar a secar. Neste momento recomenda-se, apanhar as mudas para

encanteirá-las e em seguida quebrar o talo do fruto à altura de 15 cm para estimular o crescimento das mudas de rebento, CEAPAC (2010).

2.4.2 Características gerais do curauá

2.4.2.1 Classificação Botânica

É uma planta fibrosa sua classificação se dá conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação botânica do curauá

Reino	Plantae
Planta	Herbácea
Clado	Angiosperma (Monocotiledônea)
Familia	Bromeliácea
Gênero	Ananás
Espécie	<i>Ananás erectfolius</i>

Fonte: Adaptado de SILVA, 2006

2.4.2.2 Morfologia:

Segundo, OLIVEIRA (2010), os seguintes aspectos morfológicos encontrados na fibra de curauá são importantes:

- a) Habitat: planta terrestre herbácea, rizomatosa, de sistema radicular fasciculado, superficial, pouco exigente e que se adapta a diferentes tipos de solo e a mudanças climáticas, típica das regiões tropicais;
- b) Flor: No caso do Ananás, as flores são hermafroditas, trímeras, zigomorfas, heteroclamídeas, com sépalas coriáceas e pétalas vivamente coloridas. A planta é monóica com flores hermafroditas e a inflorescência é composta por várias flores individuais que nascem formando inflorescência compacta em forma de espiga sobre um talo axial curto e robusto;

- c) Folha: Apresentam folhas eretas, coriáceas, medindo cerca de 5 cm de largura, 5 mm de espessura, em condições locais atinge aproximadamente 1,5 m de comprimento; com peso médio de 83 gramas, com bordos lisos e escapo alongado, ocorre o surgimento de vários espinhos nas laterais, ápice provido de um pequeno caule; fornece fibra de excelente qualidade e mucilagem (SILVA, 2006);
- d) Fruto: A frutificação ocorre quando a planta alcança um ano de idade, caso as suas folhas não sejam retiradas nesse período. Possui pendúculo sob forma de haste cilíndrica, medindo cerca de 20 cm de altura. Ao redor da base do fruto e em torno de sua coroa surge abundantes filhos entre as bainhas das folhas. Seu aspecto e gosto são semelhantes ao abacaxi, porém de tamanho reduzido pequeno e mais fibroso e ácido (SILVA, 2006).

2.4.3. Beneficiamento da fibra

Conforme MEDINA (1959), o desfibramento é realizado com uma máquina desfibradora de uso individual, chamada de Tapuia, (figura 14). Ela pode ser colocada em operação com diversos tipos de motor, a óleo diesel, gasolina ou energia elétrica.



Figura 14 – Desfibradora “Tapuia” empregada na produção da fibra de curauá.

Fonte: CEAPAC (2010).

A CEAPAC (2010) recomenda que antes do desfibramento deve-se preparar as folhas, cortando as pontas secas e empilhando-as ao lado da máquina. A máquina deve estar bem ajustada, ou seja, a distância das lâminas do batedor deve ser igual nos dois lados e correspondendo à grossura de uma a duas folhas de curauá. Sempre que for necessário, deve-se passar uma lima nas lâminas e batedor, para eliminar os cantos que possam cortar a fibra. A velocidade do motor deve ser regulada de maneira a conseguir uma fibra limpa (a falta de velocidade deixa a fibra com muito resíduo da folha) e evitar que a máquina destrua as fibras (quando o motor está muito acelerado).

Segundo MEDINA (1959), as fibras eram extraídas pelo processo denominado “fôrca”, que se assemelhava aos processos primitivos da extração de fibra de abacá (*Musa textilis*), nas Filipinas, onde as fibras eram lavadas e batidas com um pau roliço e deixadas em água corrente ou parada, para macerar, durante 36h, após esse tempo, eram lavadas novamente e postas a secar.

Atualmente, devido ao tempo e para aliviar o trabalho, muitas famílias realizam puxiruns que são multirões feitos para execução de diferentes passos de trabalho que o beneficiamento requer: cortar as folhas, empilhar as folhas ao lado da máquina, juntar de maneira organizada as fibras recém tiradas, estender as fibras úmidas no varal (fibra 15), ou levá-las para um lugar adequado para compostagem. A fibra recém-tirada tem uma coloração verde. Para sua secagem é estendida num varal durante, no mínimo 24 horas. Durante a secagem, a fibra perde a coloração verde. Preparada desta maneira, ela está pronta para ser vendida sem necessidade de ser lavada, CEAPAC (2010).



Figura 15 – Fibras estendidas no varal

Fonte: CEAPAC, 2010.

2.4.4. Aplicação das fibras de curauá

Segundo MEDINA (1959), a planta de curauá sempre foi a preferida pelos índios da Amazônia, pois delas eram obtidas as fibras que depois seriam utilizadas em sua indústria doméstica de rês e linhas de pescar, sendo de ótima qualidade, era indicada especialmente para o fabrico de barbantes e cordas finas.

Com o passar do tempo, e a busca por novas alternativas, essa fibra passou a apresentar um grande potencial, pois hoje é utilizada em diferentes setores do mercado, como, por exemplo, automobilístico, geotêxtil, agrotêxtil, médico (a toxina encontrada no soro da planta é utilizada na produção de bactericidas), movelaria e construção civil. Trata-se de uma fibra altamente resistente, com longa vida e grande capacidade de absorção e sustentação (PEMATEC, 2011).

Hoje a empresa Pematec compra a produção de cerca de 400 famílias de pequenos produtores, que cultivam a planta na região do Lago Grande (Anexo 1), na Reserva Extrativista Arapiuns-Tapajós e na Floresta Nacional do Tapajós, que no total soma em torno

de 400 hectares de área plantada, sendo um hectare por família. Eles forneceram também 6 milhões de mudas, que são selecionadas e tratadas na fazenda curauá da Pematec (Anexo 2),

Segundo FOLHES (2010), em 2005 o INCRA criou o Projeto de Assentamento Agroextrativista do Lago Grande - PAE Lago Grande (Anexo 3). A CEAPAC (2010) teve a iniciativa junto com as famílias de pequenos produtores rurais de pequenos produtores rurais, artesãos e artesãs, de promover a cadeia de produção do curauá para gerar renda de desenvolvimento para as famílias envolvidas nessa região, onde tem suas ações mais intensificadas na região do PAE - Lago Grande do Curai.

A Pematec começou a sua primeira fase do cultivo de curauá, numa área mecanizada de 400 hectares, na região do Jacamim, na rodovia Santarém-Curuá-Una. Mas a meta é alcançar 600 hectares, num terreno de 3 mil hectares. (PEMATEC, 2011).

As figuras 16 e 17 ilustram exemplos de aplicação das fibras de curauá na indústria brasileira.

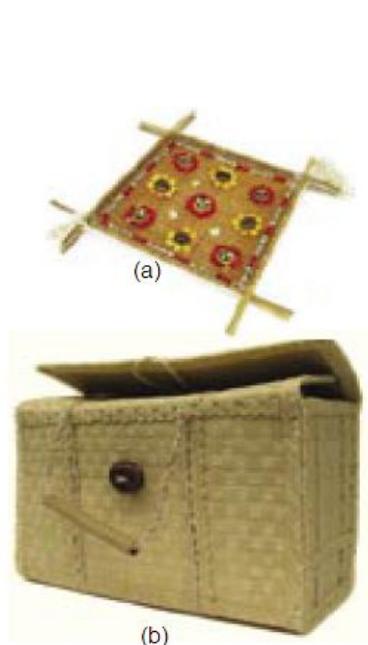


Figura 16: (a) peneira; (b) bolsa.

Fonte: CEAPAC (2010).



Figura 17: Porta-malas de carro.

Fonte: PEMATEC (2011).

Segundo dados fornecidos pela PEMATEC (2012), o processo de produção da fibra consiste em três etapas, a 1ª etapa vai do plantio a colheita; a 2ª etapa é a fabricação de mantas e feltros (Anexo 4), e a 3ª etapa é a moldagem de peças para a área automobilística industrial.

Atualmente para cada emprego gerado na Pematic, estão envolvidas mais de 2.000 pessoas diretamente (PEMATEC, 2012).

Tendo em vista que a fibra de curauá já é empregada no setor automobilístico, além de outras áreas, como já citado anteriormente, o intuito da presente pesquisa é disponibilizar um material alternativo para o setor da construção civil.

2.5 Resina Poliuretana à base de Mamona

De acordo com VILLAR (1993), o Polioli é um termo que abrange uma enorme variedade de composto contendo hidroxilas, capazes de reagir com os isocianatos para formar os poliuretanos (PUs), a procura por polióis obtidos de fontes renováveis tem se tornado em uma tendência global no mercado de PUs, como os polióis à base de óleos naturais (NOPs).

O óleo de mamona é extraído da semente da planta de mamona “*Ricinus communis* L.” (figura 18(a)), é conhecida internacionalmente como “*castor oil*” é planta da família *euphorbiáceas*. O óleo é o mais importante constituinte da semente de mamona é conhecido também como óleo de rícino (figura 18(b)). A mamona é encontrada nas regiões tropicais e sub-tropicais sendo muito abundante no território brasileiro, DIAS (2008).

A sintetização do polioli e do pré-polímero, quando misturadas, dão origem a um poliuretano, podendo variar a porcentagem do polioli, ao qual definirá maior ou menor dureza, podendo ser empregado catalizadores de forma a aumentar a velocidade da reação (DIAS, 2008).

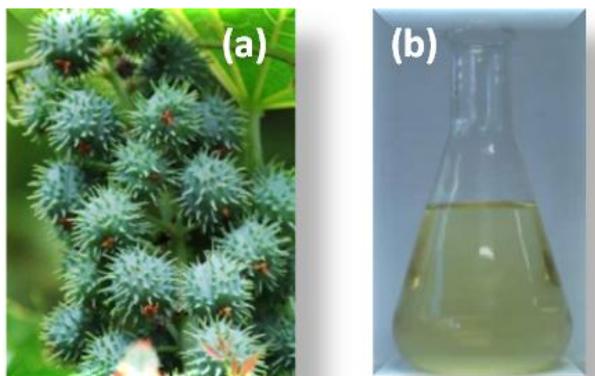


Figura 18 – (a) Planta da mamona “*Ricinus communis* L.”; (b) Óleo de mamona.
Fonte: Adaptado, CLARO NETO (1997).

Segundo CLARO NETO (1997), o óleo de mamona é composto de triglicérides contendo ácidos graxos: ácido ricinoleico 89,7%; ácido linoleico 4,2%; ácido linoleico 3,0%; ácido esteárico 1,0%; ácido palmítico 1,0%, ácido dihidroxiesteárico 0,7%, ácido licosanoico 0,3%; ácido linolênico 0,3%.

JESUS (2000), em sua pesquisa ressaltou a aplicação do poliuretano à base de óleo de mamona como adesivo bi-componente, constituído a partir de um poliól B16040 e um pré-polímero A249, de cura a frio, na aplicação em madeira laminada colada-MLC, onde foi determinado os melhores parâmetros de colagem. O estudo avaliou a resistência ao cisalhamento, tração paralela e normal às fibras em corpos-de-prova de madeira, obtendo resultados satisfatórios e atestando sua viabilidade do emprego da resina para a MLC e derivados.

AZAMBUJA (2002), em estudos desenvolvidos determinou parâmetros adequados para colagem de MLC com uma nova versão deste adesivo poliuretano bi-componente à base de óleo de mamona baseado no poliól 25040 e pré-polímero A249 desenvolvido pelo Instituto de Química de São Carlos – USP. Os resultados que foram obtidos indicam a viabilidade de aplicação deste adesivo.

Em seu trabalho, DIAS (2008), analisou o desempenho de painéis compensados e aglomerados aplicando a resina poliuretana à base de mamona na adesão dos painéis. Os

compensados foram produzidos com lâminas da espécie *Eucalyptus saligna*, e os aglomerados com uma composição de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* e *Pinus elliottii*. Os painéis foram prensados à temperatura de 60°C e 90°C, os aglomerados foram manufacturados com e sem adição de parafina. Os painéis foram avaliados por meio dos ensaios físico-mecânico sugeridos pela norma brasileira NBR 14810-2, para os compensados as propriedades como resistência da colagem e esforço de cisalhamento foram avaliados conforme sugeridos pela norma europeia NP/EM 314-2. Os resultados apontam que a resina poliuretana à base de mamona pode ser considerada como uma nova alternativa para este campo.

FIORELLI *et al.* (2011), avaliou as propriedades dos painéis desenvolvidos com bagaço de cana-de-açúcar utilizando a resina poliuretana à base de óleo de mamona. A qualidade dos painéis foram avaliadas com base nas prescrições dos documentos normativos NBR 14810 e ANSI A208.1, sendo os painéis classificados como de alta densidade, recomendado para uso industrial. Os resultados foram satisfatórios, os painéis produzidos com bagaço de cana-de-açúcar e resina poliuretana à base de óleo de mamona obtiveram valores de propriedades mecânicas que permitem sua utilização em uso estrutural comercial e industrial, mostrando-se como alternativa eficiente para produção de painéis com fibras vegetais.

3. PRODUTOS DERIVADOS DA MADEIRA E AGLOMERADOS

Segundo KLOCK *et al.* (2005) dos materiais de origem biológica, a madeira se destaca e é sem dúvida a mais conhecida e utilizada, o lenho de uma árvore contém grande quantidade de substâncias que são utilizadas como matérias primas em quase todos os campos da tecnologia.

As madeiras são utilizadas para móveis e revestimentos e também são convertidas em diversas formas como painéis (compensados, aglomerados e fibras) além de outros produtos, mostram-na como um valioso material de construção. E como matéria-prima mais importante no processo produção de papel, além de diversos produtos que são oriundos de sua transformação química, em conjunto com sua condição de matéria-prima renovável (KLOCK *et al.* 2005).

3.2 Classificação da Madeira

As árvores que fornecem a madeira dividem-se em dois grandes grupos: **Resinosas ou coníferas** - possuem resina e os frutos são em forma de cone ou pinha e geralmente a sua folhagem é persistente; **Folhosas ou de folha caduca** – perdem a folhagem periodicamente.

Segundo PFEIL e PFEIL (2003) as madeiras utilizadas em construção são obtidas de troncos de árvores. Distinguem-se duas categorias principais de madeiras:

- Madeiras duras – provenientes de árvores frondosas (dicotiledôneas, da classe Angiosperma, com folhas achatadas e largas), de crescimento lento, como peroba, ipê, aroeira, carvalho etc.;
- Madeiras macias – provenientes em geral das árvores coníferas (da classe Gimnosperma, com folhas em forma de agulhas ou escamas, e sementes agrupadas em forma de cones), de crescimento rápido.

As árvores encontram-se na divisão das plantas superiores que se subdividem em gimnospermas (apresentam sementes nuas e são plantas com flor e semente) e angiospermas (plantas com flor, fruto e sementes).

O formato das células particularmente de traqueóides e fibras, é influenciado não somente por mudanças sazonais, mas também por forças mecânicas. As árvores reagem às forças que atuam no tronco, (exemplo: por ventos fortes ou crescimento geotrópico) copa e galhos (exemplo: por seu peso próprio) formando madeira de reação nas zonas de compressão ou tensão. Coníferas desenvolvem lenho de compressão nas partes sujeitas à compressão e as Folhosas desenvolvem lenho de tensão (ou tração) nas áreas sujeitas à tração (KLOCK *et al.* 2005).

A madeira é um material composto de células produzidas por uma árvore viva para suportar a copa, conduzir água e nutrientes dissolvidos do solo à copa, armazenar materiais de reserva (principalmente carboidratos). A madeira é um tecido complexo devido a sua formação por diferentes tipos de células, as quais desempenham diferentes funções.

A madeira, que é o xilema secundário, e a casca interna, floema secundário, são produzidos por uma camada de composta por apenas uma célula de espessura que é denominado câmbio vascular, cuja localização se encontra entre a madeira e a casca. As células do câmbio são vivas e capazes de se dividirem repetidas vezes (KLOCK *et al.* 2005).

Através do corte transversal de um tronco de uma árvore, Figura 19, pode-se observar seus elementos constituintes, os quais são definidos a seguir.

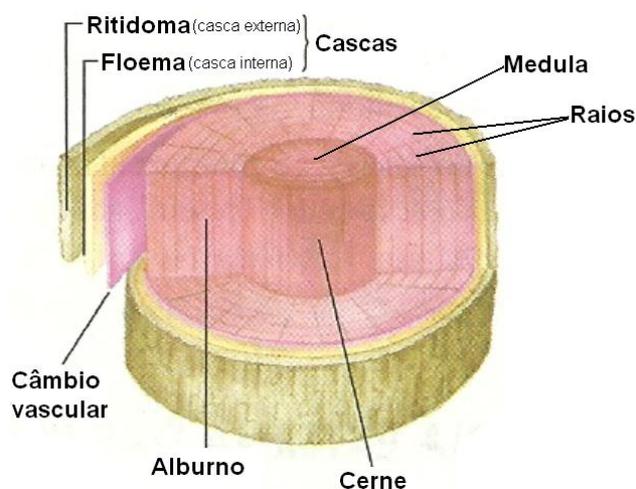


Figura 19- Estrutura macroscópica do tronco de madeira.

Fonte: Adaptado de MERCADANTE e FAVARETTO (1999)

A medula é a parte central do tronco, sendo constituído por tecido mole e esponjoso, muitas vezes já apodrecido, é uma região muito susceptível ao ataque de microorganismos xilófagos, sendo o motivo pelo qual se encontram toras com a medula deteriorada. Possui baixa resistência mecânica, pouca durabilidade, e a sua presença em peças serradas constitui um defeito. Sua função é a de armazenar substância nutritiva para a planta, durante a fase inicial de crescimento (MERCADANTE e FAVARETTO, 1999).

A casca é a proteção externa da árvore. Divide-se em duas camadas: uma camada externa, que é morta (ritidoma) e possui espessura variável com a idade e com a espécie; e uma camada interna (floema), por onde é conduzido o alimento sintetizado nas folhas para as partes em crescimento, seu tecido é vivo e macio.

O câmbio vascular possui uma película fina, sendo nesse tecido que ocorre o crescimento diametral do tronco, gerando um anel exterior para o floema e um interior para o alburno. É também chamada de Lenho Inicial ou primaveril.

O xilema é formado por células vivas que conduzem a seiva bruta em movimento ascendente, é de baixa resistência a ataque de fungos e insetos, é esta região da madeira que

permite grande penetração dos líquidos possibilitando maior penetração durante o tratamento preservativo, em geral possui coloração branca e é mais clara que o cerne.

O cerne tem como função para a planta apenas de sustentação do tronco, sendo a camada mais interna do alburno que perdeu a atividade fisiológica.

3.3 Propriedades Estruturais da Madeira

As Características da madeira são apresentados na tabela 2.

Tabela 2 - Características do lenho de reação

CARACTERÍSTICA	LENHO DE COMPRESSÃO Coníferas	LENHO DE TENSÃO (TRAÇÃO) - Folhosas
Características Físicas Macroscópicas e Propriedades Mecânicas	Excentricidade da seção transversal do caule. Madeira serrada e aplainada: Brilho prateado em muitas espécies na zona do lenho de tensão, cor mais escura do que o normal em certas espécies tropicais e australianas. Contração longitudinal próximo de 1% em tábuas serradas verdes. Alta resistência à tração no estado seco, e mais baixo do que o normal no estado verde.	Excentricidade da seção transversal do caule. Madeira serrada e aplainada: Sem brilho, aparência escura. Contração longitudinal próxima de 6~7%. Módulo de elasticidade, resistência ao impacto, resistência à tração: menor que madeira normal.
Características Anatômicas	Presenças de fibras gelatinosas, embora possam estar ausentes em algumas espécies. Vasos reduzidos em tamanho e número nas zonas do lenho de tensão. Raio e parênquima axial aparentemente não modificado.	Traqueóides arredondados. Espaços intercelulares. Transição do lenho inicial - tardio alterado: mais gradual que em madeira normal.
Macroestrutura	Camada gelatinosa presente. Três tipos de arranjos: 1. S1 + S2 + S3 + G 2. S1 + S2 + G 3. S1 + G	Traqueóides com fendas helicoidais ou cavidades na S2.
Ultraestrutura	Parede primária apresenta-se normal. Camada S2 pode ser mais fina que o normal. Orientação das microfibrilas da camada G aproximadamente paralela às fibras axiais.	Camada S3 ausente. Camada S1 pode ser mais espessa que o normal. Orientação das microfibrilas na camada S2 de aproximadamente 45°.
Composição Química	Lignificação variável das fibras do lenho de tensão. A camada G é levemente lignificada. Alto conteúdo de celulose. Baixo conteúdo de lignina. Maior quantidade de galactanas que o normal. Menor quantidade de xilanas do que o normal.	Lignina extra depositada entre as camadas S1 e S2 . Baixo conteúdo de celulose. Alto conteúdo de lignina. Maior quantidade de galactanas que o normal. Menor quantidade de galactoglucomanas do que o normal.

Fonte: Adaptado de KLOCK *et al.* (2005).

A madeira possui diversas propriedades que a tornam atraente frente a outros materiais. Ao longo dos tempos a madeira vem sendo utilizado em grande escala na construção civil, sendo construídos elevados números de estruturas em madeira, com as mais diversas tipologias.

No que diz respeito a atual sociedade, surgem discussões e questionamentos sobre os impactos ambientais, instigando os pesquisadores a desenvolverem novas soluções para diminuir tais impactos, onde se tem a madeira como principal componente do processo. Surge uma nova alternativa que é a produção de painéis a partir de resíduos ou particulados de madeira, proveniente do setor moveleiro, da construção civil, onde há um desperdício de materiais em grande escala.

3.3.1 Painéis de Madeira Aglomerada

A madeira aglomerada nada mais é do que a madeira transformada em um novo tipo de madeira. Isso se deu devido ao avanço tecnológico, que manteve no novo produto a característica boa do produto natural. É formada basicamente de partículas de madeira e adesivo, o qual também é chamado de aglomerante (CARNOS, 1988).

O adesivo empregado para a produção de algumas placas são as resinas sintéticas de um dos três tipos de bases: melamina-formaldeído, fenol-formaldeído ou uréia-formaldeído, sendo estas responsáveis por alguns danos causados ao meio ambiente.

Partindo desse atual contexto também surgiram novas resinas substituindo as sintéticas, as quais são derivadas de fontes renováveis. Um exemplo é a resina poliuretana à base de óleo de mamona, que é extraída da semente de mamona, sendo obtida a partir de um sistema bi-componente, misturando-se o polioliol (base de mamona) com o pré-polímero (isocianato).

A madeira aglomerada como material de construção é um dos materiais mais importantes, podendo ser combinada com diversos materiais, formando materiais do tipo: madeira-cimento, madeira-plástico, madeira-fibras lignocelulosicas, e outros.

Os painéis de madeira aglomerada começaram a ser produzidos no Brasil em 1966, pela Placas do Paraná S.A., instalada na cidade de Curitiba - PR. Na condição de um produto novo no mercado brasileiro, o aglomerado passou por períodos de questionamentos, principalmente, quanto às limitações técnicas, como alta absorção de água e inchamento em espessura, usinabilidade de bordos e problemas quanto à fixação de parafusos. No decorrer do tempo, foram incorporadas novas tecnologias, como uso de parafina, controle do gradiente de densidade e sistemas de parafusamento mais eficientes, visando minimizar tais problemas (IWAKIRI *et al.* 2005).

Atualmente, a indústria de painéis é uma das principais matérias-primas para o setor moveleiro brasileiro. A indústria de painéis está projetando um aumento de sua capacidade nominal instalada anual dos 9,6 milhões de m³ em 2010, para aproximadamente 10,5 milhões m³/ano em 2012 (ABIPA, 2012).

3.3.2 Classificação

Conforme citado por PRATA (2006) *apud* (MENDES, 2001), os painéis de madeira reconstituídos podem ser classificados como: compostos laminados ou compostos particulados. Nos compostos laminados, estão inclusos os compensados laminados e os compensados sarrafeados. Nos compostos particulados existem os painéis minerais com partículas do tipo “flake” e “excelsior”, os painéis de fibras subdivididos em fibras duras, M.D.F, H.D.F e isolantes e os painéis aglomerados do tipo convencional, “waferboard” e O.S.B.

- MDF – *Medium Density Fiberboard* (painel de fibras de madeira de média densidade) - as fibras são coladas e compactadas entre si com resina sintéticas uréia-formaldeído e parafina com a ação conjunta de pressão e calor;
- MDP - *Medium Density Particleboard* (painel de partículas de madeira de média densidade) denominado de “aglomerado” - é obtido por material de partículas desfibriladas unidas por meio do vapor e alta pressão. São coladas com resina sintética ou com lignina extraída da madeira original;
- OSB – *Oriented Strand Board* – (painel de madeira de estrutura orientada) - produzido por lascas ou pedaços de madeira reflorestada, são coladas à base de resina fenólica, uréia-formaldeído e melamina e por meio da temperatura e pressão.

✓ **COMPENSADO:**

No Brasil, o compensado é o tipo de chapa mais comercializado, seja na construção civil ou na indústria moveleira. Sendo originária de reflorestamento ou não, é um conjunto formado por folhas descascadas, faqueadas ou serradas, e coladas em número ímpar, uma sobre a outra com as fibras cruzadas, proporcionando o aumento da resistência à flexão e estabilidade dimensional. Uma das vantagens é o uso quase total da madeira inclusive do alburno, uma parte que geralmente é jogada fora.

As suas propriedades físicas como a densidade e a estabilidade dimensional são consideradas de grande importância, onde as suas variações dimensionais são de acordo com o teor de umidade, temperatura e outros fatores. As principais propriedades mecânicas, o Módulo de Resistência – MOR e o Módulo de Elasticidade – MOE são obtidos através do ensaio de flexão estática.

A norma NBR 9532 estabelece uma nomenclatura para os compensados. O Compensado de uso geral é denominado de GER, para uso em fôrma de concreto, de FOR, para uso industrial, de IND, para uso naval, de NAV, e sarrafeado de SAR.

A madeira compensada é um painel formado pela colagem de três ou mais lâminas unidas sob pressão através de ligação por um adesivo (Figura 20). Ela pode ser fabricada de madeira macia ou dura. A madeira compensada apresenta uma série de vantagens: sua fabricação pode ser em folhas grandes mesmo contendo defeitos limitados; reduz retração e inchamento; tem resistência na direção normal às fibras; diminui as trincas na cravação de pregos; faz com que madeira se torne mais resistente nas capas externas, e possui menor resistência nas camadas interiores. Sua desvantagem está no preço que é mais elevado (Pfeil & Pfeil, 2003).

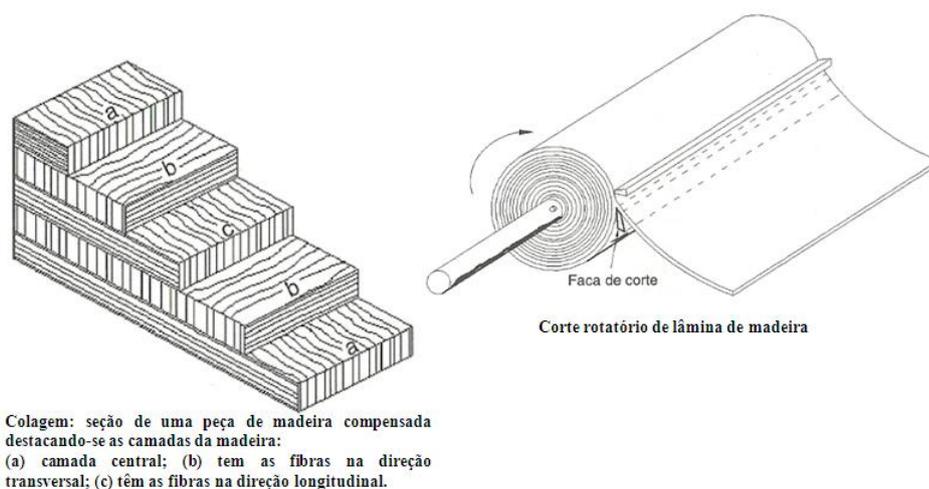


Figura 20 - Madeira Compensada- Colagem e Corte.

Fonte: Adaptado PFEIL & PFEIL (2003)

3.4. Resíduos de madeiras

Segundo FONTES (1994) os resíduos são tudo aquilo que sobra de um processo de produção industrial ou exploração florestal e são classificados em três tipos distintos: serragem, cepilho e lenha, conforme o esquema mostrado na Figura 21.

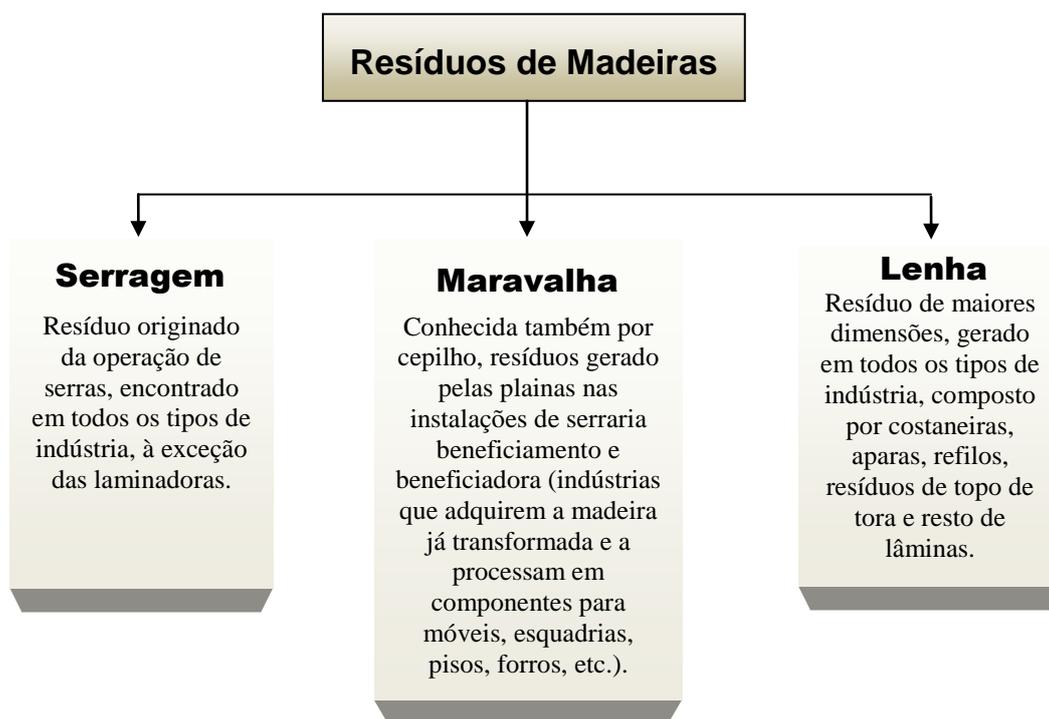


Figura 21 – Esquemática dos tipos de resíduos de madeiros.

Fonte: Adaptado de FONTES (1994).

Muitos são os projetos desenvolvidos na região Norte, cujo principal objetivo é a utilização de resíduos madeiros. Entre estes, destacam-se os projetos desenvolvidos pelo INPA, como o Projeto Pequenos Objetos de Madeira POM, com o apoio do CNPq e do SEBRAE. Nestes projetos foram considerados a funcionalidade das espécies madeiras, tempo para confecção dos objetos, preferências do consumidor, e potencialidades das indústrias. Os desenhos e projetos manufaturados são simples, porém atrativos, com baixo custo de processamento, de maneira que despertassem o interesse dos empresários, em termos de custo/ benefício, e que fossem rapidamente assimilados pelos consumidores, em termos de qualidade (INPA, 2003).

Conforme cita MACÊDO *et al.* (2008), a madeira é um material que pode cumprir às recomendações de especificações normativas como a ISO 9000 e a ISO 14000, seguindo

basicamente as recomendações que estão em três fatores fundamentais: 1) Racionalização; 2) Reutilização e 3) Reciclagem.

A atividade madeireira na região Norte do país é uma das suas principais atividades econômicas. Apesar de tal importância, o índice de aproveitamento da madeira pela indústria, apenas 40%, ainda é muito baixo. Cabe ressaltar que espécies de menor valor econômico, e/ou de utilização menos nobre, poderiam ser empregadas na fabricação de um produto alternativo (MACÊDO *et al.*, 2008).

Falar da questão ambiental e meio ambiente, no Brasil, principalmente na região Norte do país, traz a lembrança da Floresta Amazônica onde esta é um grande laboratório de estudos e pesquisas com o intuito de diminuir os impactos ambientais e possíveis soluções para uma melhoria entre os seres humanos e o meio ambiente sendo este o enfoque principal.

Ainda no INPA, em 2012, foi desenvolvido o Projeto “Estudos tecnológicos de alternativas de uso de resíduos florestais na Amazônia central”, o qual coordenado pelo pesquisador Basílio Vianez. Sendo o principal objeto desse Projeto o reaproveitamento de resíduos madeireiros da Amazônia com a finalidade de construir uma casa de roletes. Foram utilizados restos de roletes, de sobras, depois de serem processados para confecção de lâminas de madeiras usadas para produzir compensados. Neste Projeto com recursos do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), foi construído uma casa de roletes no Bosque da Ciência do Instituto, localizado na rua Otávio Cabral, Petrópolis, zona centro-sul de Manaus.

Deve-se salientar que a utilização dos resíduos de madeira foi sempre vista como de baixa qualidade ou desconforto, sendo a sua finalidade de melhorar a qualidade de vida, seja em nova fonte de renda e emprego, seja na redução de resíduos no ambiente, representando não apenas os valores positivos já relatados, mas a oportunidade concreta de manter a floresta viva e capaz de ser usada sustentavelmente.

Na indústria madeireira os resíduos, conhecidos como roletes, são queimados em caldeiras para a produção de vapor nas fábricas de compensado, na confecção de embalagens e caixotaria, além de serem considerados produtos subutilizados e de baixa qualidade, INPA (2012).

Conforme visita técnica a indústria Mil Madeiras Preciosas Ltda., localizada na Rodovia Torquato Tapajós, KM 227- Itacoatiara-AM, há um porcentual de resíduos da produção que são descartados, chegando a algo em torno de 60% onde estes resíduos são reaproveitados na queima para produção de energia elétrica para a região (Mil Madeiras Preciosas Ltda., 2012).

Com o intuito de diminuir esses problemas ambientais, causados pela geração dos resíduos de madeira descartados durante o seu processo industrial, a opção pode ser reaproveita-las para fabricação de painéis compósitos.

Dentre as mais diversas espécies de madeira encontradas na região amazônica, podemos citar dois tipos muito empregados na construção civil, o louro-inhamuí e amapá-doce. Por outro lado, vale ressaltar que o uso e a exploração de madeira Amazônica devem ser mais sustentáveis do que é atualmente.

Nesta pesquisa pretende-se analisar o uso de resíduos de louro-inhamuí e amapá-doce misturados a fibra de curauá, para aplicação na construção civil. A seguir são apresentadas as principais características dessas duas madeiras.

3.4.1 Madeiras Amazônicas

3.4.1.1 AMAPÁ-DOCE – Características Gerais

No Brasil conhecido vulgarmente como Amapá, Amapá-amargo, Amapá-doce, Amaparana, Amapá-roxo, Leiteira, Mururé, Mururerana, seu nome científico é *Brosimum parinarioides* Duke (figura 22). Da família Moraceae, é uma madeira moderadamente pesada sua densidade é de 0,59g/cm³ (BERG & SIMONIS, 2000).

O teor de umidade inicial é de 12,2% e o final é de 8,4 podendo atingir até 40 m de altura, com diâmetro de 90cm ou mais. Tronco reto, cilíndrico, com base reta. A casca é lisa com exsudação latexcente abundante, de sabor amargoso. Os frutos são globosos com 4 a 8 cm de comprimento, comestível, roxo-escuro quando maduro, unilocular, com numerosas sementes achatadas”. (SAMPAIO, 2000).

O Amapá quando cortado manualmente, é um pouco dura, porém é fácil de se trabalhar. É muito utilizada na marcenaria, construção, em geral, carpintaria, caixotaria, palitos de fósforo etc., (SAMPAIO, 2000).

Seu uso se dá principalmente, para a produção de cabo para rodo, vassoura e esfregão, cabo para utensílio doméstico (faca, canivete, talheres, cabo de panela e bandeja), cabo para utensílio de horta e jardim (cutelo, ancinho e sacho), escultura, hélice de ventilador, pequeno objeto (puxador, brinquedo, cinzeiro, cabide, prendedor de roupa, escova de lavar e tábua para bater carne), raquete (tênis, frescobol e pingue-pongue), revestimento em geral (forro) e tonel.

A madeira do Amapá, esta sendo muito solicitada devido às suas propriedades físicas e mecânicas, e tem conquistado o mercado exterior, a exemplo disso temos algumas cliente como Japão, EUA e Alemanha, dados da Mil Madeireira localizada em Itacoatiara Ltda. (SAMPAIO, 2000).



Figura 22 - Identificação da madeira de amapá-doce.

Fonte: Laboratório de Anatomia e Identificação de Madeira – INPA

3.4.1.2 LOURO INHAMUÍ – Características Gerais

No Brasil conhecido vulgarmente como louro-inhamuí, pau de gasolina, sassafrás (Amazonas), seu nome científico é *Ocotea cymbarum* H.BK. (figura 23).

Da família Lauraceae, é uma árvore de grande porte, chegando até 30m de altura, casca avermelhada, aromática. Possui folhas oblongas de base aguda, ápice longo-acuminado, bastante rígido-coriáceas, ambos os lados quase que da mesma cor, peninérvea, finamente reticulada com nervuras um pouco salientes na página inferior, margem íntegra mais ou menos ondulada. Flores brancas, pequenas; fruto, baga oblonga, obtusa ligeiramente vernicosa, com cúpula verrucosa. Sendo representada por mais de 2.500 espécies em 50 gêneros (INPA, 2012).

É uma madeira moderadamente pesada sua densidade é de 0,55 a 0,65 g/cm³ (LOUREIRO *et al.*, 1977).

Sua distribuição geográfica se dá nas matas periodicamente inundáveis do Estado do Amazonas.

A madeira é empregada na construção em geral (REVILLA, 2002) e na confecção de móveis de luxo (ZOGHBI *et al.*, 1977). O tronco é usado em carpintaria e para substituir lâmpões noturnos, devido ao seu alto teor de terebentina. Seu uso se dá principalmente, na carpintaria, construção em geral, lambris, vigas, caibros, ripas, rodapés, molduras, guarnições,

cordões, tábuas, pranchas, peças torneadas, marcenaria, compensados, fabricação de móveis, produção de folhas faqueadas decorativas. (MAIA *et al.*, 2001).

O seu habitat se dá em lugares sujeitos a inundações periódicas e ocasionais na mata de terra firme e em lugares úmidos (REVILLA, 2002). Cresce naturalmente em áreas inundadas do rio Negro e rio Solimões (MAIA *et al.*, 2001).



Figura 23 - Identificação da madeira de louro-inhamuí.

Fonte: Laboratório de Anatomia e Identificação de Madeira - INPA

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram realizados os ensaios com a fibra de curauá e os resíduos das madeiras amapá-doce e louro-inhamuí. Os ensaios foram realizados conforme o esquema do planejamento experimental, sendo a pesquisa dividida em três etapas, conforme exposto no esquema apresentado na figura 24.

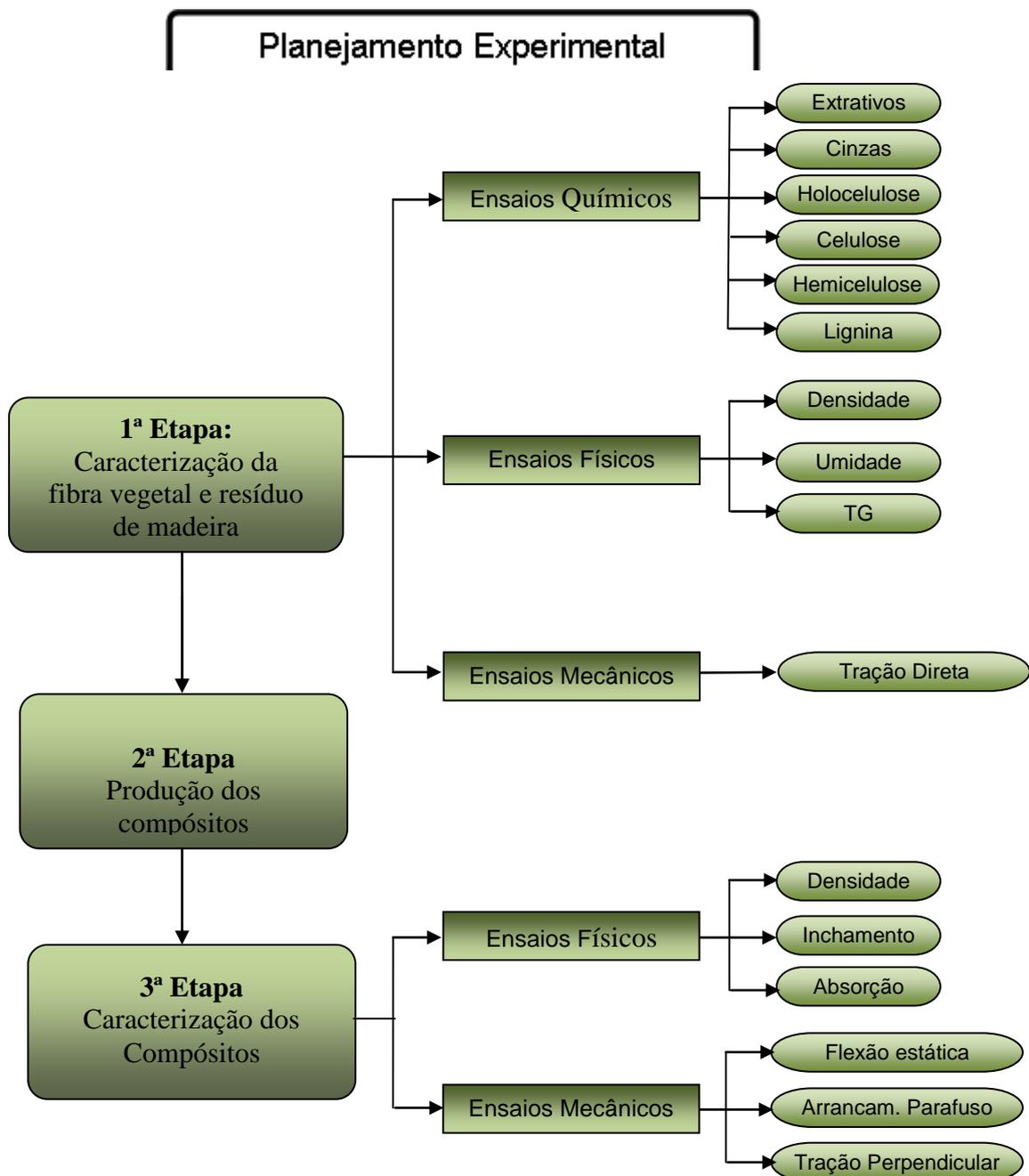


Figura 24 - Esquema do planejamento experimental da pesquisa.

4.1 MATERIAIS

Para o desenvolvimento da pesquisa foram empregados os seguintes materiais:

- a) Feixes de fibras de curauá (figura 25) e resíduos de madeiras amazônicas tipo: louro inhamuí e amapá-doce (figura 26).
- As fibras de curauá foram gentilmente fornecidas pela Pematec - Triangel de Santarém, situada na rodoviária PA 370 – Curuauna, km 22, Santarém-Pará;
 - Os resíduos de madeira louro-inhamuí e amapá-doce, foram cedidas pelo INPA (Instituto de Pesquisa Nacional da Amazônia).
- b) Resina poliuretana à base de mamona, extraída da semente de mamona, é obtida a partir de sistema bi-componente, misturando-se o polioli 25040 (base de mamona) com o pré-polímero A-249, que a frio polimerizam a mistura.



Figura 25 - Fibra de curauá.



Figura 26 – Madeira e resíduos de madeira: (a) amapá-doce; (b) louro-inhamuí.

4.2. MÉTODOS

A seguir será apresentada a metodologia para a caracterização química e física da fibra de curauá, e para determinação das características físicas e mecânicas dos painéis.

4.2.1 Caracterização química da fibra de curauá e dos resíduos de madeiras amazônicas

a) **Fibra de curauá:** As análises químicas da fibra de curauá foram realizadas no Laboratório de Biomateriais, Ciência e Tecnologia da Madeira da Universidade Federal de Lavras - MG, baseando-se nas Normas ABCP M3/89, ABCP M10/71 e ABCP M11/77, descritas pela Associação Brasileira Técnicas de Celulose e Papel - ABTCP (1974), adaptadas para fibras. Para tanto foram realizados os ensaios listados abaixo:

1. Extrativos Totais;
2. Teor de Cinzas;
3. Teor de Holocelulose;
4. Teor de Celulose;
5. Teor Hemicelulose
6. Teor de Lignina.

b) **Resíduos de madeiras do amapá-doce e louro-inhamuí:** As análises químicas do resíduo das madeiras foram realizadas no Laboratório de Química, Celulose e Energia da Universidade Estadual de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” ESALQ-USP – Piracicaba, baseando-se nas Normas T-204 om-97, T-211 om-02, T-222 om-02, TAPPI (TECHINICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY), sendo realizados os ensaios listados abaixo:

1. Extrativos totais;
2. Teor de Cinzas;
3. Holocelulose;
4. Teor de Lignina.

4.2.1.1 Preparação para os ensaios químicos.

a) Fibra de curauá

Foram pesadas 50g de fibras do curauá, sendo estas passadas no moinho (Figura 27 (a) e (b)), Em seguida o material foi classificado nas peneiras de 40 e 60 mesh (Figura 27 (c)). As partículas retidas na peneira de 60 mesh (Figura 27 (d)) foram utilizadas na análise química dos componentes estruturais (celulose, hemiceluloses e lignina) e as menores (extrativos totais e cinzas).



Figura 27 – (a) Moinho para triturar a fibra; (b) fibras moídas; (c,d) peneiras com os materiais retidos.

b) Resíduos de madeiras do amapá-doce e louro-inhamuí

A serragem das espécies foi moída em moinho de facas da marca Marconi, sendo logo após classificadas nas peneiras sobrepostas de 40 e 60 mesh, e em seguida o conjunto foi agitado no agitador de peneiras para análise granulométrica da marca Bertel. As partículas retidas na peneira de 60 *mesh* (abertura da peneira é de 0,25 mm) foram utilizadas no estudo da constituição química dos resíduos das madeiras (figura 28).

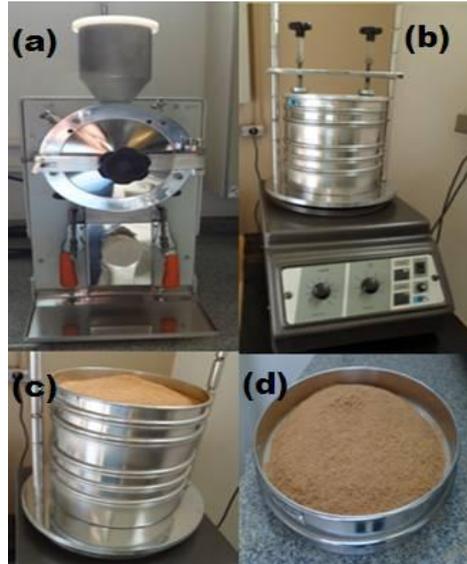


Figura 28 – (a) Moinho de facas; (b) agitador de peneiras; (c,) peneiras sobrepostas de 40 e 60 mesh; (d) peneiras de 60 mesh com os materiais retidos.

4.2.1.2 Teor de Umidade

Para determinar o teor de umidade considerou-se três repetições, identificadas como amostra 1, amostra 2 e amostra 3, para as quais foram utilizados cadinhos de porcelana, sendo os conjuntos colocados em estufa convencional a $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ por 24 horas. Cessado este período, foram retirados os cadinhos da estufa e transferidos para um dissecador contendo grãos de sílica, evitando que a umidade entrasse em contato com os cadinhos. Esperou-se resfriar os cadinhos por, aproximadamente, 20 minutos e foram pesados em uma balança analítica de alta precisão (0.0001g), sendo em seguida anotados os valores da massa dos cadinhos/tara do cadinho (CD).

Pesou-se 2g do material para este tipo de ensaio, os valores para o teor de umidade das amostras foram determinados pela expressão 1.

$$U\% = \frac{MU - MS}{MS} \times 100 \quad (1)$$

Onde,

U = Teor de umidade em porcentagem;

MU = Massa úmida;

MS = Massa seca.

O cálculo para determinação da massa do material estabilizado em câmara de climatização equivalente à 2g, absolutamente seco, conforme expressão 2.

$$X = 2,0000g \times \left[1 + \left(\frac{U\%}{100} \right) \right] \quad (2)$$

Os equipamentos e acessórios utilizados foram: estufa para esterilização e secagem da marca nova ética modelo Labstore (Figura 29(a)) com temperatura de 105°C, balança analítica marca shimadzu modelo AY220 com capacidade máxima 220g (Figura 29(b)), disseccador (Figura 29(c)) e cadinhos de porcelana (Figura 29(d)).

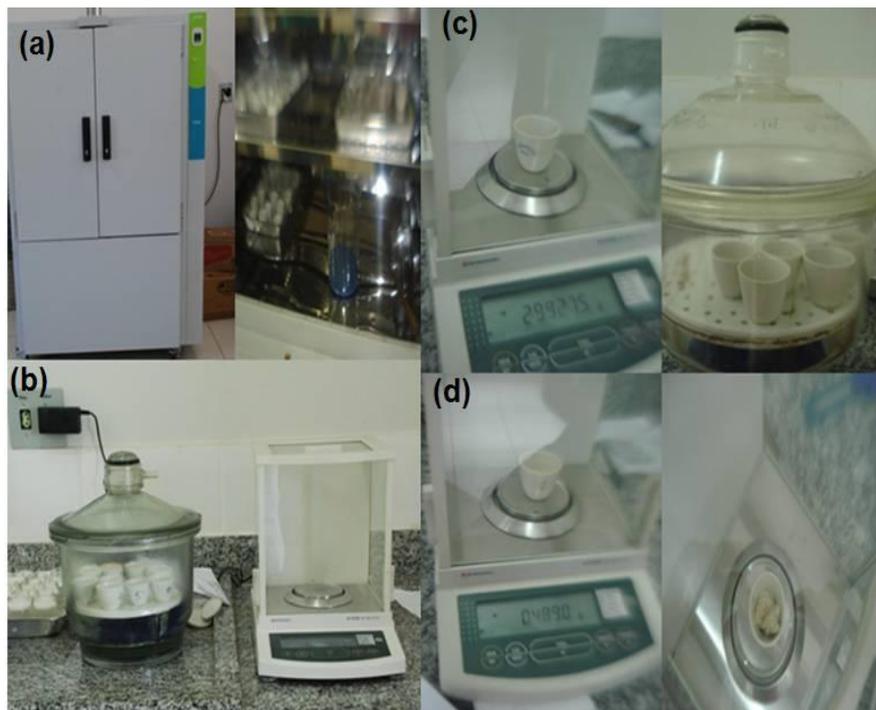


Figura 29 – (a) Estufa para esterilização e secagem; (b) Disseccador e balança analítica; (c) Tara do cadinho; (d) Peso da amostra de massa seca.

4.2.1.3 Teor de Extrativos

a) Fibra de curauá

Para determinar os extrativos foram considerada três repetições, sendo utilizados cadinhos de vidro sinterizado de porosidade N° 02, em estufa convencional a $103\pm 2^\circ\text{C}$ por 24 horas. Após este período, foram retirados os cadinhos da estufa e transferidos para um dissecador contendo grãos de sílica, para evitar que a umidade entre em contato com os cadinhos. Esperou-se resfriar os cadinhos (Figura 30(a)) por, aproximadamente, 20 minutos pesando-os em balança analítica de alta precisão (0.0001g).

Pesou-se o equivalente a 2g de material absolutamente seco, utilizando o cadinho de massa conhecida (Figura 30 (b)), conforme expressão 3:

$$MSR = \frac{MUR}{\left[1 + \left(\frac{U\%}{100}\right)\right]} \quad (3)$$

Onde,

MSR = Massa seca real;

MUR = Massa úmida real.

Foi montado um sistema de extração contendo balão volumétrico de fundo chato de 500 ml, soxhlet, condensador e chapa aquecedora dentro da capela de exaustão de gases (Figuras 30(c,d)). Utilizou-se uma solução de toluol/álcool etílico (2:1) por um período de 6 horas, após este período, esperou-se o sistema resfriar, em seguida recuperou-se o solvente e adicionou-se no balão volumétrico 250 ml de álcool etílico 96° deixando o conjunto por um período de 6 horas. Encerrada a extração em álcool etílico, esperou-se o sistema resfriar, retirou-se o cadinho do soxhlet, e lavou-se o cadinho com as amostras utilizando 1l de água destilada quente (ebulido com rabo quente). Após a lavagem colocou-se o cadinho com o material livre de extrativos em estufa convencional a $103\pm 2^\circ\text{C}$ por 24 horas. Decorrido este

período, retirou-se o material da estufa e transferindo-o para o dessecador. Esperou-se resfriar os cadinhos por, aproximadamente, 20 min., e pesou-se. Com estes valores foi determinado o teor de extrativos empregando a expressão 4.

$$MSF = CD - (CD + MSF)$$

$$ET\% = \frac{MSR - MSF}{MSR} \times 100 \quad (4)$$

Onde,

CD = Massa Cadinho;

ET = Extrativos em porcentagem;

MSR = Massa seca real;

MSF = Massa seca final.



Figura 30 - (a) Cadinho poroso nº2; (b) Cadinhos com amostras do material; (c) Capela de exaustão de gases; (d) Sistema montado: balão volumétrico de fundo chato, soxhlet e condensador e chapa aquecedora.

b) Resíduos de madeiras do amapá-doce e louro-inhamuí

Para determinar os extrativos também foram considerada três repetições, sendo estas colocadas em cadinhos de alumínio (Figura 31(a)), onde os conjuntos foram pesados em uma balança eletrônica. Em seguida foram levados a uma estufa para secagem e esterilização modelo MA033 da marca Marconi (Figura 31(b)), a 86°C por 24 horas. Após este período, foram retirados os cadinhos da estufa e transferidos para um dissecador (Figura 31(c)), de modo a evitar que a umidade entrasse em contato com os cadinhos. Esperou-se resfriar os cadinhos com as amostras, logo em seguida pesou-se em balança eletrônica da marca Bel engineering, após esse processo foi determinado o teor umidade do material.

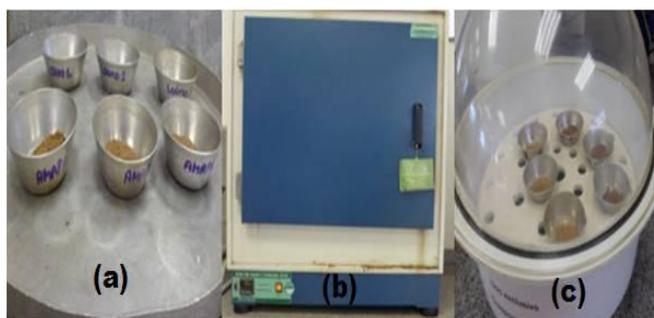


Figura 31 - (a) Cadinho de alumínio; (b) Estufa da marca Marconi; (c) Dissecador .

Após 24h, pesou-se o material absolutamente seco, sendo em seguida colocado em um saquinho confeccionado de papel filtro, com as amostras amarradas e colocadas no soxhlet para a montagem do sistema de extração. Todos os materiais, acessórios e equipamentos usados nesse ensaio são mostrados na Figura 32.

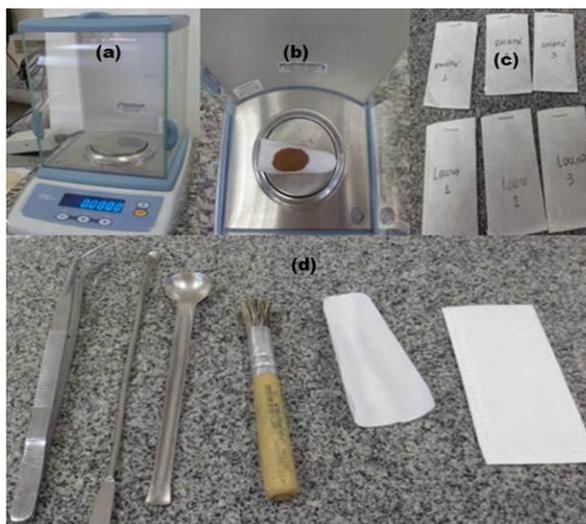


Figura 32 - (a) Balança eletrônica; (b) Material sendo pesado; (c) Embalagens de papel filtro; (d) Equipamentos utilizados: pinça, espátulas com colher, pincel, papel para pesar as amostras e saquinhos confeccionado de papel filtro.

Foi montado um sistema de extração seguindo os mesmos procedimentos que foi realizado para a fibra de curauá (figura 33). Além disso, utilizou-se uma solução de toluol/álcool etílico (2:1), por um período de 8 horas. Logo após este período, esperou-se o sistema resfriar, recuperando-se o solvente e adicionando-se no balão volumétrico 250 ml de álcool etílico deixando-se o conjunto em repouso por um período de 8 horas. Encerrada a extração em álcool etílico, esperou-se o sistema resfriar, retirou-se as amostras do soxhlet, colocando-se o material em um recipiente do tipo Enlermeyer de 250ml. Em seguida colocou-se 100 ml de água destilada, para serem levadas ao banho Maria a uma temperatura de 100°C, por um período de 1 h, sendo em seguida esfriado e levado para estufa a 103±2°C por 24 horas. Decorrido este período, retirou-se o material da estufa e transferindo-o o material para o cadinho poroso, e lavando-se as amostras utilizando 1 L de água destilada quente (ebulido com rabo quente). Após a lavagem colocou-se o cadinho com o material livre de extrativos em estufa convencional a 103±2°C por 24 horas (figura 34). Decorrido este

período, retirou-se o material da estufa e transferiu- para o dissecador. Esperou-se resfriar os cadinhos por, aproximadamente, 20 minutos e pesando-os.

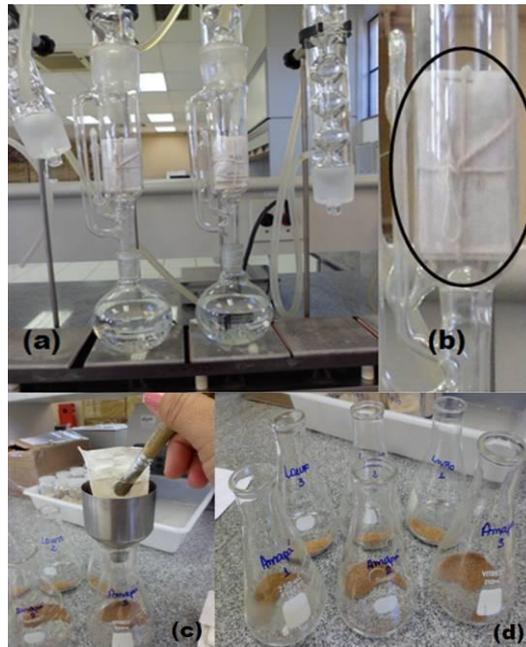


Figura 33 - (a) Balão volumétrico de fundo chato de 250 ml e soxhlet; (b) Material em embalagem filtro sendo transportado para o recipiente de Enlermeyer; (c) Material seco nos recipientes.

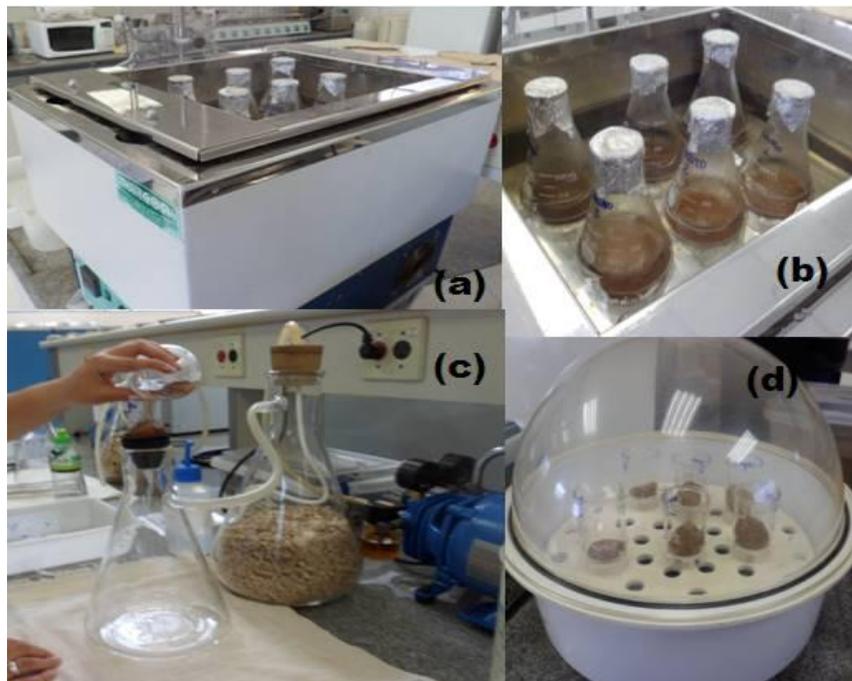


Figura 34 - (a) e (b) Material no recipiente Enlermeyer em banho maria; (c) Material sendo lavado em cadinho poroso com água destilada quente; (d) Material em cadinho poroso no dissecador.

4.2.1.4 Teor de Cinzas (Minerais)

a) Fibra de curauá

Para determinar o teor de cinzas (componentes minerais) foram consideradas três repetições, sendo as amostras calcinadas dentro de cadinhos de porcelana em mufla a 600°C por 4 horas. Após este período, retirou-se os cadinhos da mufla (figura 35), transferindo-os para um dessecador contendo grãos de sílica, para evitar que a umidade entre em contato com os cadinhos. Esperou-se resfriar os cadinhos por, aproximadamente, 30 minutos e pesou-se na balança analítica com precisão de 0,0001g.

Pesou-se o material, utilizando o cadinho de massa conhecida, determinando o teor de cinzas através da expressão 4.

$$MCZ = CD - (CD + MSF)$$

$$CZ\% = \frac{MCZ}{MSR} \times 100 \quad (4)$$

Onde,

CZ% = Teor de cinzas em porcentagem;

MCZ = Massa de cinzas;

CD = Massa do cadinho;

MSR = Massa seca real;

MSF = Massa seca final.

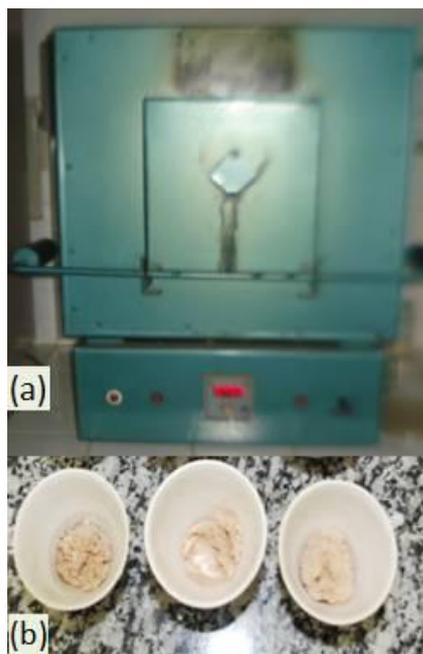


Figura 35 - (a) mufla; (b) as cinzas do material.

b) Resíduos de madeiras do amapá-doce e louro-inhamuí

Para determinar o teor de cinzas (componentes minerais) foram seguidos conforme os procedimentos para a fibra de curaua. Após este período, retirou-se os cadinhos da mufla, transferindo-os para um dissecador, de modo a evitar que a umidade entrasse em contato com os cadinhos. Esperou-se resfriar os cadinhos por, aproximadamente, 30 minutos e pesou-se.

4.2.1.6 Determinação da Holocelulose

O teor de holocelulose foi determinado de acordo com o procedimento descrito por BROWING (1963). Cerca de 2 g (com precisão de 0,1 mg) do material, previamente seco a 105 ± 5 °C foi colocado em um recipiente do tipo Erlenmeyer de 125 ml, juntamente com 2 ml de uma solução de clorito de sódio a 20% e 2 ml de uma solução de ácido acético a 20% em cada recipiente do tipo Erlenmeyer. O recipiente do tipo Erlenmeyer é tampado com outro invertido, e o conjunto é colocado em um banho com temperatura controlada por um termostato, a 70 ± 5 °C (Figura 36(b)). Em seguida foi adicionada solução de ácido acético e clorito de sódio, repetindo-se o procedimento após 45 min, adicionou-se mais 3 ml de clorito

de sódio a 20% e 2 ml de ácido acético a 20%. Repetiu-se esta operação a cada 45 min. Após um período e 3h transferiu-se a holocelulose do recipiente do tipo Erlenmeyer para o cadinho poroso N° 1, devidamente tarado, utilizando-se água destilada. Após, despejar três porções de metanol sobre a holocelulose contida no cadinho poroso, lavou-se a holocelulose com 500 ml a 1 ℓ de água destilada, utilizando o sistema de bombeamento à vácuo em capela de exaustão de gases. Depois, secou-se em estufa a 103 ± 2 °C por 24 horas, esfriando-se o conjunto em um dessecador e pesando-os em uma balança analítica de precisão 0,0001g (PST). O teor de holocelulose foi obtido pela expressão 6.

$$H\% = \left(\frac{PST - T}{PS} \right) \times 100 \quad (6)$$

Onde,

H%= teor de holocelulose em porcentagem (%);

PST= massa da holocelulose mais cadinho poroso N°01 (g);

T= tara (massa) do cadinho poroso N° 01 (g);

PS= peso seco do material livre de extrativos.

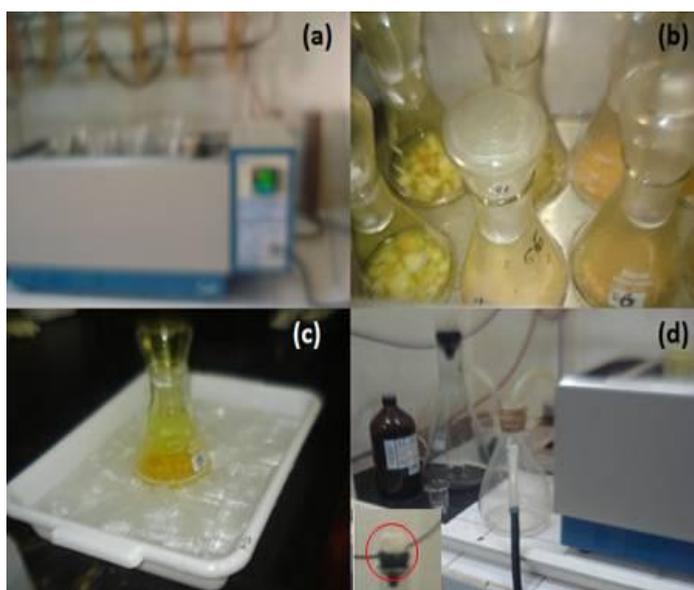


Figura 36 - (a) Aparelho chamado de banho-maria; (b) Recipiente do tipo Erlenmeyer de 125 ml, tampado com um de 25 ml; (c) Recipiente do tipo Erlenmeyer com o material imerso em água fria; (d) Material colocado no cadinho poroso n°1 para ser lavado, com sistema de bombeamento à vácuo.

4.2.1.7 Determinação do teor de Celulose

A determinação do teor de celulose foi feita de acordo com os procedimentos de KENNEDY *et al.* (1987). Pesou-se 1,0g da amostra (com precisão de 0,1 mg) de holocelulose seca em um recipiente de plástico e 15 ml de solução de KOH a 24% (m/v). A mistura foi mantida sob agitação por 15 horas à temperatura ambiente e, em seguida, filtrada em cadinho de vidro com placa porosa previamente tarado. O resíduo sólido resultante foi lavado com duas porções de ácido acético a 1% e água destilada até a neutralidade do filtrado e, por último, com etanol. A celulose foi seca em estufa a 105 ± 5 °C, até peso constante. O teor de celulose foi obtido pela expressão 7.

$$C\% = \left(\frac{PS2}{PS1} \right) \times 100 \quad (7)$$

Onde;

C% = Teor de celulose em percentagem;

PS1 = Peso seco inicial da amostra;

PS2 = Peso seco de celulose obtida.

4.2.1.8 Determinação do teor hemicelulose

A determinação do teor da hemicelulose foi determinada pela diferença, isto é, considerando a soma da holocelulose menos celulose ser igual à quantidade de hemicelulose.

4.2.1.5 Determinação do teor de lignina

a) Fibra de curauá

Para determinar o teor de lignina, foi pesado 1 g da amostra (fibra livre de extrativo) em triplicata transferindo-se a amostra para um recipiente do tipo Erlenmeyer de 50 ml, no qual foi colocado 15 ml de H₂SO₄ a 72%. Em seguida colocou-se em banho de água a 18°C e

agitou-se periodicamente durante 2 h. Posteriormente transferiu-se a amostra para um recipiente do tipo Erlenmeyer de 1 L acrescentado 560 ml de água destilada. A solução foi fervida durante 4 h, sendo em seguida colocado o conjunto em decantação. Forrou-se os cadinhos porosos com uma camada de óxido de alumínio, e este foi seco em estufa e tarado. Depois, filtrou-se a amostra com água fervente utilizando o cadinho tarado. Assim, o teor de lignina foi determinado através da expressão 5:

$$L\% = \frac{MSI}{MSF} \times 100 \quad (5)$$

Onde,

L % = Teor de lignina em porcentagem;

MSI = Massa seca inicial;

MSF = Massa seca final.

b) Resíduos de madeiras do amapá-doce e louro-inhamuí

Para determinar o teor de lignina, foi pesado 0,3 g da amostra (livre de extrativo) em triplicata, transferindo-se as amostras para um vidro de penicilina, em seguida foi colocado 3 ml de solução ácida (H₂SO₄), conforme figura 37.

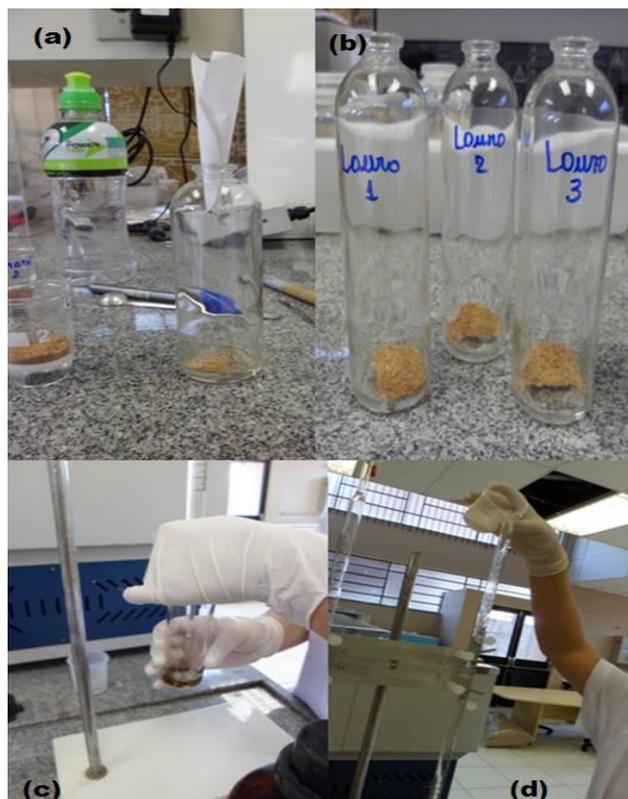


Figura 37 - (a) e (b) Material livre extrativo nos vidros de penicilina; (c) e (d) Adicionado à solução ácida na amostra.

O material juntamente com a hidrólise ácida ficou por 1 h em banho Maria a 30°C. Após esse período colocou-se 84 ml de água destilada, levando o conjunto para o autoclave vertical CS da marca Prima, ficando este por um período de 1 h, sendo em seguida colocado para esfriar (figura 38). Forrou-se os cadinhos porosos com uma camada de óxido de alumínio, sendo este seco em estufa e tarado. Filtrou-se a amostra com água fervente utilizando o cadinho tarado, obtendo assim os valores da lignina solúvel e insolúvel.

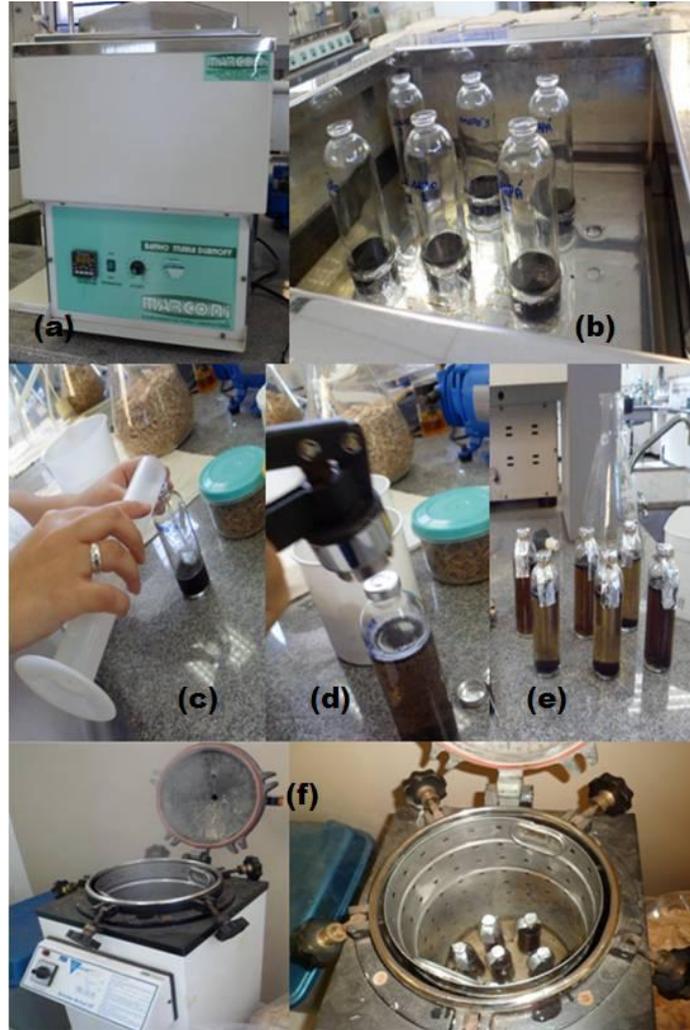


Figura 38 - (a) e (b) Vidros de penicilina com o material em banho maria; (c) Adicionamento de água destilada; (d) e (e) Vidros de penicilina sendo tampados; (f) Amostras sendo colocados no autoclave.

4.3 Caracterização física da fibra de curauá

4.3.1 Densidade real

O ensaio para o cálculo da densidade real da fibra do curauá foi realizado no Laboratório de Construções e Ambiente, da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo (FZEA) - Campus de Pirassununga, através do picnômetro de gás Hélio, da marca Multipycnometer da Quantachrome instruments, modelo MVP-6DC (figura 39).



Figura 39– (a) Picnômetro conectado ao cilindro de gás Hélio; (b) Picnômetro.

Para fazer o ensaio no picnômetro, o gás hélio entra e sai do material por cinco vezes para filtra-lo, sendo o seu fluxo controlado por uma válvula com uma pressão em torno de 17 Psi. Ao acionar a válvula para cada entrada de gás, é feito o registro de cada valor. No visor do picnômetro aparecem os valores que serão anotados e calculados. Foram realizadas cinco repetições da operação com a obtenção de cinco leituras anotadas e calculadas. A densidade real é determinada pela expressão 8.

$$V_p = V_c - V_r \left(\left(\frac{P_1}{P_2} \right) - 1 \right) \quad (8)$$

Onde,

V_p = Volume da amostra (cm³);

V_c = Volume do porta-amostra (cm³);

V_r = Volume da referência (cm³);

P_1 = pressão medida depois da pressurização do volume de referência (Psi);

P_2 = pressão medida depois de incluída V_c (Psi).

4.3.2 Análise Térmica

De acordo com FONSECA (2012) *apud* ORFÃO *et al.* (2001), em termos de composição química, a matéria-prima lignocelulósica apresenta constituição diversa e complexa. Em razão da sua complexidade, seus mecanismos de degradação térmica ainda não são bem compreendidos.

Sabe-se que é de grande importância conhecer o comportamento térmico das fibras vegetais, no que diz respeito a sua aplicação, visto que em muitos processos industriais se utiliza temperaturas na confecção de produtos e subprodutos à base de matéria-prima vegetal, como é o caso de painéis particulados, compensados e aglomerados de madeira. Portanto, é necessário conhecer a faixa de temperatura que resultará na mínima degradação do material vegetal. O estudo do comportamento térmico das fibras vegetais de origem não lenhosa pode ser encontrado em diversos trabalhos que envolvem a aplicação de fibras naturais como reforço de compósitos de diferentes naturezas, sejam elas cimentícias ou poliméricas, FONSECA (2012).

O ensaio de análise térmica apresentado neste trabalho foi realizado no Laboratório de Ciência e Tecnologia da Madeira do Departamento de Ciências Florestais, da Universidade Federal de Lavras – UFLA/MG, nos equipamentos DTG – 60H e DSC-60 da Shimadzu (figura 40).

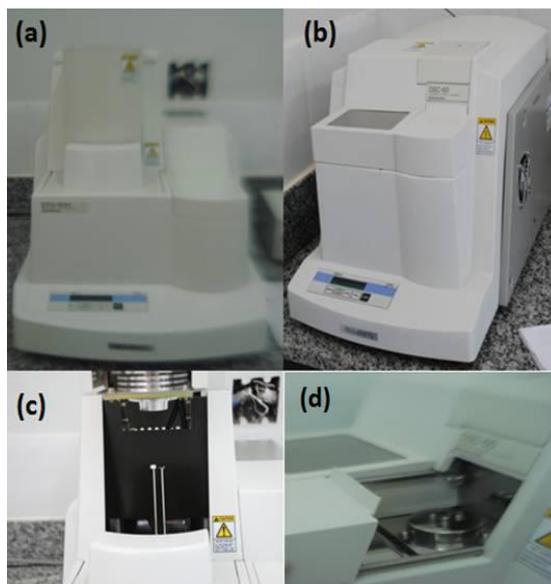


Figura 40 – (a) e (c) Equipamento DTG-60H; (b) e (d) Equipamento DSC-60.

Os acessórios (figura 41) utilizados para o ensaio de análise térmica foram: o cadinho de alumínio, pinça de ponta ultrafina, espátula, pincel de cerda chata, cotonete e acetona para limpeza.

Nos ensaios experimentais de análise térmica, foram utilizados ± 4 mg de cada amostra, submetidas a uma taxa de aquecimento de $10^{\circ}\text{C d/cm}^3$, com temperatura variando de 30°C até 550°C , sob fluxo de nitrogênio (50 ml min^{-1}).

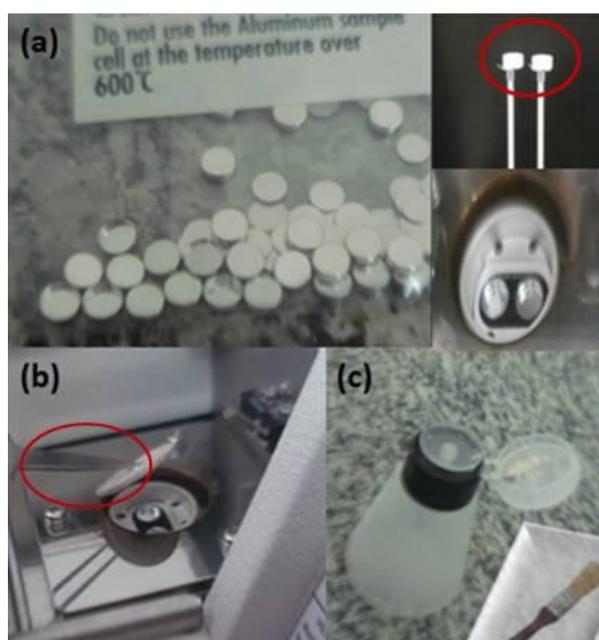


Figura 41 – (a) Recipiente de alumínio (b) Pinça; (c) Pincel e acetona para limpar os cadinhos.

4.4 Caracterização física e mecânica da fibra de curauá

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Construção e ambiência, da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo - Campus de Pirassununga.

4.4.1 Fase de Preparação da fibra de curauá

Para as fibras estudadas nesta pesquisa foram retiradas a mucilagem e feita uma leve limpeza, sendo em seguida, secas naturalmente.

4.4.2 Desenvolvimento do molde da fibra para os testes de ensaio mecânico

O ensaio foi realizado com 50 filamentos de fibra de curauá empregando um suporte adaptado para fixação dessas nas garras da máquina. Para tanto, foram preparados 50 suportes de papel sulfite gramatura 180 na cor branca, nas dimensões conforme mostrado na figura 42.

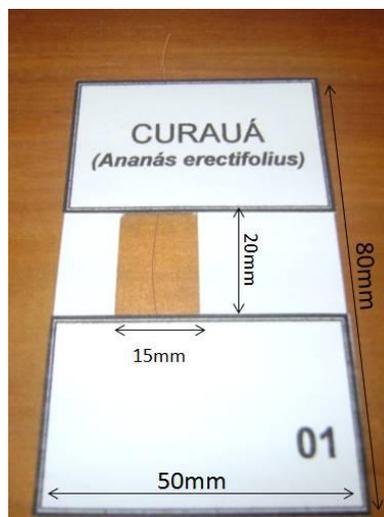


Figura 42- Suporte de papel enumerado para fixação das fibras de curauá para serem ensaiadas à tração.

4.4.3 Determinação do diâmetro das Fibras

Foram realizadas medidas em 50 fibras utilizando-se paquímetro digital e microscópio (figura 43). A utilização do microscópio se faz necessário pelo fato das fibras apresentarem variações em seu diâmetro e comprimento, não apresentando a forma cilíndrica, para tanto, três medidas de diâmetro foram feitas uma em cada extremidade e uma no centro, para em seguida ser determinado o valor médio do diâmetro de cada fibra, avaliado no momento da realização do seu ensaio.

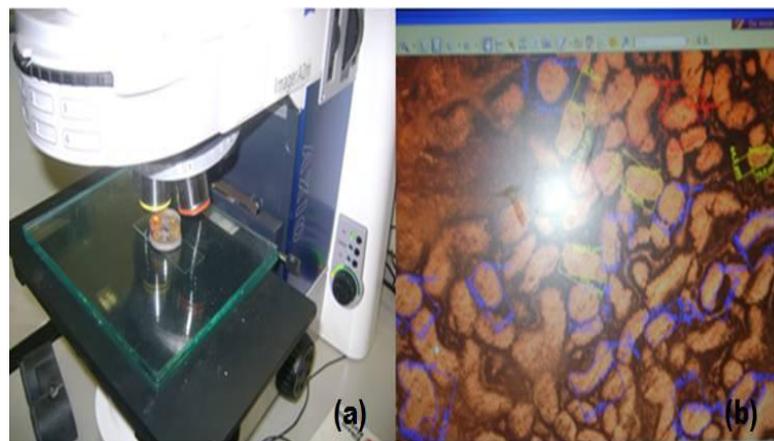


Figura 43 - Processo de medição do diâmetro da fibra: (a) e (b) medidas da fibras de curauá inseridas em resina epóxi e vista no microscópio.

4.4.4 Avaliação das Propriedades Mecânicas

Para as propriedades mecânicas das fibras, os ensaios foram realizados, em uma máquina de ensaio mecânico modelo EMIC DL30000N , apresentada na figura 44, com uma capacidade de carga de 100 kN, sendo as fibras fixadas em garras pneumáticas de 200kgf, e ensaiadas com velocidades de ensaio de 0,4 mm/min.

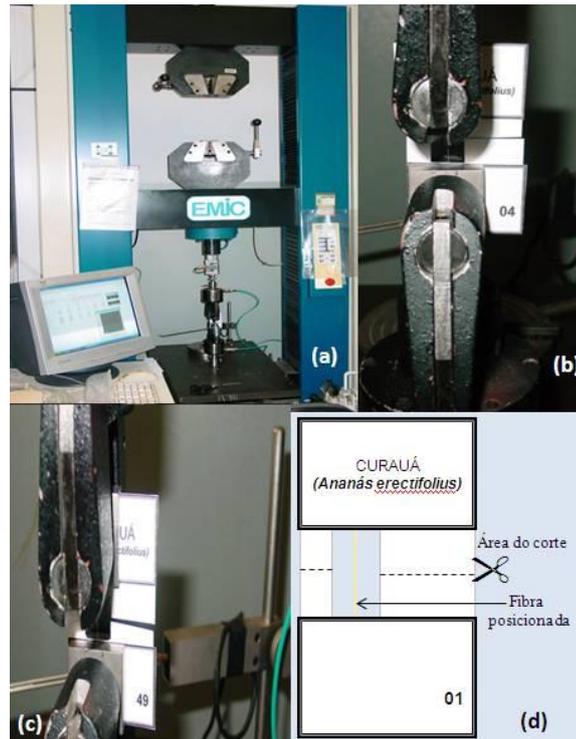


Figura 44 – (a) Máquina Universal EMIC DL30000N; (b) amostra colocada nas garras com molde de papel; (c) amostra preparada para ensaio; (d) detalhe da fibra no molde de papel submetida à tração.

Para o ensaio de resistência à tração, módulo de ruptura e módulo de elasticidade os seus valores foram obtidos com o auxílio do gráfico de tensão x deformação, os cálculos das propriedades de resistência mecânica foram realizados empregando as equações (9) e (10).

Resistência a Tração:

$$\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{A} \quad (9)$$

Onde:

σ_{max} = Resistência à tração, em megapascal;

F_{max} = Tensão máxima que antecede a ruptura do corpo de prova, em newtons;

A = área da seção transversal do corpo de prova, em milímetros;

Módulo de Elasticidade – MOE:

$$MOE = \frac{T_1 - T_2}{D_1 - D_2} \quad (10)$$

Onde:

MOE = módulo de elasticidade, em megapascals;

T₁ = Corresponde a tensão máxima dentro da região linear, na curva tensão x deformação em megapascal;

T₂ = Corresponde a tensão mínima dentro da região linear, na curva tensão x deformação em megapascal;

D₁ = Corresponde deformação máxima obtida dentro da região linear, na curva tensão x deformação (adimensional);

D₂ = Corresponde deformação mínima obtida dentro da região linear, na curva tensão x deformação (adimensional).

4.5. PROCESSO PARA PRODUÇÃO DOS PAINÉIS

4.5.1 Produção dos Painéis

A produção dos painéis com fibra de curauá e os seus respectivos ensaios, foram realizados no Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeira – LaMEM, da Universidade de São Paulo - USP de São Carlos. Para a produção dos painéis de fibra de curauá foi adaptada a norma a NBR 14810/2006 para painéis de madeira aglomerada.

Coforme cita BERTOLINI (2005) *apud* DIAS (2005), a resina poliuterana a base de mamona é do tipo bicomponente, pré-polímero e polioliol, com teor de sólidos de 100%. Essa resina foi usada devido ao ótimo desempenho alcançado pelos pesquisadores do LaMEM, sendo usado a proporção 1:1.

Para produção do compósito foram pesadas 640 g de fibras de curauá com 50 mm de comprimento e 640g de resíduos de madeiras Amazônicas.

Nesta pesquisa foram utilizados (pesados) 15% de resina – 7,5% de resina poliuterana a base de mamona bicomponente (poliol), e 7,5% de Pré-Polímero a base de petróleo (Isociato polifuncional) (figura 45) - Em seguida os materiais foram misturado em uma bacia de plástico, para depois serem prensadas (figuras 46 e 47).

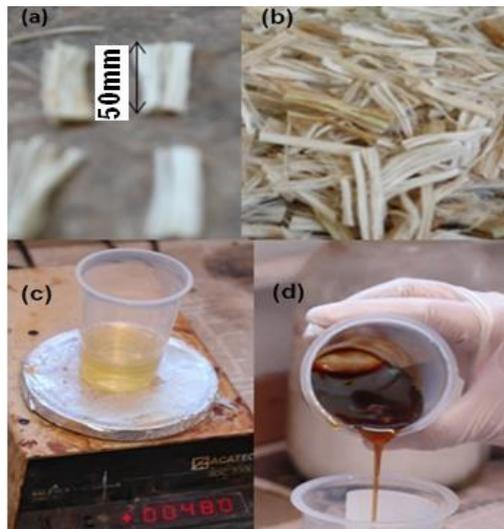


Figura 45 - (a) e (b)Fibras cortadas; (c) Poliol a base de mamona; (d) Pré-polímero derivado de petróleo.



Figura 46 - Mistura das fibras cortadas com as resinas.



Figura 47 –(a) Granulometria dos resíduos; (b) Resíduo de amapá-doce; (c) Resíduo de louro-inhamuí; (d) Resíduo de madeiras com fibras; (e) Resinas pesadas para serem adicionadas nas amostras.

Pré-prensagem e Prensagem dos Painéis

Após a mistura, procedeu-se uma pré-prensagem, para formação do colchão, sendo as fibras acondicionadas em um molde de madeira sem fundo e com dimensões de 28 x 28 cm, com espessura de 10 cm sendo em seguida o conjunto levado a uma prensa mecânica submetida a uma força de 150 Kg, sendo formado um molde denominado colchão, conforme figura 48.

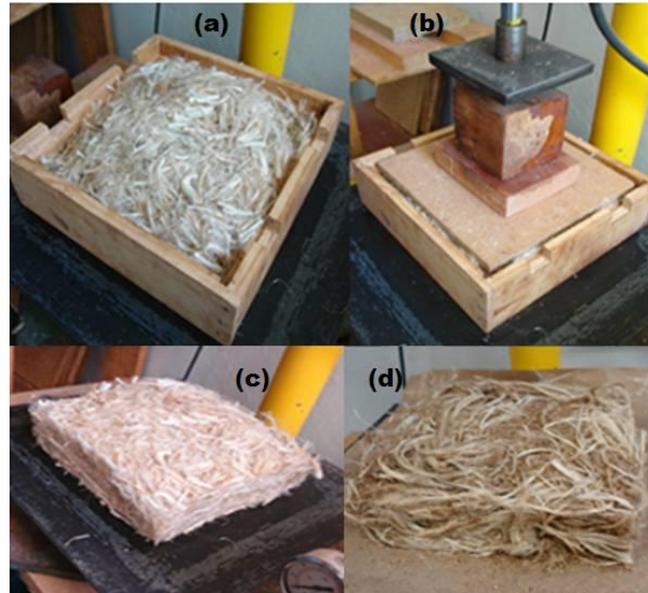


Figura 48 – Etapas da formação do colchão; (a) Formação do colchão; (b) Pré-prensagem do colchão (c) com fibra de curauá e, (d) com resíduo de madeira.

Finalmente, a prensagem térmica foi realizada em uma prensa semi-automática da marca Marconi, modelo MA 098/50 com capacidade de 800 kN e temperatura de 200°C.

Os Painéis desta pesquisa foram prensados a uma temperatura de prensagem de 100°C, a uma pressão de 5 MPa e um tempo de prensagem de 10 minutos (figuras 49 e 50).

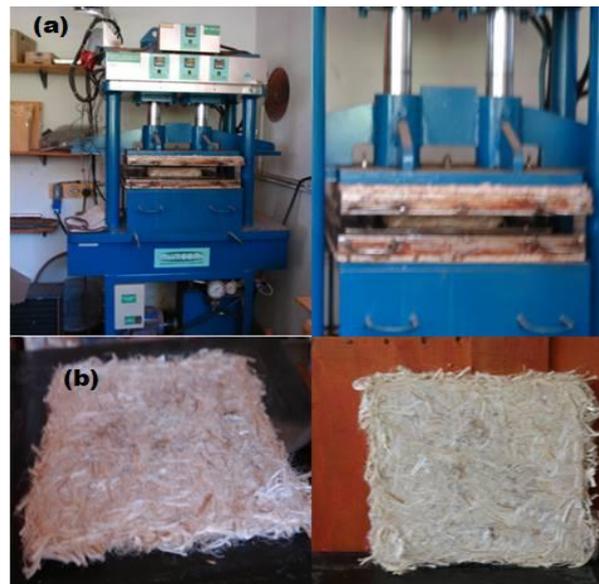


Figura 49 – (a) Prensa semi-automática; (b) Painéis de fibra de curauá .

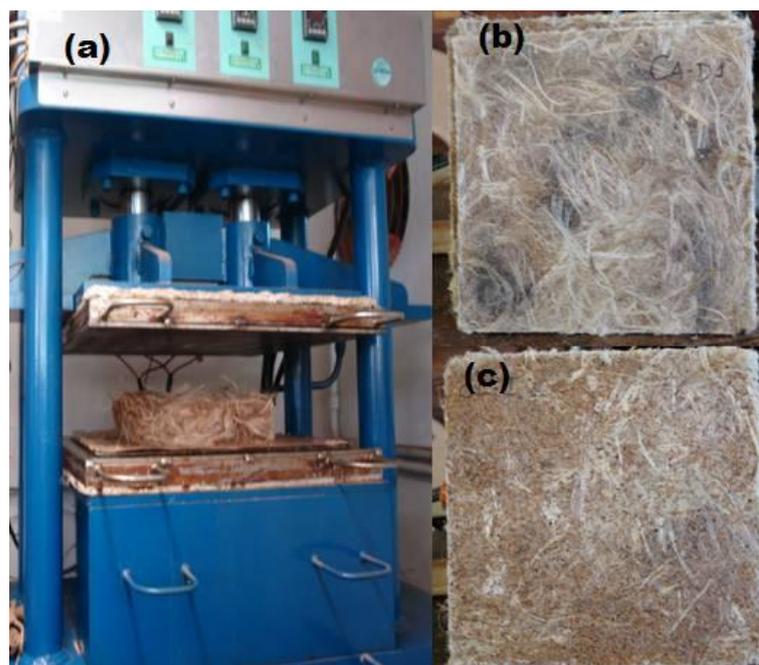


Figura 50 – (a) Painéis prensados na prensa semi-automática; (b) Painel de amapá-doce; (c) Painel de louro-inhamui.

4.5.2 PREPARAÇÃO PARA O ENSAIO FÍSICO/MECÂNICO

Caracterização Física do painel

Este tipo de ensaio consiste na aferição da espessura e largura dos corpos de prova. O ensaio mecânico refere-se a flexão estática de três corpos de prova do painel preliminar.

Após a produção do painel e antes de iniciar os ensaios, os corpos de prova passaram por um período de estabilização que durou 72 h, tempo que é recomendado pela norma NBR 14810-3.

Os painéis foram esquadrejados, sendo retirado 5 mm de cada extremidade com a utilização de uma serra circular esquadrejadeira. Na retirada dos corpos de prova para o ensaio de flexão, utilizou-se a esquadrejadeira invicta, modelo SCI-160 e uma serra circular Marajó modelo KSN 7945 (figura 51).

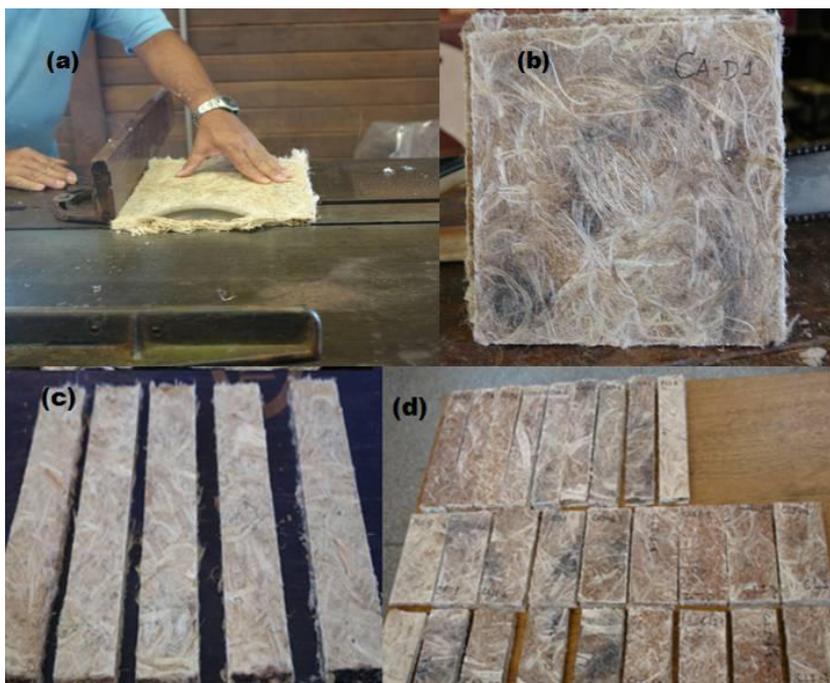


Figura 51 – (a) e (b) Esquadrejamento do painel; (c) e (d) Corpos de prova para serem ensaiados.

4.5.2.1 Preparação para o ensaio físico

4.5.2.1.1 Densidade do painel

O ensaio de densidade foi realizado em 12 painéis conforme a seguinte sequência: 1) quatro painéis com 100% de fibra de curauá; 2) quatro painéis com 50% de fibra de curauá e 50% de resíduo de amapá-doce; 3) quatro painéis com 50% de fibra de curauá e 50% de louro-inhamuí.

As amostras foram confeccionadas de acordo com a norma NBR 14810-3 e cortada nas dimensões de 25 x 25 mm corpos de prova. De cada painel foram produzidos 10 corpos de prova, totalizando 40 corpos de prova para o ensaio de densidade.

As amostras foram devidamente identificadas, e em seguida foi iniciado o ensaio, e determinando-se a espessura, comprimento e largura.

As amostras foram pesadas em balança eletrônica digital da marca ACATEC BDC 3.300 com resolução de 0,1g, sendo anotadas as medidas efetuadas.

A densidade de um corpo de prova foi determinada pelas expressões 11 e 12.

$$D = \left(\frac{M}{V} \right) \times 1.000.000 \quad (11)$$

Sendo:

$$V = L * C * E \quad (12)$$

Onde:

D = densidade do corpo-de-prova (kg/mm³);

M = massa do corpo-de-prova (g);

V = volume do corpo-de-prova (mm³);

L = largura do corpo-de-prova (mm);

C = comprimento do corpo-de-prova (mm);

E = espessura do corpo-de-prova (mm).

4.5.2.1.2 Inchamento e Absorção do painel

- **Inchamento**

Para o ensaio de inchamento foi utilizada a seguinte aparelhagem: balança eletrônica digital da marca ACATEC Mod. BDC 3.300 com resolução de 0,1g; recipiente tipo Becker de vidro com capacidade de 600 ml.

Inicialmente, encheu-se o recipiente tipo Becker com água, de modo que o nível de água ficasse acima da superfície do corpo-de-prova (figura 52(a)).

Após um período de 2h de imersão as amostras foram retiradas do becker e colocada sobre um pano para remoção do excesso de água (figura 52(b)), sendo em seguida medidas a espessura e a massa, anotando-se os respectivos valores. Os corpos de prova foram novamente submersos na água e após 22 horas foi repetida a operação e anotados os valores.



Figura 52 - (a) Amostras submersas; (b) Remoção do excesso de água das amostras.

Para o cálculo de inchamento da espessura do corpo-de-prova, utilizou-se a expressão 10.

$$I = \frac{E_1 - E_0}{E_0} \times 100 \quad (13)$$

Onde:

I = Inchamento em espessura do corpo de prova, em porcentagem;

E1 = Espessura do corpo de prova após o período de imersão considerado, em milímetros;

E0 = Espessura do corpo de prova antes da imersão, em milímetros.

- **Absorção**

Para o ensaio de absorção foi utilizada a mesma aparelhagem do ensaio de inchamento: balança eletrônica digital da marca ACATEC Mod. BDC 3.300 com resolução de 0,1g; becker de vidro cap.600 ml.

Para o ensaio de absorção de água, utilizou-se a expressão 11.

$$I = \frac{M_1 - M_0}{M_0} \times 100 \quad (14)$$

Onde:

A = absorção de água, em porcentagem;

M1 = massa do corpo-de-prova após imersão, em gramas;

M0 = massa do corpo-de-prova antes da imersão, em gramas.

Deve-se destacar que os resultados apresentados no capítulo resultados e discussões foram referentes às médias dos valores anotados, entre corpos de prova, expressos em porcentagem, com precisão de 0,1%. Para determinar o inchamento foram verificados os valores médios da espessura.

4.5.2.3 Ensaio mecânico de flexão estática

Para o ensaio de flexão estática as bordas dos painéis foram aparadas, esquadrihadas, marcadas e preparadas em corpos de prova para ensaios de flexão estática com as seguintes dimensões: comprimento medindo 250 mm e largura 50 mm.

Em cada corpo de prova foi realizada três medidas com paquímetro digital, sendo metade no sentido transversal e metade no sentido longitudinal da chapa.

O ensaio de flexão estática foi realizado na máquina universal de ensaios da AMSLER, com capacidade de 250 kN. Este tipo de ensaio tem a finalidade de determinar duas propriedades mecânicas do painel produzido: Módulo de Ruptura – MOR e Módulo de Elasticidade – MOE (figura 53).

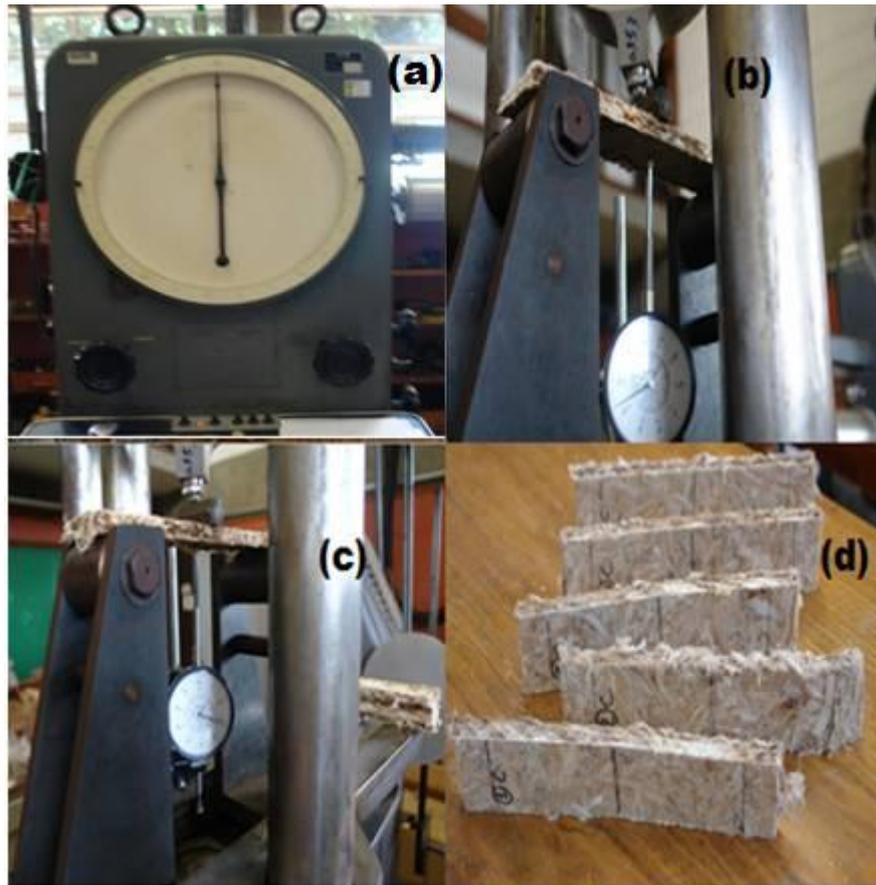


Figura 53 – (a) Corpos de prova marcados; (b) e (c) Corpo de prova durante o ensaio na máquina universal AMSLER; (d) Corpos de prova rompidos.

Durante o ensaio foram realizadas leituras e anotados os valores das cargas até a ruptura. Desse modo, os dados coletados permitiram a determinação do Módulo de Ruptura – MOR e do Módulo de Elasticidade – MOE.

Os cálculos das propriedades de resistência e de rigidez à flexão foram realizados empregando as equações (15) e (16)

Módulo de Ruptura – MOR:

$$MOR = \frac{1,5 * P * D}{B * E^2} \quad (15)$$

Onde:

MOR = módulo de ruptura, em megapascals;

P = carga de ruptura, em newtons;

D = distância entre apoios do aparelho, em milímetros;

B = largura do corpo-de-prova, em milímetros;

E = espessura média em três pontos do corpo-de-prova, em milímetros.

Módulo Aparente de Elasticidade – MOE:

$$MOE = \frac{P1 \cdot D^3}{d \cdot 4 \cdot B \cdot E^3} \quad (16)$$

Onde:

MOE = módulo aparente de elasticidade, em megapascals;

P1 = carga no limite de proporcionalidade, em newtons;

D = distância entre apoios do aparelho, em milímetros;

d = deflexão correspondente à carga P1, em milímetros;

B = largura do corpo-de-prova, em milímetros;

E = espessura média em três pontos do corpo-de-prova, em milímetros..

4.5.2.4 Ensaio de Tração perpendicular (Adesão Interna)

Para este tipo de ensaio, os corpos de prova de tração perpendicular (adesão interna) possuíam dimensões de 50 x 50 mm. No ensaio foram usados suportes de aço com cola epóxi proporção 1:1 (resina e endurecedor). Foi regulada a máquina universal para velocidade 4 mm/min, em seguida colocou-se os corpos de prova no dispositivo da máquina, para serem rompidos (figura 54), e assim obter a adesão interna, ou seja a sua resistência à tração perpendicular, calculada de acordo com a equação 17.

$$TP = \frac{P}{S} \quad (17)$$

Onde:

TP = Resistência a tração perpendicular, em megapascals;

P = carga de ruptura, em newtons;

S = área da superfície do corpo-de-prova, em milímetros.

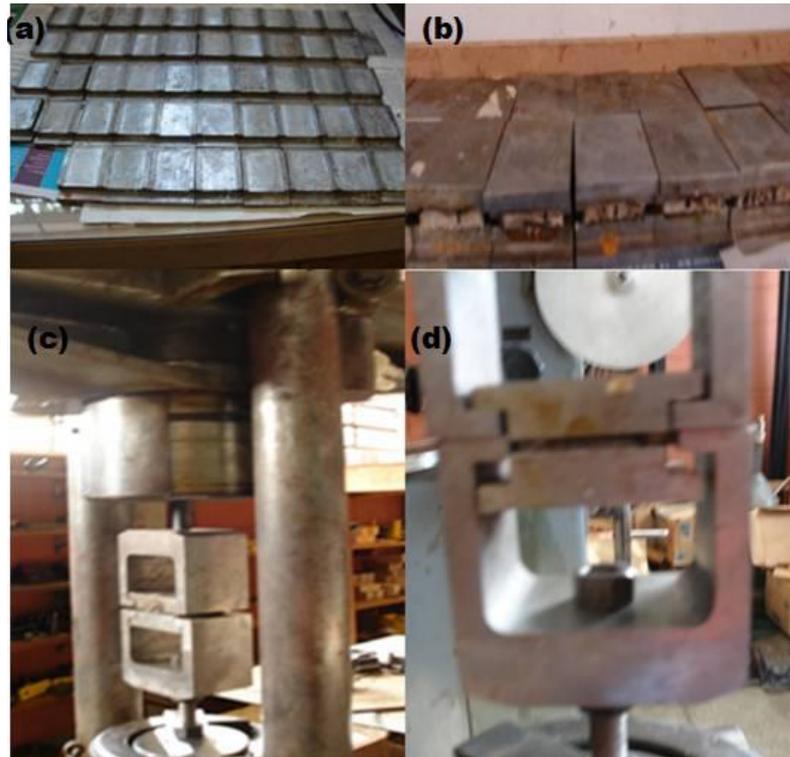


Figura 54 – (a) e (b) Suportes de aço com as amostras; (c) e (d) corpos de prova sendo ensaiados.

4.5.2.5 Ensaio de Arrancamento de Parafuso de superfície

Para os ensaios de arrancamento de parafuso de superfície foram produzidos corpos de prova com as seguintes dimensões: 150 x 75 mm para a face ou superfície e 115 x 65 mm para o topo.

Após o corte os corpos de prova foram perfurados com uma furadeira de bancada Helmo, com o auxílio de uma broca de 2,8 mm de diâmetro produzindo um orifício com profundidade máxima de 17 mm, bem no centro na superfície do corpo-de-

prova (figura 55). Este ensaio de arrancamento de parafuso foi realizado de acordo com NBR 14810:2006 (figura 56).



Figura 55 – (a) Parafuso sendo colocado na face; (b) Parafuso sendo colocado no topo; (c) Amostras com parafusos.

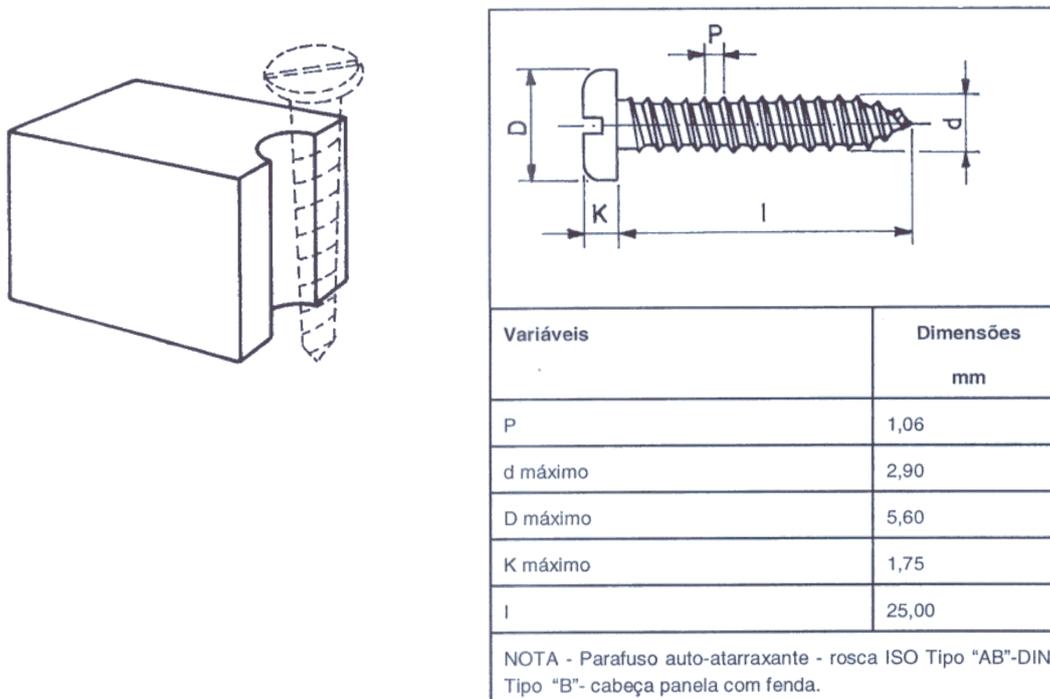


Figura 56 - Dimensões e tipo do parafuso a ser utilizado no ensaio
Fonte: NBR 14810-3 (2006)

Posiciona-se o corpo-de-prova na máquina universal (figura 57), para iniciar o ensaio, o indicador de cargas tem que estar zerado, aciona-se a maquina com a velocidade de 15 mm/min, sendo anotado o valor da carga no momento em que o corpo-de-prova é rompido, os valores encontrados são expressos em Newtons, com precisão de 0,1N.

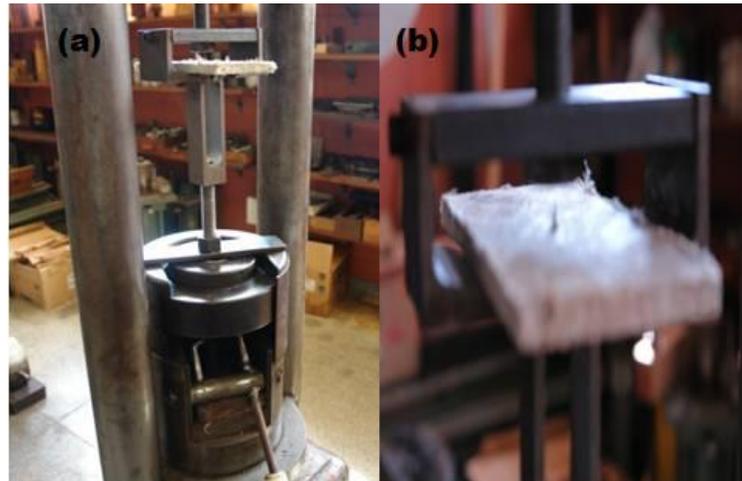


Figura 57– (a) Corpo-de-prova colocado na máquina universal de ensaio; (b) Amostra pronta para ensaio no dispositivo da máquina.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

São apresentados neste capítulo os resultados obtidos ao longo da pesquisa, referente à caracterização das partículas e dos painéis produzidos.

5.1. Caracterização química do reforço

5.1.1 Curauá

Os valores médios, desvio padrão e coeficiente de variação dos componentes químicos da fibra de curauá, conforme os procedimentos experimentais apresentados no item 6 são apresentados na Tabela 3, os quais podem ser comparados com os resultados obtidos da literatura.

Tabela 3 - Composição Química da fibra de curauá e outras fibras vegetais

FIBRAS	UMI (%)	EXT (%)	CEL (%)	HOL (%)	LIG (%)	HEM (%)	CZ (%)	Referências
Curauá (<i>Ananas erectifolius</i>)	8,3±0,30	7,55±0,54	78,08±0,43	90,39±0,63	4,09±1,45	12,3	0,7±0,01	Presente pesquisa
Açaí (<i>Euterpe precatória</i>)			73,92		10,16			Quirino (2010)
Arumã (<i>Ischnosiphon polyphyllus</i>)			62,73		14,23			Marques (2010)
Curauá (<i>Ananas erectifolius</i>)	13,60 ^a	17,30 ^b	73,6 ^a	93,0 ^c	7,5 ^a	29,6 ^c	0,50 ^c	Pinto (2008) ^a Satyanarayana <i>et al.</i> (2007) ^b Castro (2010) ^c
Juta (<i>Corchorus capsularis</i>)	10,5 ^a		69,7 ^a	89,6 ^b	15,9 ^a	19,9 ^b	1,6 ^a	Razera (2003) ^a Razera (2006) ^b
Sisal (<i>Agave sisalana</i>)		9,27	59,18	83,75	6,97	24,58	1,95	Salazar e Leão (2006)

UMI: Umidade; EXT: Extrativos; CEL: Celulose; HOL: Holocelulose; LIG: Lignina; CZ: Cinzas.

Para os resultados da caracterização química, observa-se que os teores de celulose, lignina, holocelulose e cinzas obtidos estão em concordância com aqueles encontrados por

Pinto (2008) e Castro (2010). Além disso, o teor de celulose obtido para a fibra de curauá, na presente pesquisa, apresenta valor médio acima das demais fibras, conforme a tabela 4.

Considerando que o teor de celulose está diretamente relacionado às propriedades mecânicas da fibra vegetal (CARASCHI *et al.*, 2000), espera-se que esta fibra apresente um alto desempenho mecânico.

Os valores obtidos para o teor de umidade da fibra de curauá são comparados aos encontrados na literatura (Tabela 4), onde, deve-se salientar que as fibras lignocelulósicas são hidrofílicas e frequentemente trocam umidade com o ambiente, sendo assim, o teor de umidade indicado para essas fibras varia de 5% a 20%, portanto, tanto o teor de umidade da fibra de curauá estudada quanto aqueles apresentados na Tabela 4 estão na faixa citada pela literatura, conforme SAHEB e JOG (1999).

5.1.2 Resíduos de Madeiras

A composição química dos resíduos de madeira utilizados na pesquisa é apresentada na Tabela 4, com os valores médios e desvio padrão, os quais podem ser comparados com alguns resultados obtidos da literatura.

Tabela 4- Composição química dos resíduos de madeiras.

Amostras	UMI	EXT	HOL	LIG	CZ	Referências
Amapá-doce (<i>Brosimum parinarioides Duk</i>)	9,73±0,44	3,54±0,15	62,95±0,63	33,51±0,59	0,5±0,04	Presente pesquisa
Louro Inhamui (<i>Ocotea cymbarum H.BK.</i>)	8,15±1,11	5,89±1,34	67,52±1,6	27,86±0,26	0,4±0,02	Presente pesquisa
Amapá (<i>Brosimum parinarioides Duke</i>)	8,9	11,19		34,29	1,93	Lima (2012)
Louro (<i>Ocotea porosa.</i>)		7,3 ^a	65 ^a	27,7 ^a	0,05 ^b	Marchesan (2006) ^a Vale (2002) ^b

UMI: Umidade; EXT: Extrativos; HOL: Holocelulose; LIG: Lignina; CZ: Cinzas

A partir dos resultados, observa-se que os teores de lignina e holocelulose apresentam valores próximos aos encontrados na literatura, para o amapá e para o louro, respectivamente.

Para os resultados do teor de extrativos do amapá e do louro, observa-se que ambos apresentaram valores menores que o da literatura. A porcentagem de extrativos do amapá e do louro foi em média de 3,54% e de 5,89%. Segundo TRIANOSKY (2010) *apud* MARRA (1992) as madeiras com teores de extrativos altos têm grandes dificuldades na colagem, e podem influenciar no resultado de baixa resistência da junção adesiva entre as partículas. Deste modo, espera-se que devido ao teor de extrativos encontrado na presente pesquisa para ambas as espécies, os compósitos produzidos não apresentem problemas relativos à adesão.

5.2 Caracterização físico-mecânica da fibra de curauá

5.2.1 Densidade real

O resultado obtido para a densidade real da fibra de curauá é apresentado na tabela 5, conjuntamente a valores obtidos na literatura tanto para a fibra de curauá quanto para outras fibras, principalmente aquele obtido por SILVA (2010), que realizou este ensaio por meio do mesmo procedimento empregado nesta pesquisa. Nesta tabela, observa-se que as densidades apresentam valores próximos.

Tabela 5 – Densidade da fibra de curauá comparadas com outras fibras vegetais.

Fibra vegetal	Densidade (g/cm³)	Referências
Curauá	1,43±0,016	presente pesquisa
Sisal	1,5	Bledzki <i>et al.</i> (2002)
Juta	1,3 – 1,45	Zah <i>et al.</i> (2007)
Curauá	1,4	Zah <i>et al.</i> (2007)
	1,37± 0,06	Silva (2010)

5.2.2 Análise térmica

As curvas de TG/DTG para a fibra de curauá são apresentadas na Figura 58 .

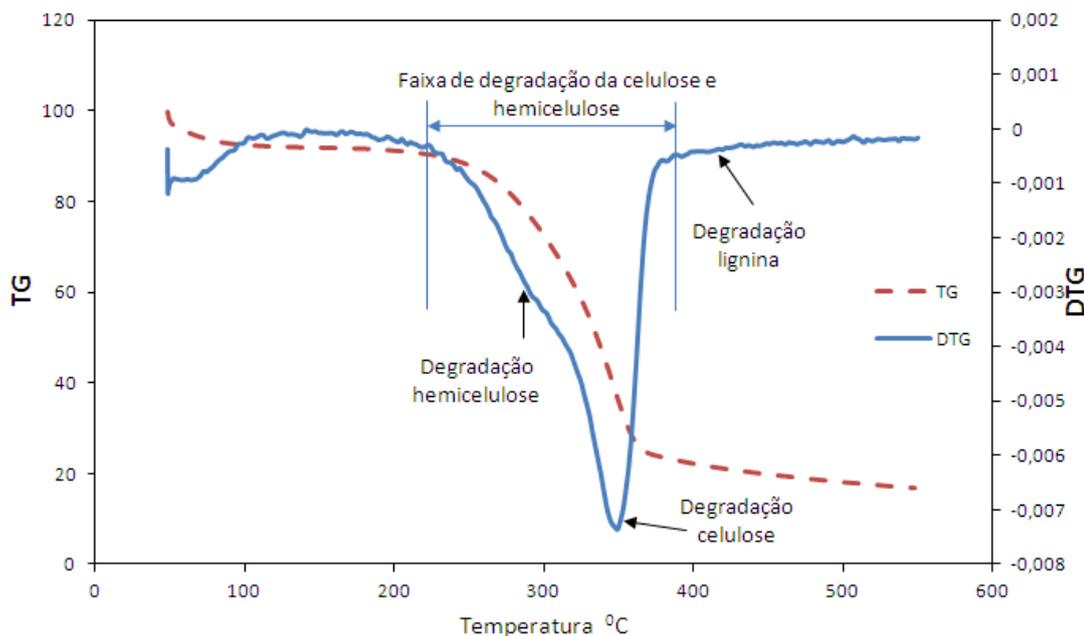


Figura 58 – Curvas de TG/DTG da fibra de curauá.

A partir da análise das curvas, verifica-se que na curva de DTG há três picos, indicando que há 3 estágios de degradação. O primeiro estágio mostra uma perda de massa de 7,9% representando a perda de água. O segundo estágio indica uma perda de massa de 34,58% (313,75°C) referente, principalmente, à degradação da hemicelulose, e o terceiro estágio é referente à degradação da celulose, ocorrendo uma perda de 77,31% (368°C). A temperatura inicial de degradação da fibra está em torno de 190°C e o resíduo final do processo foi de 16,95%. As fibras de curauá apresentaram o mesmo comportamento à degradação térmica observado por TOMCZAK *et al.* (2007) para materiais lignocelulósicos.

Segundo BERNABÉ (2008), a faixa de temperatura entre 220 – 387 °C é atribuída à degradação da celulose e da hemicelulose, com uma perda de massa de aproximadamente 70%. Essa observação confirma o que foi observado pela curva de DTG obtida para fibra de curauá na presente pesquisa, a qual apresentou uma faixa de 220 – 380 °C para a degradação dos referidos compostos.

Com base no resultado obtido, as fibras de curauá confirmam-se como potencial matéria-prima a ser utilizada como reforço em compósitos.

5.2.3 Tração direta

A curva tensão x deformação de uma fibra de curauá com tensão média é apresentado na figura 59. Os valores médios da resistência a tração direta das demais fibras são apresentados no Anexo 5. Na tabela 6 são apresentados os valores de resistência à tração e módulo de elasticidade das fibras de curauá e outras fibras vegetais.

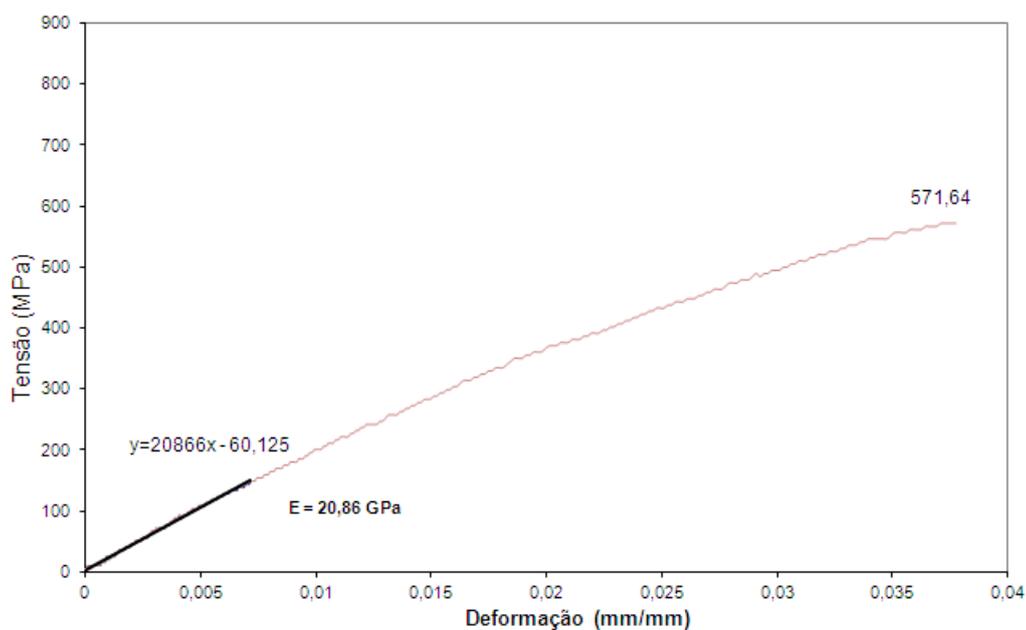


Figura 59 – Curva típica Tensão x Deformação para fibra de curauá

Tabela 6 – Características mecânicas da fibra de curauá comparada a outras fibras vegetais.

Fibra vegetal	Resistência à tração (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)	Referências
Curauá	407 - 802	11,8 – 31,56	Presente Pesquisa
Curauá	492,62	11,54	Picanço(2005)
	500-1150	11,8	Zah <i>et al.</i> (2007) <i>apud</i> Leão (1998)
Sisal	511 - 635	9,4 – 22	Bledzki <i>et al.</i> (2002)
Juta	400 - 800	10 – 30	Zah <i>et al.</i> (2007) <i>apud</i> Leão (1998)

O valor médio obtido pelas fibras de curauá para resistência foi de 571,64 MPa e para o módulo de elasticidade foi de 20,86 GPa. Nota-se que estes valores estão em concordância com os encontrados na literatura. Além disso, quando as fibras de curauá são comparadas a outras fibras vegetais, observa-se que estas apresentam valores com mesma ordem de grandeza, indicando o seu potencial uso como reforço a diferentes matrizes.

5.3 Caracterização Físico-Mecânica dos Compósitos (Painéis)

5.3.1 Densidade

Para o ensaio de densidade dos painéis foram obtidos os resultados cujos valores médios são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Resultados do ensaio de densidade dos painéis e valores médios.

Painéis	Densidade (Kg/m³)	Painéis	Densidade (Kg/m³)	Painéis	Densidade (Kg/m³)
FC1	811,91	CA1	881,79	CL1	944,47
FC2	838,78	CA2	960,26	CL2	966,45
FC3	827,53	CA3	936,66	CL3	953,09
FC4	934,53	CA4	865,02	CL4	901,26
Média	853,2	Média	910,9	Média	941,3
Desvio Padrão	55,3	Desvio Padrão	44,9	Desvio Padrão	28,2

FC- fibra de curauá; CA- curauá com resíduo de amapá-doce;
CLI- curauá com resíduo de louro Inhamui

Conforme define a norma NBR14810-2 (2006), um painel de média densidade apresenta valores no intervalo de 551 a 750 Kg/m³. Deste modo, de acordo com os valores da tabela 8, os painéis produzidos são classificados como de alta densidade. Sendo o menos denso aquele produzido somente com a fibra de curauá, e o mais denso com fibra de curauá e resíduo de louro, ver figura 60.

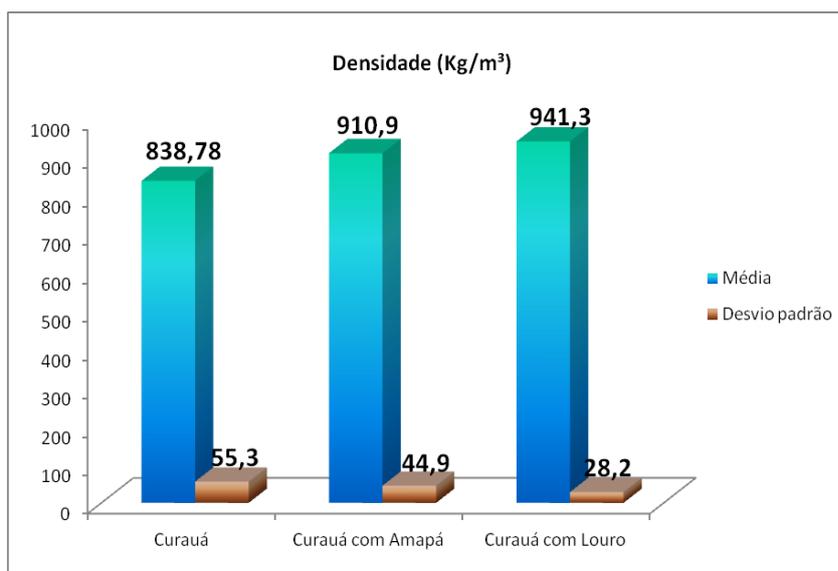


Figura 60 - Resultado comparativo da densidade aparente dos painéis ensaiados.

5.3.2 Inchamento e absorção

Os resultados do ensaio de inchamento e de absorção de água com seus valores médios e desvio padrão constam na Tabela 8 e 9, respectivamente.

Tabela 8 – Valores de Inchamento em Espessura.

Painéis	Inchamento (%)	Painéis	Inchamento (%)	Painéis	Inchamento (%)
FC1	30,12	CA1	7,31	CL1	4,97
FC2	23,60	CA2	10,43	CL2	7,11
FC3	9,01	CA3	3,63	CL3	4,43
FC4	7,74	CA4	2,32	CL4	8,28
Média	17,6	Média	5,9	Média	6,2
Desvio Padrão	11,0	Desvio Padrão	3,7	Desvio Padrão	1,8

FC- fibra de curauá; CA- curauá com resíduo de amapá-doce;
CLI- curauá com resíduo de louro-inhamui.

A norma NBR 14810-2 recomenda para os ensaios de inchamento e de absorção de água um valor máximo de 8% para 2h em painéis de 14 mm. O resultado do ensaio de inchamento apresentou um valor médio de 5,9% e 6,2% (Figura 61) para o CA e CL, respectivamente, ficando abaixo do valor máximo estabelecido pela a norma. Muito embora as amostras CA2 e CL4 tenham apresentado valores pouco superiores ao valor limite (tabela 9). Porém, o painel produzido somente com a fibra de cururuá apresentou valores superiores ao valor máximo sugerido pela norma, exceção da amostra FC4 (tabela 8).

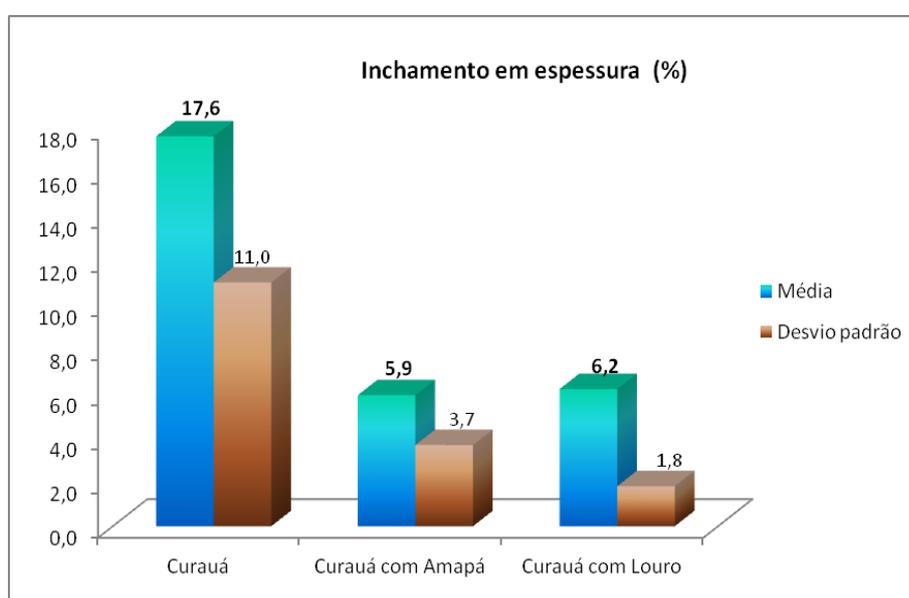


Figura 61 - Resultado comparativo de inchamento dos painéis ensaiados.

.Tabela 9 – Valores de Absorção de Água.

Painéis	Absorção (%)	Painéis	Absorção (%)	Painéis	Absorção (%)
FC1	47,27	CA1	13,78	CL1	5,92
FC2	30,09	CA2	21,55	CL2	14,38
FC3	13,06	CA3	6,70	CL3	3,86
FC4	9,91	CA4	4,84	CL4	10,84
Média	25,1	Média	11,7	Média	8,7
Desvio Padrão	17,2	Desvio Padrão	7,6	Desvio Padrão	4,8

FC- fibra de cururuá; CA- cururuá com resíduo de amapá-doce;
CL- cururuá com resíduo de louro-inhamui.

Para o ensaio de absorção de água, os valores médios obtidos para todos os painéis ficaram acima do valor máximo estabelecido pela NBR-14810-2 (2006), ver figura 62. Todas as amostras dos painéis produzidos com a fibra de curauá apresentaram valores superiores ao limite, enquanto que para os painéis produzidos com fibra e resíduos de madeiras as amostras CA3, CA4, CL1 e CL3 apresentaram valores inferiores (tabela 9), o que se conclui que a absorção da fibra foi o elemento determinante no resultado final do painel.

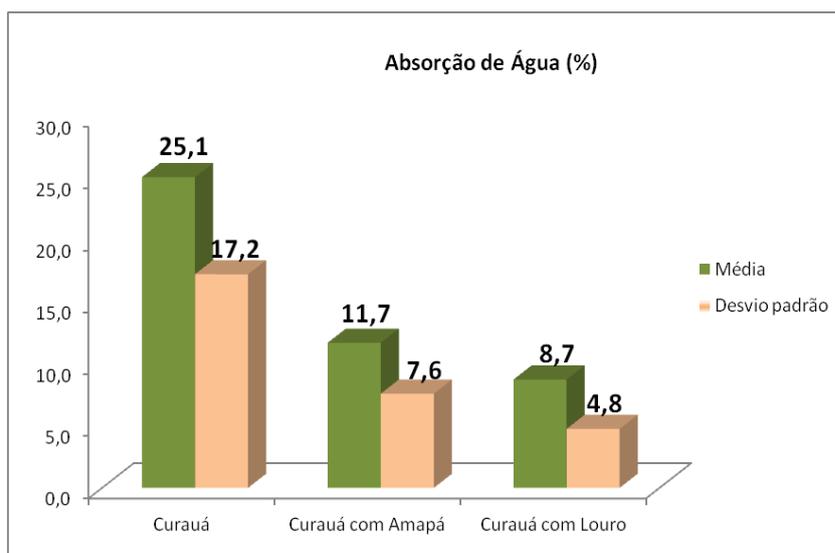


Figura 62 - Resultado comparativo de absorção de água dos painéis ensaiados.

5.3.3 Caracterização de flexão estática

A Tabela 10 apresenta os valores médios obtidos para o Módulo de Ruptura - MOR e para o Módulo de Elasticidade - MOE, referente aos doze painéis ensaiados.

Tabela 10– Resultados de valores médios para o MOR e MOE no ensaio de flexão estática.

Painéis	MOR (MPa)	MOE (MPa)	Painéis	MOR (MPa)	MOE (MPa)	Painéis	MOR (MPa)	MOE (MPa)
FC1	21,81	1585,57	CA1	23,54	3197,59	CL1	25,50	5443,30
FC2	45,51	3972,12	CA2	27,91	4171,76	CL2	16,61	1797,94
FC3	33,33	2335,86	CA3	19,50	2891,41	CL3	-	-
FC4	35,84	6323,34	CA4	26,97	2836,04	CL4	37,75	3485,70
Média	33,37	3554,23	Média	24,48	3274,20	Média	26,62	3575,65
Desvio Padrão	8,63	2097,82	Desvio Padrão	3,81	619,14	Desvio Padrão	10,61	1824,34

FC- fibra de curauá; CA- curauá com resíduo de amapá-doce;
CL- curauá com resíduo de louro-inhamui.

Para o módulo de ruptura – MOR (Figura 63), observa-se que os painéis com espessura de 10 mm apresentaram valores médios superiores ao índice mínimo de 18 MPa estabelecido pela norma NBR 14810-2 (ABNT, 2006). Os painéis produzidos somente com fibra de curauá apresentaram valor médio de 33,37 MPa, superior aos valores apresentados para os demais painéis. Deve-se ressaltar que o resultado obtido para cada uma das amostras, exceção CL2, apresentaram valores superiores ao índice mínimo.

Conforme os valores estabelecidos pela norma ANSI (1993), tabela 12, e os valores médios obtidos tanto para o MOR quanto para o MOE, os painéis produzidos na presente pesquisa podem ser classificados com H3, sendo indicado para uso industrial e comercial.

Os valores de MOR e MOE dos painéis em estudo foram superiores aos obtidos por Quirino (2010), que foram de 15,23 MPa e 997,4 MPa, respectivamente, a qual utilizou o mesmo método de produção de painel empregado nesta pesquisa, porém com fibra da semente do açaí, o que demonstra que este processo de produção foi viável e que a resina bicomponente à base de óleo de mamona se afirma como um adesivo promissor para fabricação de painéis de partículas com fibra de curauá, fibra de curauá com amapá-doce e fibra de curauá com louro inhamuí.

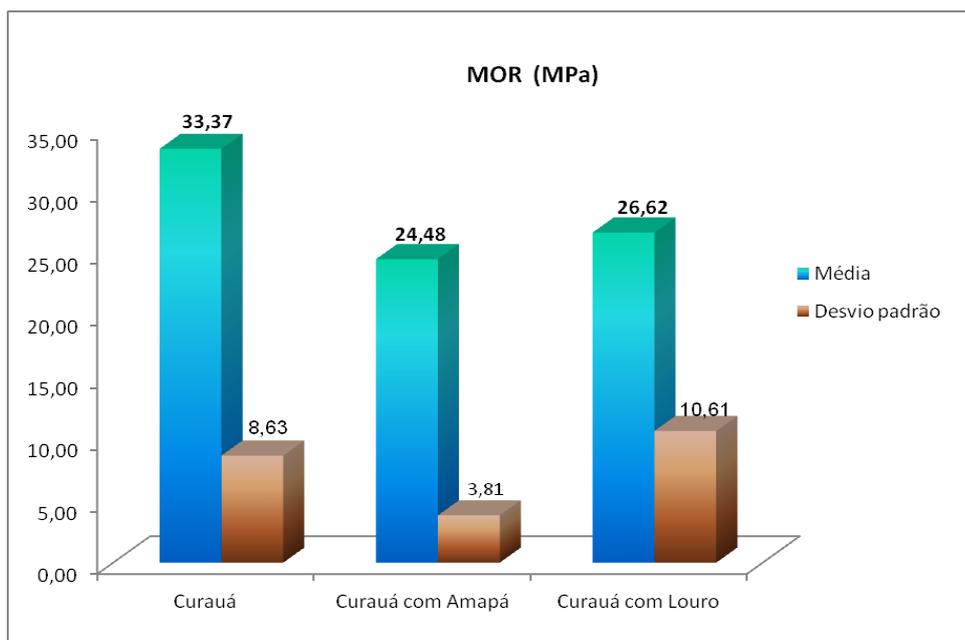


Figura 63 - Resultado comparativo do MOR dos painéis ensaiados.

Para o Módulo de Elasticidade – MOE (Figuras 64), a norma ANSI A208.1 (1993), indica faixas de aplicação para painéis, em função das propriedades físico-mecânicas, conforme tabela 11.

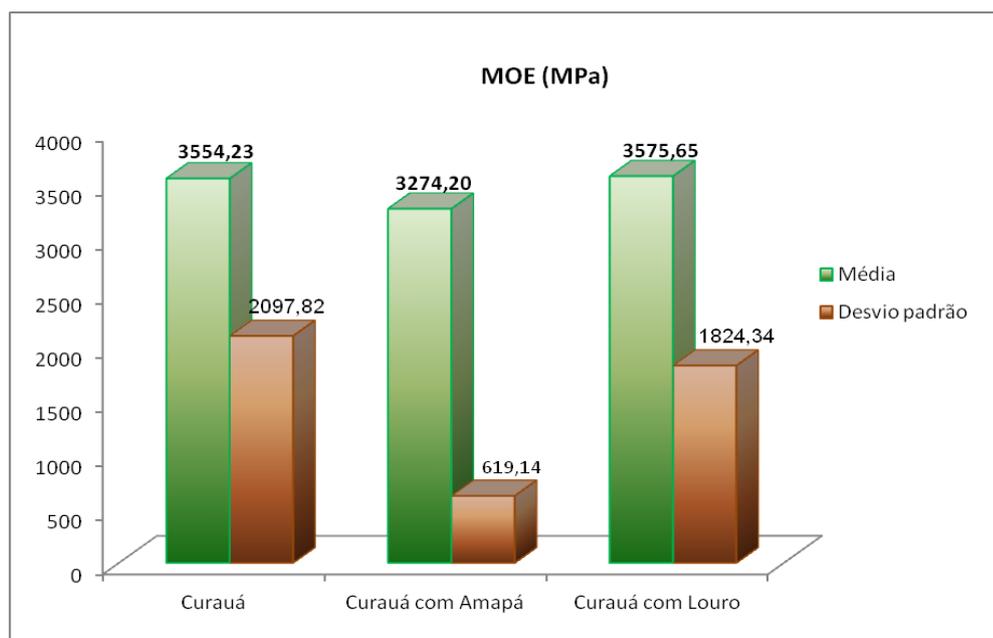


Figura 64 - Resultado comparativo do MOE dos painéis ensaiados.

Para o valor do módulo de elasticidade (MOE) dos painéis em estudo observa-se que todos os painéis alcançaram valores de alta densidade. Nota-se que os valores ficaram acima de 2750 Mpa, que é o mínimo recomendado pela norma A208.1 (ANSI,1993).

Os resultados obtidos para MOE, foi superior aos obtidos por Quirino (2010) e Lima (2012), são concernentes com a norma, ao qual os valores para painéis aglomerados com 100% fibra de curauá foi de 3554,23 MPa, resultando em valores satisfatórios.

Tabela 11: Classificação, valores mínimos e uso recomendado de painéis pela norma ANSI.

Classificação Categorias Densidade	Categorias	Densidade (g/cm³)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	Uso recomendado
Baixa densidade	LD1	< 0,64	3,00	550	Enchimento de portas
Baixa densidade	LD2	< 0,64	5,00	1025	Enchimento de portas
Média densidade	M1	0,64 a 0,80	11,00	1725	Comercial
Média densidade	MS	0,64 a 0,80	12,50	1900	Comercial
Média densidade	M2	0,64 a 0,80	14,50	2250	Industrial
Média densidade	M3	0,64 a 0,80	16,50	2750	Industrial
Alta densidade	H1	0,80	16,50	2400	Industrial de alta densidade
Alta densidade	H2	0,80	20,50	2400	Industrial de alta densidade
Alta densidade	H3	0,80	23,50	2750	Industrial de alta densidade

LD- Low density (baixa densidade); M- Medium density (média densidade);H- High density (alta densidade) Fonte: Adaptado da norma ANSI A208.1 (1993).

5.3.4 Arrancamento de parafuso de superfície

Os valores e desvio padrão obtidos do ensaio de arrancamento de parafuso para todos os corpos-de-prova são mostrados na Tabela 12 e uma representação geral dos valores médios são apresentados na figura 65.

Tabela 12 – Ensaio de arrancamento de parafuso de superfície com os valores médios dos painéis.

Arrancamento de Parafuso (SUPERFÍCIE)					
Painéis	Carga lida (N)	Painéis	Carga lida (N)	Painéis	Carga lida (N)
FC1	375	CA1	1050,0	CL1	1875,0
FC2	675	CA2	1050,0	CL2	1250,0
FC3	750	CA3	1,125,0	CL3	800,0
FC4	850	CA4	1275,0	CL4	1700,0
Média	662,5	Média	1125,0	Média	1046,3
Desvio Padrão	204,6	Desvio Padrão	106,1	Desvio Padrão	482,3

FC- fibra de curauá; CA- curauá com resíduo de amapá-doce;
CL- curauá com resíduo de louro-inhamui.

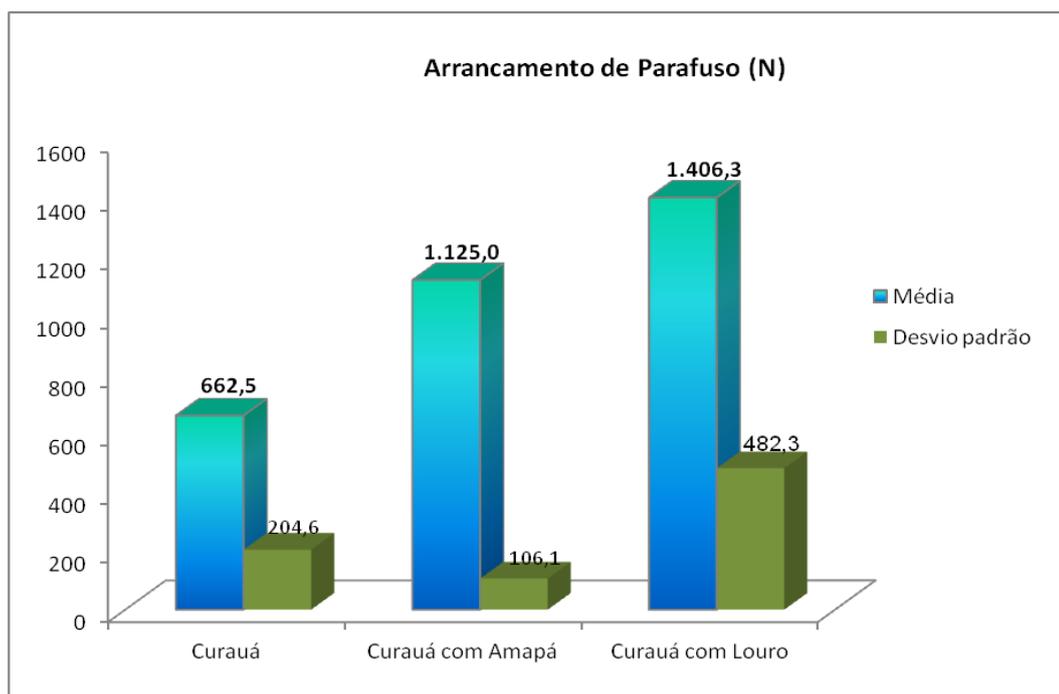


Figura 65 - Resultado comparativo do arrancamento de parafusos dos painéis ensaiados.

A norma NBR 14810-2 (2006) especifica um valor mínimo somente para placa de aglomerado com espessura superior a 14 mm, porém como nesta pesquisa os painéis foram produzidos com espessura de 10 mm, adotou-se para efeito comparativo o valor mínimo

especificado para o painel de 14 mm (1.020 N). Desta forma, observa-se que somente o painel com fibra de curauá (662,5 N) não atendeu as especificações.

5.3.5 Tração perpendicular (Adesão Interna)

Os valores e desvio padrão obtidos do ensaio de adesão interna para todos os corpos-de-prova são mostrados na Tabela 13 e uma representação geral dos valores médios são apresentados na figura 66. Os demais valores como força e área são apresentados no anexo 6.

Tabela 13 – Ensaio de tração perpendicular (Adesão Interna).

Painel	Tração Perpendicular (MPa)	Painel	Tração Perpendicular (MPa)	Painel	Tração Perpendicular (MPa)
FC1	0,449	CA1	0,887	CL1	0,674
FC2	0,466	CA2	0,567	CL2	1,662
FC3	0,901	CA3	1,431	CL3	1,655
FC4	1,498	CA4	0,861	CL4	0,786
Média	0,83	Média	0,94	Média	1,19
Desvio padrão	0,49	Desvio padrão	0,36	Desvio padrão	0,59

FC- fibra de curauá; CA- curauá com resíduo de amapá-doce;
CL- curauá com resíduo de louro-inhamui.

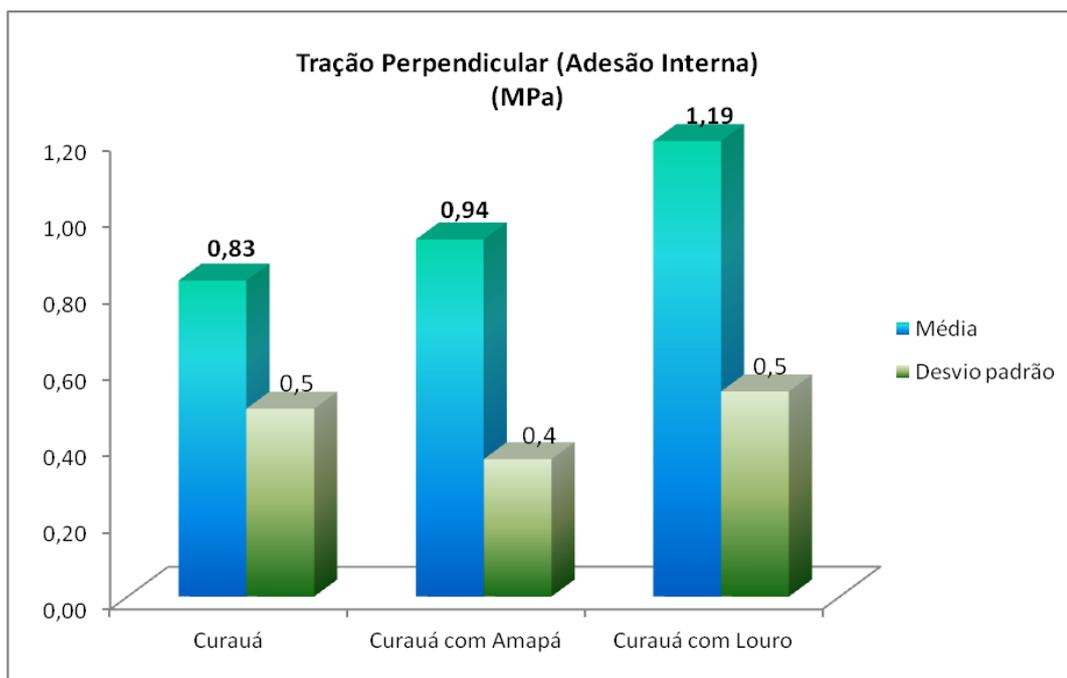


Figura 66 - Resultado comparativo de tração perpendicular (Adesão Interna).

Com relação à adesão interna observa-se na Tabela 14 que os painéis em estudo apresentaram valores superiores àqueles recomendados pela norma NBR 14810 (ABNT, 2006), ficando acima de 0,40 MPa (Figura 65). Salientando que o painel com resíduo de louro foi o que apresentou melhor resultado (1,19 MPa) para este ensaio.

6. CONCLUSÕES FINAIS

Na presente pesquisa foram inicialmente realizados ensaios de caracterização física, química e mecânica da fibra de curauá e ensaios químicos dos resíduos de madeiras de duas espécies amazônicas (amapá-doce e louro-inhamuí), através dos quais foi possível determinar algumas características importantes.

Observou-se que a densidade real da fibra de curauá foi de 1,43 g/cm³, sendo o valor médio de resistência e módulo de elasticidade de 571,64 MPa e 20,86 GPa, respectivamente. Tais valores são próximos àqueles obtidos por outros autores para fibras com as mesmas características morfológicas.

Com relação às análises químicas, destaca-se o teor de celulose obtido para a fibra de curauá (78,08%), que ficou acima dos valores obtidos para outras fibras: Açai (73,9%) e Juta (69,7%), o que indica um potencial emprego na produção de compósitos. Além disso, os resíduos de madeira (amapá e louro) apresentaram valores médios para os teores de lignina e de holocelulose próximos aos obtidos por outros autores para as mesmas espécies.

No que diz respeito a caracterização dos painéis desenvolvidos, estes de acordo com a sua densidade são classificados em painéis de alta densidade, conforme definido pelas normas NBR14810-2 (2006) e ANSI (1993). Observa-se ainda, com relação aos ensaios físicos de inchamento e absorção, que os melhores resultados foram obtidos para o painel produzido com fibra de curauá e resíduo de louro, ressaltando-se que de acordo com a NBR 14810-2 (2006) o inchamento ficou abaixo do estabelecido e a absorção próxima ao limite máximo.

Levando-se em consideração a caracterização mecânica, observou-se que todos os painéis produzidos apresentaram MOR superior ao estabelecido pela NBR 14810-2 (18 MPa), sendo que aqueles produzidos somente com fibras de curauá foram os que apresentaram melhores resultados (33,37 MPa) em relação aos produzidos com fibras e resíduos de madeira (amapá: 24,48 MPa; louro: 26,62 MPa). Acrescenta-se que para os ensaios de arrancamento

de parafuso e adesão interna os painéis apresentaram valores superiores ao mínimo definido pela NBR 14810-2 (1.020 N; 0,40 MPa), exceção da placa produzida somente com fibra de curauá, que apresentou valor inferior para o ensaio de arrancamento de parafuso (662,5 N). Além do mais, considerando as especificações da ANSI (1993), em relação aos valores mínimos de MOE e MOR, os painéis produzidos são classificados como H3, sendo indicado para o uso industrial e comercial.

O processo empregado na presente pesquisa para fabricação de painéis particulados com fibras de curauá é simples e facilmente aplicável industrialmente, proporcionando o aproveitamento de resíduos de madeira em grandes volumes, os quais gerados nas indústrias madeireiras, sendo uma opção com potencial uso na fabricação de painéis industriais.

7. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Recomenda-se para pesquisas futuras:

- A produção de um painel com espessura de 14 mm para comparar os resultados com painel de espessura 10 mm;
- Ensaios com diferentes proporções de resíduo e resina, de tal forma que possa ser melhorado as características físicas dos painéis, principalmente no que se refere a absorção;
- Complementar a caracterização dos resíduos de madeira, realizando ensaios físicos e mecânicos;
- Ensaios para avaliação do conforto térmico e acústico dos painéis quando aplicados na construção civil;
- Estudo da durabilidade dos painéis por meio de ensaio de envelhecimento acelerado;
- Estudar outras opções de resíduos madeireiros.

8. REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14810-1 – Chapas de madeira aglomerada, Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

_____. NBR 14810-2 – Chapas de madeira aglomerada, Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

_____. NBR 14810-3 – Chapas de madeira aglomerada, Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

_____. NBR 7190/97 - Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro: ABNT. 1997.

_____. NBR 6118 - Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE . ANSI A208.1-1999: mat-formed wood particleboard: Specification. Gaithersburg: National Particleboard Association, 1993. p.1-9.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIAL ASTM 1106-56 – determinar o teor de lignina.

_____. D 1107-56 –Determinar a solubilidade em Etanol e Tolueno.

_____. D 1105 – Determinar a Solubilidade em Etanol

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE – ABIMCI. Artigo Técnico nº 7 – Adesivos. Fórum Nacional das Atividades de Base Florestal. Agosto de 2003.

ABIPA - Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira. Disponível em: <http://www.abipa.org.br/deOlhoNoMercado.php> (acesso: 03/01/2012).

AQUINO, R.C.M.P., Desenvolvimento de Compósitos de Fibras de Piaçava da Espécie *Attalea funifera* Mart e Matriz de Resina Poliéster, Tese de D.Sc., UENF, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil, 2005.

ARAÚJO, J.R. Compósito de Polietileno de Alta Densidade Reforçado com fibra de curauá obtidos por Extrusão e Injeção. Dissertação de mestrado em Química Inorgânica da UNICAMP, São Paulo, 2009

ASHBY, M.F., JONES, D.R.H., Engenharia de Materiais Volume II, 3ª edição, Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

ASKELAND, D. R.; PHULÉ, P.P. Ciência e Engenharia dos Materiais. São Paulo, 2008 Cengage Learning.

AZAMBUJA, M. A. Avaliação do adesivo poliuretano à base de mamona para fabricação de madeira laminada colada (MLC). Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, 2002.

BERGER, N. Agronomische Optimierung des Anbaus von curauá (*Ananas lucidus* Miller) in der östlichen Amazonas Region von Brasilien. Hohenheim, 2003. Relatório de conclusão do projeto de pesquisa em parceria com a Universidade de Hohenheim, Daimler Chrysler AG e Daimler Chrysler do Brasil, no período de abr/1998 a abr/2001.

BERGER, N.; KROSCHEL, J.; HILGER, T.E. Of fertilization on the fiber production of curauá (*Ananas lucidus* Miller) in the eastern Amazon Region of Brazil. In: Deustcher Tropentag – Conference on International Agricultural Research for Development, Outubro, 9/11/2001, Bonn/Alemanha.

BERNABÉ, G. A. Extração e identificação de materiais lignocelulósicos presentes durante o processo de compostagem. 2008. 115 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2008.

BLEDZKI, A.K.; GASSAN, J. Composites reinforced with cellulose based fibres. Progress in Polymer Science, 24, p.221-274, 1999.

BLEDZKI, A.K.; V.E. and O. Faruk. Natural and Wood fibre Reinforcement in Polymers. Vol.13 n°8 – Editor: Sally Humphreys, Rapra Technology Limited. 2002.

BROWING, B. L. The chemistry of wood. New York: Interscience, 1963. 574 p.

CALLISTER, JR.; William D. Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. New York, EUA, 2000 LTC Editora S.A.

CARASCHI, J.C.; LEÃO, A.L. Characterization of curauá fiber. Molecular Crystal na liquid Crystals, 353, pp. 149-152, 2000.

CARNOS, B. Madeira Aglomerada: Conceito e Utilização. 1ª Edição SAGRA, 1988- Porto Alegre-RS.

CASTRO, D. O. C.; Biocompósitos a partir de Biopolietileno de alta densidade reforçado por Fibras de curauá. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo-USP/São Carlos-SP, 2010.

CEAPAC – Centro de Apoio a Projetos de Ação Comunitária: CURAUÁ Produção Agroecológica, Beneficiamento, Comercialização, Santarém – Pará, 2010.

CEPLAC (Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira), 2012. Disponível em: <http://www.ceplac.gov.br/radar/piacava.htm> (Acesso: 12/09/2012).

CLARO NETO, S. Caracterização físicos-químicas de um poliuretano derivado de óleo de mamona utilizado para implantes ósseos. São Carlos, 1997. 127f. Tese (Doutorado) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1997.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento) Conjuntura mensal Ministério da Agricultura, pecuária e abastecimento, 2012. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_05_04_17_25_30_piacavaabril2012.pdf (Acesso 12/09/2012).

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento) Conjuntura mensal Ministério da Agricultura, pecuária e abastecimento, 2012. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/busca.php?filtro=> (Acesso 12/09/2012).

CORDEIRO, I. C.; SILVA, I. M. Avaliação econômico-financeira da cultura de curauá (Ananas Comosus Var. Erectifolius (L. B. Smith) Coppel & Leal: Um estudo de caso no Município de Santo Antônio do Tauá, Estado do Pará. Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 2008.

COSIBRA - Companhia Sisal do Brasil, Disponível em: http://www.cosibra.com.br/materia_prima.php – (Acesso: 11/12/2011).

COSTA, A. Apostila Anatomia da Madeira, 2011 – Disponível em: <http://www.joinville.udesc.br/sbs/professores/arlando/materiais/APOSTILANATOMIA1.pdf>. (Acesso em: 05/12/2012)

D'ALMEIDA, J. R. M.; MONTEIRO, S. N.; AQUINO, R. C. M. P., LOPES, F. P.D.; CARVALHO, E. A. C. Comportamento Mecânico e Características Estruturais de Compósitos Poliméricos Reforçados com Fibras Contínuas e Alinhadas de curauá. Revista Matéria, 2006. vol. 11, nº 3, p. 197 – 203.

DIAS, F. M. Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira compensada e aglomerada. Tese (Doutorado) – Área de Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade de São Paulo, 2005.

DUTRA, R. I. J. P.; NASCIMENTO, S. M., Resíduos de indústria madeireira: caracterização, consequências sobre o meio ambiente e opções de uso. Revista científica eletrônica de engenharia florestal – edição número 5, issn 1678-3867, 2005.

FAGURY, R. V. G. Avaliação de fibras naturais para a fabricação de compósitos: açaí, coco e juta. Dissertação de mestrado de Engenharia Mecânica. Belém, 2005.

FERMOSELLI K.K.G, SPINACÉ M.A.S, LAMBERT C.S, DE PAOLI M.A. Tratamento superficial de fibras de curauá para reforço de compósitos com polímeros 7º Congresso Brasileiro de Polímeros, Belo Horizonte, 2003, Anais pág. 220 – 221.

FIORELLI, J. Utilização de fibras de carbono e de fibras de vidro para reforço de vigas de madeira. 2002. 168f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Escola

de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

IORELLI, J., LAHAR, F. A. R., NASCIMENTO, M. F., SAVASTANO JR. H., ROSSIGNOLO, J. A. Painéis de partículas à base de bagaço de cana e resina de mamona – produção e propriedades. *Acta Scientiarum. Technology - Maringá*, v. 33, n. 4, p. 401-406, 2011.

FOLHES, R.T. “Cenários de Mudanças de Uso da terra na Amazônia: Explorando uma abordagem participativa e multi-escala no PAE-Lago Grande, Em Santarém-Pará”. Dissertação (Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emilio Goeldi e EMBRAPA), Belém, 2010.

FONSECA, A. S. “Caracterização tecnológica das fibras do estirpe de *Desmoncus polyacanthos*.” Dissertação (Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Madeira como Matéria-Prima) – Lavras-MG, UFLA, 2012.

FONSECA, C. B.; COSTA, G.F.; DIAS, F. M. “Reforço com Fibras de Vidro em Painéis Compensados – Uma Alternativa Ecológica”. VII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. Disponível em: <http://www.aedb.br/seget/artigos11/45214727.pdf> (Acesado: 06/12/2012).

FONTES, P. J. P., “Auto-Suficiência Energética em Serraria de *Pinus* e Aproveitamento dos Resíduos”, dissertação de Mestrado do curso de Pós- Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, Curitiba/PR, 1994.

FRANCO, S.I.S; “Proposta de Atribuição de Propriedades Mecânicas a Elementos Estruturais de Madeira por Inspeção visual In Situ”, 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) –Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – Porto-Portugal.

FRAXE, T. J. P., PEREIRA, H. S., WITKOSKI, A. C. Comunidades Ribeirinhas Amazônicas: Modos de vida e uso dos recursos naturais, Projeto PIATAM, Ed. EDUA Vol. 2, 2007.

GHAVAMI, K.; SALES, A. T. C. Materiais não-convencionais usando fibras vegetais em compósitos cimentícios. In: Inter American Conference on Non-Conventional Materials and Technologies in Ecological and Sustainable Construction (IAC-NOCMAT – Rio). Rio de Janeiro [s.n.], 2005. p. 1-15.

GOMES, A., MATSUO, T., GODA, K., OHGI, J., Development and effect of alkali treatment on tensile properties of curaua fiber green composites, *Composites: Part A* 38 -1811–1820. 2007.

HOREAU, W.; TRINDADE, W.G.; SIEGMUND, B.; CASTELLAN, A.; FROLLINI, E. Sugar cane bagasse and curau lignins oxidized by chlorine dioxide and reacted with furfuryl alcohol: characterizations and stability. *Polymer Degradation and Stability*, 86 (93), pp. 567, 2004.

IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária, Produção Agrícola Municipal 2004. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pamclo/2004/comentario.pdf> (Acesso: 02/02/2012).

INPA. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Tecnologia em Resíduos de Madeira. 2012. Disponível em: http://www.inpa.gov.br/noticias/noticia_sгно2.php?codigo=2391 (Acesso: 14/09/2012).

INPA. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Tecnologia em Resíduos de Madeira. Disponível em: www.inpa.gov.br. Acesso em out/2003.

INSTITUTO DE PESQUISAS E EXPERIMENTAÇÃO AGROPECUÁRIAS DO NORTE- IPEAN. Relatório dos estudos realizados em *Anacardium giganteum*, *Humiria floribunda* e *Parahancornia amapa*. Belém: IPEAN, [19--]. não paginado.

IWAKIRI, S.; PRATA, José G. Utilização da Madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii* na Produção de Painéis de Cimento-Madeira. *Cerne*, Lavras, v. 14, n. 1, p. 68-74, jan./mar. 2008.

IWAKIRI, S. Painéis de madeira reconstituída. FUPPEF. 247p. Curitiba, 2005.

IWAKIRI, S. Painéis de Madeira Reconstituída. Curitiba: Editado pela FUPEF (Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná), 2005.

IWAKIRI, S.; ANDRADE, A. S.; JUNIOR, A. A. C.; CHIPANSKI, E. R.; PRATA, J. G., ADRIAZOLA, M. K. O. Produção de painéis aglomerados de alta densificação com uso de resina melamina-uréia-formaldeído, Cerne, Lavras, v. 11, n. 4, p. 323-328, out/dez. 2005.

JESUS, J. M. H. Estudo do adesivo poliuretano à base de mamona em madeira laminada colada (MLCI. 106f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

KENNEDY, F.; PHILLIPS, G. O.; WILLIAMS, E. P. A. Wood and celluloses: industrial utilization, biotechnology, structure and properties, ellis horwood. Chichester: E. Horwood, 1987. 1130 p.

KLOCK, U.; MUÑIZ, G. I. B.; HERNANDEZ, J. A.; ANDRADE, A. S. Química da Madeira. 3a Edição revisada. Curitiba: Universidade Federal do Paraná – Setor de Ciências Agrárias – Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, 2005.

LEÃO, Alcides L., CARASCH, José C. And TAN, H. Curauá fiber – A tropical natural fibers from Amazon potencial and applications in composites. In: Natural Polymer and Agrofibers Composites, São Carlos, Brasil, 2000.

LEÃO, A.L; ROWELL, R.; TAVARES, N. Applications of natural fibres in automobile industry in Brazil e thermoforming process. In: Prasad PN, Mark JE, Kandil SH, Kafafi ZH, editors. Science and technology of polymers and advanced materials e emerging technologies and business opportunities. New York & London: Plenum Press; 1998. p. 755e61.

LEVY NETO, F.; PARDINI, L.C. Compósitos Estruturais – Ciência e Tecnologia. Editora Edgard Blucher Ltda, 2006.

LOUREIRO, A. A.; SILVA, M. F. da; ALENCAR, J. da C. “Essências Madeireiras da Amazônia” Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia – INPA, Volume I, Manaus, 1979.

MACÊDO, A. N.; RAMOS, M. A.; FERNANDES, Michelle C.O., BENTES, Jennefer L., Espécies de Madeira da Região Amazônica possibilidade de Aplicação na tecnologia da madeira laminada colada. XI ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, Londrina-Paraná, 2008.

MAIA, J.G.S.; ZOGHBI, M.G.B.; ANDRADE, E.H.A. Plantas aromáticas na Amazônia e seus óleos essenciais. Belém: MPEG, 2001. 173p.

MARCHESAN, R.; MATTOS, P. P.; BORTOLI, C.; ROSOT, N. C.; Caracterização Física, Química e Anatômica da Madeira de *Ocotea porosa* (Nees & C. Mart.) Barroso. Comunicado Técnico 161 Embrapa Florestas, 2006.

MEDINA, J. C.; PLANTAS FIBROSAS DA FLORA MUNDIAL, Campinas/SP, 1959.

MERCADANTE, C.; FAVARETTO, J. A. “Biologia”, volume único. 1ª ed. – São Paulo: Moderna, 1999.

MILANESE, A. C.; “Caracterização de Compósitos de Matrizes Poliméricas Reforçadas com fibras de sisal e de vidro”. Dissertação de Engenharia Mecânica da UNIP de Guaratingetá, São Paulo, 2008.

MOURA, M.F.S.F.; MORAIS, A. B.; MAGALHÃES, A.G.; “Materiais Compósitos - materiais, fabrico e comportamento mecânico” Editora Publindústria, Ed. 1. Porto, 2005.

MORASSI, J.O. Fibras naturais: aspectos gerais e aplicação na indústria automobilística. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 11., 1994, São Paulo. Anais. São Paulo: ABPol: ABM: ABC, 1994. p.1259-1262.

NASCIMENTO, C. C.; GARCIA, J. N.; DIÁZ, M. P. Agrupamento de espécies madeireiras da Amazônia em função da densidade básica e propriedades mecânicas. In: Madera y Bosques. Xalapa – México, 1997. Año/vol. 3, número 001. p. 33-52.

NEIS, A. M. “Estudo da Sustentabilidade Ambiental na Obtenção de Fibras e Mantas de Sisal e curauá”. Dissertação de Engenharia e Produção da UNIP, São Paulo, 2008.

NETO, F. L.; PARDINI, L. C. *Compósitos Estruturais: Ciência e Tecnologia*, 1ª Edição, Editora Edgard Blucher. São Paulo, 2006.

OASHI, M. C. G. *Estudo da Cadeia Produtiva como Subsídio para Pesquisa e Desenvolvimento do Agronegócio do Sisal na Paraíba*. Florianópolis: UFSC, 1999. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia da Produção), 1999.

OLIVEIRA, M. L. S. “Indicadores da Qualidade de Solos Sob Diferentes Sistemas de Cultivo com as Espécies Paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Huber ex Ducke) e curauá (*Ananas comosus* var. *erectifolius* [L. B. Smith] Coppens & Leal) No Município de Aurora do Pará (PA)”. Tese de Doutorado em Ciência Agrárias – Universidade Federal Rural da Amazônia e Embrapa – Amazônia Oriental – Belém, 2009.

ORFÃO, J. J. M.; FIGUEIREDO, J. L. A simplified method for determination of lignocellulosic materials pyrolysis kinetics from isothermal thermogravimetric experiments. *Termochimica Acta*, Amsterdam, n. 380, p. 67-78, 2001.

ÓRFÃO, J. J. M.; ANTUNES, F. J. A.; FIGUEIREDO, J. L. Pyrolysis kinetics of lignocellulosic materials-three independent reactions model. *Fuel*, v. 78, p. 349-358, 1999.

PAIVA, A. M. *Agricultura Camponesa e Desenvolvimento Rural/Local: Um Estudo da Organização da Produção de Juta e Malva na Várzea do Município de Manacapuru*. Dissertação Desenvolvimento Regional da Universidade Federal do Amazonas, 133 f., 2009.

PALHETA, R. A.; TEIXEIRA, L. S.; TEIXEIRA, M. F. S. Atividade de protease, qualidade microbiológica e atividade antioxidante do látex de *Brosimum parinarioides*. In: REUNIÃO ANUAL SBPC, 61, 2009, Manaus. *Amazônia: Ciência e Cultura*, 2009. 40p.

PEMATEC. Disponível em: <<http://www.pematec.com.br/curaua.htm>> Acesso em: Dez 2011.

PFEIL, W., PFEIL, M. *Estruturas de Madeira*, 6ª Edição, Editora LTC, Rio de Janeiro, 2003.

PICANÇO, M. S. Compósitos cimentícios reforçados com fibras de curauá. Rio de Janeiro, 2005, 101p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio).

PIMENTEL, L. L.; SAVASTANO, H. Jr. Viabilidade do aproveitamento de resíduos de fibra vegetal para fins de obtenção de material de construção. In: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande [s.n.], 2000. vol. 4, nº 1, p. 103-110.

PINTO, A. R. A. G. Fibra de curauá e Sisal como Reforço em Matrizes de Solo. Dissertação de engenharia Civil da PUC, Rio de Janeiro, 2008.

PRATA, J. G. “Desempenho de Um Sistema de Qualidade em uma fábrica de painéis compensados”. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, 2006.

PROJETO: “Extrativismo Não-Madeireiro e Desenvolvimento Sustentável na Amazônia (ITTO – PD 31/99 Ver. 3 (I)). BANCO DE DADOS “NON WOOD”

QUIRINO, M. G. “Estudo de matriz polimérica produzida com resina natural e fibra da semente de açaí (*Euterpe precatória*)”. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Amazonas. Manaus, 2010.

RAMOS, L. M. A. Características anatômicas do lenho juvenil e adulto da Madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. 2011. 28 p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2011.

RAZERA, I.A.T. “Fibras Lignocelulósicas como agente de reforço de compósitos de matriz fenólica e lignofenólica.” Tese (Doutorado em Química) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo-USP/São Carlos-SP, 2006.

RAZERA, I.A.T., FROLLINI E. Compósitos fenólicos reforçados com fibras de Juta tratadas e não Tratadas: Propriedades de Fibras e de Compósitos. Anais do 7º Congresso Brasileiro de Polímeros, 2003.

REMADE - Revista da Madeira - Brique de resíduos Agrofloreais da Amazônia, edição Nº125, 2010. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeiramateria.php?num=1503&subject=Briquetes&title=Briquete%20de%20res%EDduos%20agrofloreais%20da%20amaz%F4nia> (Acesso: 13/09/2012).

REVILLA, J. Plantas úteis da Bacia Amazônica. Manaus: INPA/SEBRAE, 2002. 2v.

RICHTER, H. G.; DALLWITZ, M. J. Madeiras Comerciais – Brosimum spp. (Amapá), 2009. Disponível em: <http://delta-intkey.com/wood/pt/www/morbr-am.htm> (Acesso: 13/02/2013).

SABBÁ, Jéssica. O Quadro de Crise do Sistema Juta/Malva e suas possíveis Alternativas de Soerguimento. Manaus: UFAM, 1993. 6, 14 p.

SAHEB, D. N.; JOG, J. P. Natural Fiber Polymer Composites: A Review, *Advances in Polymer Technology*, v.18, n.4, p.351-363, 1999.

SALAZAR, V. L. P.; LEÃO, A. L. Biodegradação das fibras de coco e de sisal aplicadas na indústria automotiva. *Revista Energia na Agricultura*, Botucatu, v. 21, n. 2, p. 99 -133, 2006.

SAMPAIO, P.T.B.; CLEMENT, C.R. Biodiversidade amazônica: exemplos e estratégias de utilização. Manaus: Programa de Desenvolvimento Empresarial e Tecnológico, 2000. p.151-157.

SATYANARAYANA, K. G.; GUIMARÃES, J. L.; WYPYCH F. Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. *Composites*, Surrey, n. 38, p. 1694–1709, 2007.

SAVASTANO Jr., H. Sistemas de cobertura para construções de baixo custo: uso de fibras vegetais e de outros resíduos agroindustriais. *Coletânea Habitaré – Vol. 4 – utilização de Resíduos na Construção habitacional*. FINEP – Financiadora de Estudos e projetos. 271p. Porto Alegre – RS, 2003.

SHACKELFORD, J. F., *Ciências dos Materiais*, 6ª edição, Editora: Pearson Prentice Hall, São Paulo, 2008.

SILVA, R. N. P., “Curauá: da Sabedoria Indígena a importância do uso das fibras Vegetais” Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Rural da Amazônia – Belém-Pará, 2006.

SILVA, H. S. P., “Desenvolvimento de Compósitos Poliméricos com fibra de curauá e híbridos com fibras de vidro” Dissertação (mestrado em engenharia) – Departamento de Materiais da Escola de Engenharia da UFRGS, Universidade de Federal do Rio Grande do Sul/RS, 2010.

SILVA, R.; HARAGUCHI, S. K; MUNIZ, E. C.; RUBIRA, A. F. “Aplicações de fibras lignocelulósicas na química de polímeros e em compósitos” Quím. Nova vol.32 no.3 São Paulo 2009.

SILVA, F.A., Durabilidade e Propriedades Mecânicas de Compósitos Cimentícios Reforçados por Fibras de Sisal. D.Sc., UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2009.

SILVA, F. S. M. DA. Sustentabilidade agroecológica da cultura de sisal. Salvador: UNEB/UNIBAHIA, 2004. Dissertação (Mestrado em Gestão Integrada das Organizações), Unidade Baiana de Ensino, Pesquisa e Extensão em convênio com a Universidade do Estado da Bahia, 2004.

SPINACÉ, M. A. S.; JANEIRO, L. G.; BERNARDINO, F. C.; GROSSI, T. A.; PAOLI, M. A. “Poliiolefinas Reforçadas com Fibras Vegetais Curtas: Sisal × Curauá” Polímeros, vol. 20, nº 10, 10/10/2010.

TAPPI - TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY- T 204 om-97 - Solvent Extractives of wood and pulp: TAPPI, Atlanta,1997. 4p.

_____. T 211 om-02 - Ash in wood, pulp, paper andpaperboard: combustion at 525°: TAPPI, Atlanta,2002. 5p.

_____. T 222 om-02 - Acid-insoluble lignina in wood and pulp. TAPPI, Atlanta, 2002. 5p.

TOMCZAK, F. “Estudos sobre a estrutura e propriedades de fibras de coco e curauá do Brasil.” Tese de Doutorado do curso de Eng. e Ciência dos Materiais, Programa de Pós-

Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais - PIPE. Universidade Federal do Paraná, 2010.

TOMCZAK, F., SATYANARAYANA, K.G., SYDENSTRICKER, T.H.D., “Studies on lignocellulosic fibers of Brazil: Part III – Morphology and properties of Brazilian curauá fibers”. Part A 38 (2007).

TRIGUEIRO, A. Meio Ambiente no Século 21: 21 especialistas falam da questão ambiental nas suas áreas de conhecimento. Rio de Janeiro: Sextante, 2003. 367 p.

TRIANOSKY, R. Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira aglomerada 2010. 260p. Mestrado (Mestrado em Ciências Agrárias - Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

TROMBETTA, E. Utilização de Fibra Natural de Pinus (Serragem) como Reforço em Componentes Automotivos Compostos de Polipropileno. Dissertação de Engenharia Mecânica UFPR, Curitiba-PR, 2010.

VALE, A. T.; BRASIL, M. A. M.; LEÃO, A. L. Quantificação e Caracterização Energética da Madeira e Casca de Espécies do Cerrado. Ciência Florestal, Santa Maria. V.12, n.1. p. 71-80, 2002.

VILLAR, W.D. (1993). Química e tecnologia dos polímeros. {S.I.}: Grupo Pronor.

YOUNG, R. A. Utilization of natural fibers: Characterization, modification and applications. In: First International Lignocellulosic-Plastics Composites, Março, 13-15 1996, São Paulo. Anais: São Paulo: USP, UNESP, 1995, p.1-19.

ZAH, R.; HISCHIER, R.; LEÃO, A. L. BRAUN, I. Curauá fibers in the automobile industry – a sustainability assessment. Journal of Cleaner Production 15, p.1032-1040, 2007.

ZOGHBI, M.G.B.; ANDRADE, E.H.A. de; SANTOS, A.S.; SILVA, M.H.L. da; MAIA, J.G.S. Constituintes voláteis de espécies de Lauraceae. In: LISBOA, P.L.B. (org.). **Caxiuanã**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 1977. p.297-304.

Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Compensado>. Acesso em: 12/11/2011.

Disponível em: <<http://www.pematec.com.br/curaua.htm>> Acesso em: 06/10/ 2011.

Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Angiosperma>. Acesso em: 12/11/2011.

Disponível em:<http://www.cosibra.com.br/1101.html>. Acesso em 15/11/2011.

Disponível em: <http://www.habitare.infohab.org.br/pdf/publicacoes/arquivos/128.pdf>(Acesso em 16/11/2011).

Disponível em:http://clientes.netvisao.pt/alme0020/historia_madeiras.htm. Acesso em: 06/12/2011.

Disponível em: Fonte: <http://www.madguimaraes.com.br/viola.htm> (27/12/2011).

Disponível em: http://www.celso-foelkel.com.br/fotos_madeira.html (Acesso:30/12/2011).

Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Curau%C3%A1> (Acesso em: 30/12/2011).

Disponível em: <http://www.conhecendoamadeira.com/articles/39/1/Louro-inhamui/Page1.html> (Acesso em 30/12/2011).

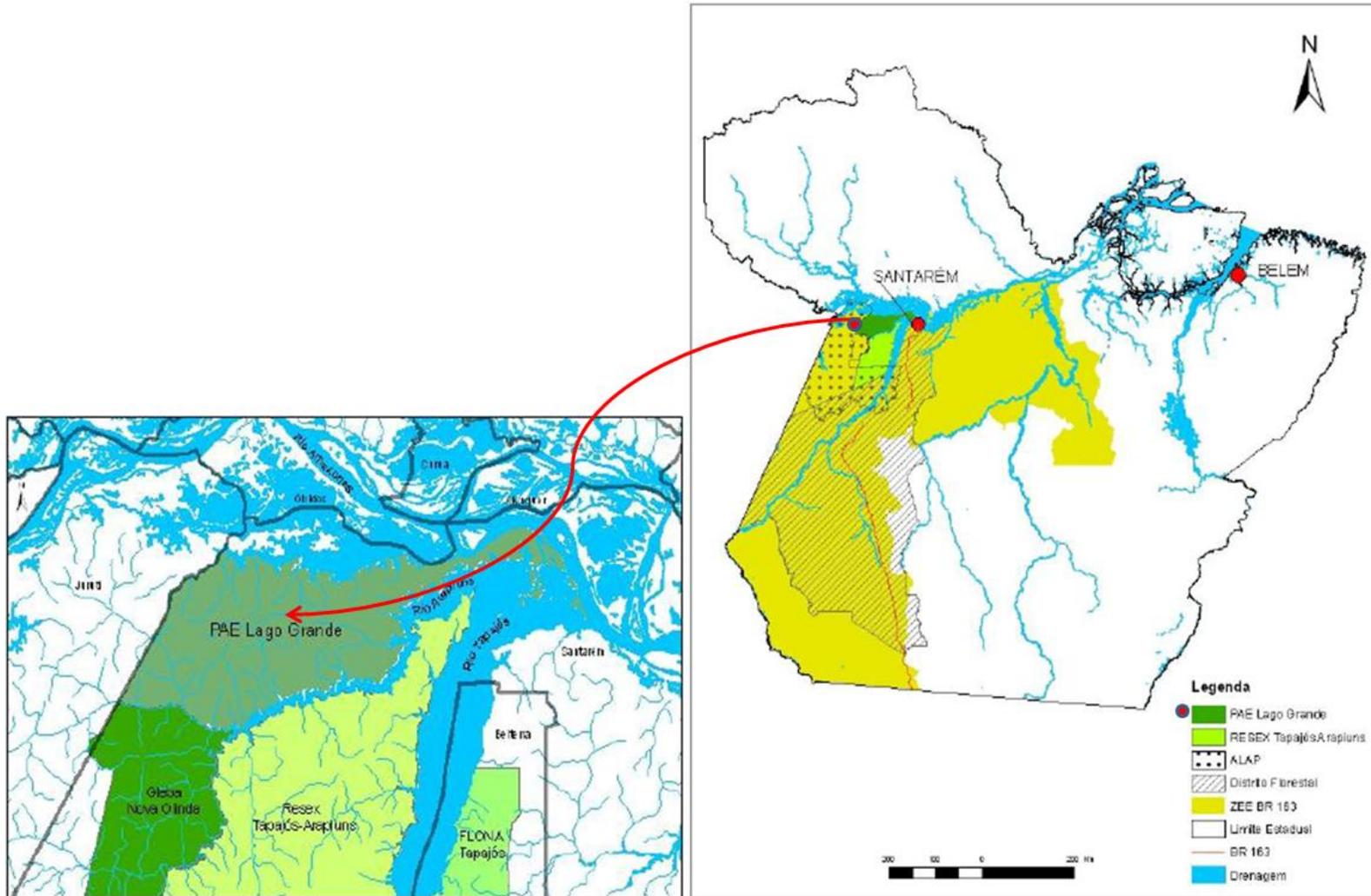
Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pamclo/2004/comentario.pdf> (Acesso: 02/02/2012).

Disponível em: Fonte: <http://www.cobrire.com.br/quiosque-cobertura-palha-piacava.htm> (Acesso: 22/11/2012).

Disponível em: Fonte: <http://www.sepror.am.gov.br/governo-do-amazonas-paga-subvencao-de-juta-e-malva-em-manacapuru/> (Acesso: 10/01/2013)

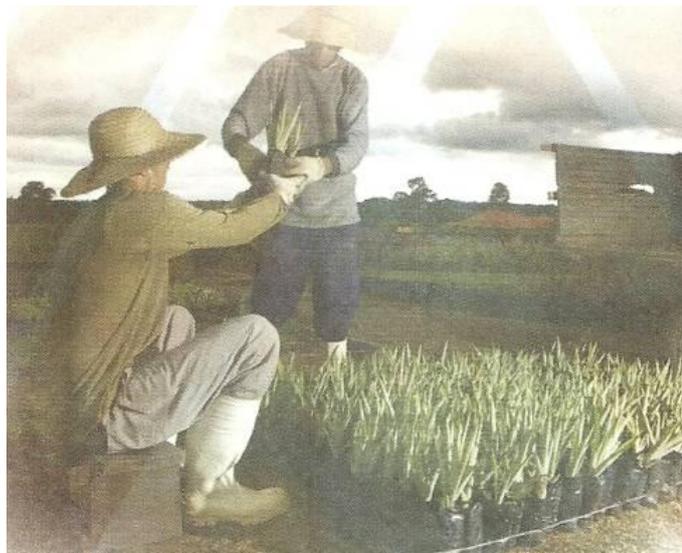
9. ANEXOS

Anexo 1 – Localização de Região do Lago Grande.

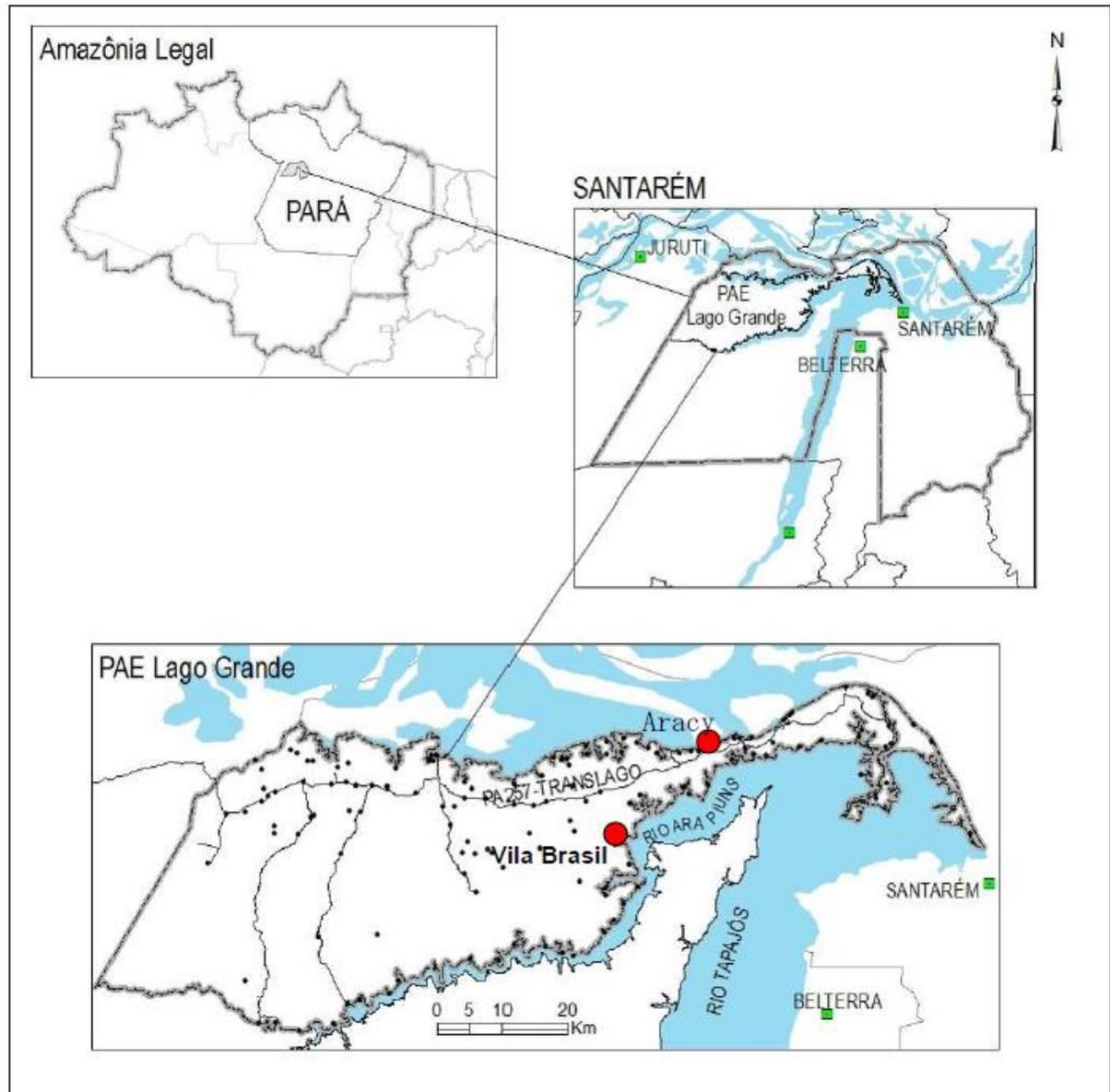


Fonte: Adaptado de FOLHES (2010)

Anexo 2 – Fazenda Curauá da Pematec.



Fonte: PEMATEC (2011)

Anexo 3 – Projeto de Assentamento Agroextrativista do Lago Grande – PAE.

Fonte: FOLHES (2010)

Anexo 4 – Visita a Pimatec Triangel – Santarém/PA.



Anexo 5 – Tabela de Propriedades mecânicas das fibras de curauá.

CPs	Area Elíptica (mm ²)	Força Máxima (N)	Tensão Máxima (MPa)	Deformação Específica
1	0,0046	3,35	728,83	1314,20
2	0,0038	2,49	654,58	19404,00
3	0,0035	2,42	690,09	27961,00
4	0,0045	2,16	690,09	19558,00
5	0,0054	3,03	560,76	20345,00
6	0,0032	1,95	608,34	18429,00
7	0,0045	2,78	616,84	24726,00
10	0,0039	2,49	637,79	20127,00
14	0,0041	1,80	439,63	28002,00
15	0,007	4,00	571,64	20866,00
16	0,0074	4,07	550,49	22946,00
17	0,009	4,07	452,62	21661,00
18	0,0097	4,18	431,10	20377,00
19	0,0079	4,97	629,72	18894,00
20	0,008	3,42	428,09	13955,00
24	0,0082	3,89	474,79	31560,00
25	0,0058	3,86	665,05	39654,00
27	0,0092	4,40	478,04	15162,00
29	0,0044	3,39	770,14	26557,00
30	0,0043	2,38	553,30	19156,00
31	0,007	3,14	448,04	16626,00
32	0,0052	2,45	471,40	18979,00
34	0,0061	3,21	525,97	18250,00
35	0,0039	2,45	628,54	21247,00
36	0,0102	8,18	802,27	14657,00
37	0,0136	6,78	498,33	17986,00
38	0,0079	4,54	574,96	23989,00
39	0,009	5,05	560,77	21535,00
40	0,0092	4,69	509,39	21335,00
42	0,0142	7,43	522,96	15734,00
43	0,0059	2,74	464,36	20498,00
45	0,0128	7,86	613,96	18618,00
46	0,0121	6,49	536,27	17856,00
47	0,0076	3,10	407,92	17366,00
48	0,006	4,15	690,95	20104,00
49	0,0074	5,59	755,08	22728,00
50	0,0069	3,17	459,75	25032,00
	Média	3,95	570,35	20626,87
	DVP	1,65	106,35	5913,74

Anexo 6 – Tabela de Ensaio de tração perpendicular (Adesão Interna).

Painel	Força (N)	Área (mm ²)	Tração Perpendicular (MPa)
FC1	1150	2559,5	0,449
FC2	1200	2569,9	0,466
FC3	2300	2553,8	0,901
FC4	3750	2504,0	1,498
	Média		0,83
	Desvio padrão		0,49
Painel	Força (N)	Área (mm ²)	Tração Perpendicular (MPa)
CA1	2300	2593,9	0,887
CA2	1400	2467,9	0,567
CA3	3600	2515,1	1,431
CA4	2150	2497,4	0,861
	Média		0,94
	Desvio padrão		0,36
Painel	Força (N)	Área (mm ²)	Tração Perpendicular (MPa)
CL1	1700	2521,7	0,674
CL2	4200	2526,7	1,662
CL3	4150	2507,4	1,655
CL4	1950	2479,3	0,786
	Média		1,19
	Desvio padrão		0,59

FC- fibra de curauá; CA- curauá com resíduo de amapá-doce;

CL- curauá com resíduo de louro-inhamui.