



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

Estudo de matriz polimérica produzida com resina natural e
fibra da semente de açaí (*Euterpe precatória*).

Magnólia Grangeiro Quirino

Manaus

2010

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

Estudo de matriz polimérica produzida com resina natural e
fibra da semente de açaí (*Euterpe precatória*).

Magnólia Grangeiro Quirino

ORIENTADOR: RAIMUNDO PEREIRA DE VASCONCELOS, PROF.DR.

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

Manaus

2010

Estudo de matriz polimérica produzida com resina natural e fibra da semente
de açaí (*Euterpe Precatória*).

Magnólia Grangeiro Quirino

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Holmer Savastano
Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade Estadual de São Paulo – USP (Pirassununga)

Prof^a. Dr^a. Virgínia Giacon.
Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC
Universidade Federal do Amazonas - UFAM

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

Aos meus pais, Manoel (*in memoriam*) e Helena, pela a dedicação e amor.
Ao meu marido Marcus, pelo amor, apoio e compreensão.
Aos meus filhos, Manoel e Laurino, motivação para dias melhores.
Aos meus irmãos, cunhados (as) e sobrinhos (as) por acreditarem nesta grande conquista.

AGRADECIMENTOS

- Ao prof. D. Sc. Raimundo Pereira de Vasconcelos, pela sua orientação e estímulo.
- Ao prof. D. Sc. Nilton Campelo, pela co-orientação e receptividade e colaboração na infra-estrutura para a realização dos ensaios realizados no Laboratório de Pavimentação (LabPav).
- A Prof^a. Dr^a. Virgínia, pelas orientações.
- A equipe do Instituto Nacional de Pesquisa - INPA.
- A todos os professores, funcionários e colegas do PPGEC, pelas contribuições durante o curso.
- Aos técnicos da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal do Amazonas – UFAM, pela ajuda e contribuição nos experimentos.
- A equipe da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ – COPPE.
- Prof.Dr. Romildo Dias Tôledo Filho, pela disponibilidade no Laboratório de Estruturas Labest.
- A equipe da Universidade Estadual de São Paulo – USP – São Carlos, LaMEM.
- Ao Prof. Dr. Francisco Fahr Rocco, pelo amplo conhecimento transmitido.
- A equipe da Universidade Estadual de São Paulo – USP – Pirassununga, FZEA.
- Ao Prof. Dr. Holmer Savastano, pela sua precisa co-orientação, incentivo e sabedoria.
- Ao Prof. Dr. Juliano Fiorelli, pela atenção e prestimosa ajuda nos ensaios.
- À Maria de Fátima do Nascimento pela orientação e auxílio nos ensaios.

RESUMO

O açáí é fruto do açazeiro, uma palmeira natural da Amazônia brasileira, encontrada próximo dos igarapés. Na região Norte existe um grande consumo da polpa do fruto do açáí, com um acúmulo de resíduo sem manejo adequado. Este resíduo provoca malefícios para a saúde pública e transtornos ambientais. No presente trabalho foram desenvolvidos painéis com a fibra da semente do açáí (*Euterpe Precatória*), a partir da caracterização morfológica, física, química e mecânica da fibra. A pesquisa foi dividida em duas etapas, no qual foi feita a caracterização morfológica, análise química, análise física e mecânica da fibra do açáí, e em seguida foram confeccionados os painéis e feitos os ensaios dos painéis. A princípio foi feito um painel preliminar para definir o teor de fibra e de resina, a partir do resultado do ensaio de flexão estática, deste foram produzidos 07 (sete) painéis de fibra, com adesivo a base de mamona e resina poliuretana derivada de petróleo. De acordo com a norma NBR 14810-3, foram realizados os ensaios de flexão estática, tração perpendicular e arrancamento de parafuso de superfície. Os resultados obtidos foram satisfatórios, com valores acima da norma NBR 14810-3, atendendo requisitos técnicos da construção civil e para a indústria moveleira.

Palavras-chave: painel, fibra do açáí, compósito.

ABSTRACT

Açaí is the fruit of the açaí palm, a palm tree native of the Brazilian Amazon, found near the creeks. In the North there is a large consumption of fruit pulp of açaí, with an accumulation of waste without proper management. This residue causes harm to public health and environmental disturbances. In this work we developed panels with fiber from the seed of açaí (*Euterpe Precatória*) from the physical, chemical and mechanical fiber. The research was divided into two stages, which was the morphological characterization, chemical of the physical and mechanical analysis fiber açaí, and then the panels were fabricated and there were made tests of the panels. The principle was made a preliminary panel to set the level of fiber and resin, from the results of static bending, this was produced 6 (six) fiber panels with adhesive based on castor oil and polyurethane resin derived from petroleum. According to NBR 14810-3, assays were performed in static bending, tensile and screw perpendicular to the surface. The results were satisfactory, with values above the norm NBR 14810-3, meeting the technical requirements for construction and furniture industry.

Keywords: *panel, fiber of açaí, composite, north region of Brazil.*

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO

Capítulo 1 – COMPÓSITO

1.1 Definição do Material Compósito.....	26
1.2 Classificação dos materiais compósitos.....	27
1.2.1 Compósito Particulado.....	28
1.2.1.1 Compósito Reforçado por Partícula Grande.....	29
1.2.1.2 Compósito Reforçado por Dispersão.....	29
1.2.2 Compósitos Estruturais.....	29
1.2.2.1 Compósitos Laminares.....	30
1.2.2.2 Compósitos Painéis Sanduíche.....	30
1.2.3 Compósitos Reforçados por Fibra.....	31
1.2.3.1 Compósitos Reforçados por Fibra Contínua.....	32
1.2.3.2 Compósitos Reforçados por Fibra Descontínua.....	32
1.2.3.3 Fase fibra.....	33
1.2.3.4 Fase matriz.....	33
1.2.3.5 Compósitos reforçados por fibra de vidro (<i>fiberglass</i>).....	34
1.2.3.6 Compósito de matriz reforçado com fibra de miscelâneas.....	34
1.2.3.7 Compósitos híbridos.....	34
1.2.3.8 Processamento de compósitos reforçado com fibra.....	35
1.3 Compósitos reforçado com fibras.....	35
1.3.1 Compósitos com fibras vegetais	37
1.4 Fibras lignocelulósicas.....	38
1.4.1 Fibra de sisal.....	39
1.4.2. Fibra de curauá	39
1.4.3 Fibra de coco.....	40
1.4.4 Fibra de juta.....	41
1.4.5 Fibra de bambu.....	42

Capítulo 2 – MADEIRA E SEUS DERIVADOS

2.1 Produtos originados a partir da madeira.....	44
2.2 Painéis.....	50

Capítulo 3 – AÇAÍ

3.1 Definição.....	53
3.2 Caracterização morfológica da fibra do açaí.....	56

Capítulo 4 – DESIGN DE SUPERFÍCIE

4.1 Definição do de Design de Superfície.....	58
4.2 Design de superfície e a arquitetura.....	58
4.3 Classificação do Design de Superfície.....	59
4.4 Textura.....	60

Capítulo 5 – MÉTODOS E MATERIAIS

5.1 Descrição da pesquisa.....	61
5.2 Extração da Fibra da semente do açaí.....	62
5.3 Caracterização química da fibra do açaí.....	63
5.3.1 Preparação da fibra do açaí para as análises químicas.....	63
5.3.2 Teor de umidade	64
5.3.3 Teor de umidade da fibra realizado na no laboratório de química da USP de São Carlos.....	65
5.3.4 Solubilidade em Etanol e Tolueno (ASTM 1107-56).....	66
5.3.5 Solubilidade em Etanol (ASTM 1105).....	67
5.3.6 Solubilidade em água.....	68
5.3.7 Determinar o teor de lignina (ASTM 1106-56).....	69
5.3.8 Determinar o teor de celulose.....	70
5.4 Caracterização mecânica da fibra do açaí.....	71
5.4.1 Ensaio de resistência a tração.....	71
5.5 Caracterização física da fibra do açaí.....	74
5.5.1 Análise térmica.....	74
5.5.2 Densidade real.....	75
5.6 Produção de painéis de fibra de açaí.....	78
5.6.1 Produção do painel preliminar.....	82
5.6.2 Produção dos oitos painéis.....	83
5.7 Preparação para o ensaio físico.....	87

5.7.1 Ensaio de densidade do painel.....	87
5.7.2 Ensaio de inchamento do painel.....	88
5.7.3 Ensaio de absorção de água do painel.....	90
5.8 Preparação para o ensaio mecânico de flexão estática.....	90
5.9 Caracterização física do painel.....	92
5.10 Caracterização mecânica do painel.....	93
5.10.1 Ensaio de flexão estática.....	93
5.10.2 Ensaio de arrancamento de parafuso de superfície.....	97
5.10.3 Ensaio de Tração Perpendicular (adesão interna).....	102

Capítulo 6 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Caracterização da fibra da semente do açaí.....	109
6.1.1 Caracterização química.....	109
6.1.2 Caracterização mecânica da fibra.....	110
6.1.2.1 Resistência a tração mecânica.....	110
6.1.3 Caracterização física da fibra.....	113
6.1.3.1 Análise térmica.....	113
6.1.3.2 Densidade Real.....	115
6.2. Caracterização do painel.....	116
6.2.1 Caracterização morfológica.....	116
6.2.2 Caracterização física.....	117
6.2.2.1 Densidade.....	117
6.2.2.2 inchamento e Absorção de água.....	117
6.2.3 Caracterização mecânica.....	118
6.2.3.1 Caracterização de flexão estática.....	118
6.2.3.2 Caracterização de arrancamento de parafuso de superfície.....	119
6.2.3.3 Resultado do ensaio de tração perpendicular.....	120

CONCLUSÕES.....	122
------------------------	------------

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	123
--	------------

REFERÊNCIAS.....	124
-------------------------	------------

ANEXOS

Anexo 1 – Municípios produtores de açaí no Amazonas.....	125
Anexo 2 – Anexo 2 – Filamento adesivado na peça de papel para ser fixado na prensa da máquina Shimadzu.....	126
Anexo 3 – Diâmetro do filamento.....	127
Anexo 4 – Gráfico tensão e deformação referente ao ensaio de tração em uma fibra de açaí.....	128
Anexo 5 – Trecho do gráfico tensão e deformação com reta ajustada a curva.....	129
Anexo 6 – Ensaio da densidade real da fibra da semente do açaí.....	130
Anexo 7 – Ensaio da densidade real da fibra da semente do açaí.....	131
Anexo 8 – NBR 14810 - 3. Anexo C (normativo).....	132
Anexo 9 – NBR 14810 - 3. Anexo D (normativo).....	133
Anexo 10 – NBR 14810 - 3. Anexo E (normativo).....	134
Anexo 11 – NBR 14810 - 3. Anexo F (normativo).....	135
Anexo 12 – NBR 14810 - 3. Anexo N (normativo).....	136
Anexo 13 – NBR 14810 - 3. Anexo M (normativo).....	137

Anexo 14 – Gráfico da análise térmica da fibra do açaí.....	138
Anexo 15 – Gráfico da análise térmica da fibra do açaí.....	139
Anexo 16 – Gráfico da análise térmica da fibra do açaí.....	140
Anexo 17 – Gráfico da análise térmica da fibra do açaí sobreposta com a análise térmica da fibra do sisal.....	141
Anexo 18 – Solubilidade em Etanol e Tolueno e Solubilidade em Etanol.....	142
Anexo 19 – Determinação de lignina e Determinação de celulose.....	143
Anexo 20 – Determinação da análise química da fibra do açaí.....	144
Anexo 21 - Ensaio de densidade do painel de fibra de açaí.....	145
Anexo 22 – Tabela do ensaio de Flexão Estática. Painel 1.....	146
Anexo 23 – Tabela do ensaio de Flexão Estática. Painel 2.....	147
Anexo 24 – Tabela do ensaio de Flexão Estática. Painel 3.....	148
Anexo 25 – Tabela do ensaio de Flexão Estática. Painel 4.....	149
Anexo 26 – Tabela do ensaio de Flexão Estática. Painel 5.....	150

Anexo 27 – Tabela do ensaio de Flexão Estática. Painel 6.....151

Anexo 28 – Tabela do ensaio de Flexão Estática. Painel 7.....152

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Classificação dos compósitos.....	28
Figura 2 – Desenho ilustrativo de compósito laminar, camadas empilhadas reforçadas por fibras contínuas e alinhadas.....	30
Figura 3 – Desenho ilustrativo de compósito painel sanduíche, camadas intercaladas com favo de colméia.....	31
Figura 4 – Desenho ilustrativo de compósito reforçado por fibra. (a) Fibra contínua. (b) fibra descontínua. (c) Fibra descontínua randomicamente orientada.....	32
Figura 5 – Estrutura do mero da celulose.....	37
Figura 6 – Desenho representativo de uma fibra-celular.....	38
Figura 7 – (a) Planta do sisal. (b) Fibra do sisal.....	39
Figura 8 – (a) Planta do curauá. (b) Fibra do curauá.....	40
Figura 9 – (a) Coqueiral. (b) Coco. (c) Fibra de coco.....	41
Figura 10 – (a) Planta da juta. (b) Fibra de juta.....	42
Figura 11 – (a) Planta do bambu. (b) Fibra de bambu.....	43
Figura 12 – Distribuição das partículas. (a) Chapa de partículas homogêneas. (b) Chapa de partículas graduada.....	51
Figura 13 – (a) Chapa de partículas com três camadas. (b) Chapa de partículas com cinco camadas.....	51
Figura 14 – (a) Açazeiro. (b) Cacho de açai na palmeira. (c) Açai.....	53

Figura 15 – Municípios produtores de açaí no Amazonas.....	54
Figura 16 – (a) Extração da fibra da semente do açaí. (b) Semente beneficiada. (c) Biojóia natural e tingida.....	55
Figura 17 – (a) Semente com fibra do açaí. (b) Fibra fora da semente.....	56
Figura 18 – (a) Dimensões do diâmetro da semente. (b) Comprimento da fibra do açaí.....	56
Figura 19 – (a) Corte longitudinal na semente do açaí. (b) corte transversal na semente.....	57
Figura 20 – Anatomia interna da semente do açaí.....	57
Figura 21 - Exemplo de módulo.....	59
Figura 22 – (a) Exemplo de módulo translação. (b) Exemplo de módulo rotação. (c) Exemplo de módulo reflexão.....	60
Figura 23 - Exemplo de textura ótica.....	60
Figura 24 – (a) Sementes após secagem em estufa. (b) Semente na máquina extrusora. (c) Fibra do açaí após o processo de extrusão.....	62
Figura 25 - (a) Moinho para triturar a fibra. (b) Peneira de malha 1 mm.....	63
Figura 26 – Peneira elétrica de marca Ro Tap.....	64
Figura 27 - (a) Na peneira de 20 Mesh ficou retido a casca (partículas maiores). (b) Na peneira de 40 Mesh e 60 Mesh ficaram as fibras.....	64
Figura 28 – (a) equipamento Marte (OHAUS – MB 200) vista frontal. (b) vista lateral.....	65
Figura 29 – Cartucho de Celulose para amostra 1 e amostra 2.....	66

Figura 30 – (a) Os cartuchos de Celulose inseridos no extrator encaixado com o balão de fundo chato.....	66
Figura 31 – (a) Processo inicial da extração: balão com a mistura álcool e tolueno. (b) Processo intermediário da extração: balão com a mistura álcool e tolueno. (c) Processo final da extração: balão com o extrativo da fibra.....	67
Figura 32 – (a) Amostra em Erlenmeyer com 1L de água destilada fervente em banho Maria. (b) Amostra em Erlenmeyer após a fervura.....	68
Figura 33 – Mistura da amostra em um beaker gotejando 15 ml de H ₂ SO ₄ (72%).....	69
Figura 34 – Amostra em duplicata no pesa-filtro.....	69
Figura 35 – Funil à vácuo, filtragem da amostra com água e etanol.....	71
Figura 36 – (a) Máquina Shimdzu. (b) Gráfico elaborado pelo computador que está conectado com a máquina.....	71
Figura 37 – (a) Suporte de papel para posicionar a fibra do açaí. (b) Círculo cortado com o perfurador de escritório. (c) A fibra adesivada e colada no suporte. (d) A fibra adesivada, colada e enumerada no suporte.....	72
Figura 38 – (a) Garra da máquina vista lateral. (c) Garra da máquina vista frontal com o suporte de papel.....	72
Figura 39 - Filamentos de fibra do açaí após o ensaio de resistência à tração.....	73
Figura 40 – (a) Fibra do açaí presa no suporte de papel, vista por meio do microscópio digital da marca Celestron, com lente de aumento 50 vezes maior. (b) Diâmetro da fibra visto por meio do microscópio.....	73
Figura 41 – (a) Detalhe do Instruments Analis – TA fechado. (b) Instruments Analis – TA aberto.....	74
Figura 42 – (a) Amostra da fibra do açaí selecionada. (b) Instrumentos utilizados.....	74

Figura 43 – (a) Instruments Analis – TA aberto. (b) Amostra na panelinha do TA.....	75
Figura 44 – (a) Picnômetro de gás hélio. (b) Cilindro de gás Hélio conectado ao equipamento.....	75
Figura 45 – Três esferas de metal revestidas de inox.....	76
Figura 46 – Portas-amostra com diferentes dimensões, da esquerda para a direita: pequena, micro e grande.....	76
Figura 47 – Amostra sendo colocada com uma pinça no porta-amostra grande.....	77
Figura 48 – (a) Câmara do picnômetro de gás hélio aberta. (b) Porta amostra grande na câmara do equipamento. (c) Porta amostra grande na câmara do equipamento no interior do equipamento.....	77
Figura 49 – Dois recipientes para colocar as resinas. À esquerda é o pré-polímero (derivado de petróleo). À direita o óleo a base de mamona (poliol).....	79
Figura 50 – Balança eletrônica digital da marca ACATEC BDC 3.300.....	79
Figura 51 – (a) Encoladeira da marca Lieme, vista lateral. (b) Vista frontal.....	80
Figura 52 – (a) Molde de madeira sem tampa. (b) Com tampa.....	80
Figura 53 – Bandejas metálicas revestida de material antiaderente: base superior base inferior.....	80
Figura 54 – Pré-prensa mecânica.....	81
Figura 55 – (a) Prensa hidráulica da marca Marconi, base superior suspensa. (b) Base superior descida.....	81
Figura 56 – Bancada para a cura dos painéis.....	81
Figura 57 - Etapas da produção de painéis de fibra de açai.....	82

Figura 58 – (a) Mistura da fibra do açaí com o adesivo. (b) Homogeneização manual....	84
Figura 59 – (a) Mistura da fibra do açaí com o adesivo dentro do recipiente de inox. (b) Encoladeira.....	84
Figura 60 – (a) Pré-prensa com molde. (b) Mistura homogeneizada manualmente e mecanicamente dentro do molde sobre a bandeja metálica.....	85
Figura 61 – (a) Pré-prensa tampada, início da pré-prensagem. (b) Retirada do molde, feito o colchão.....	85
Figura 62 – (a) Prensa hidráulica da marca Marconi aberta com o colchão. (b) Prensa hidráulica descendo a bandeja superior, início da prensagem.....	86
Figura 63 – (a) Prensa hidráulica em funcionamento. (b) Controle de acionamento da máquina, e controle da subida e descida da prensa superior.....	86
Figura 64 – (a) Retirada a bandeja metálica da prensa hidráulica parte superior. (b) Painel finalizado sobre a bandeja metálica, pronto para o período de cura.....	87
Figura 65 – Corpo de prova para o ensaio de densidade, 25 mm x 25 mm.....	87
Figura 66 – (a) Recipiente com água. (b) Dispositivo para manter os corpos de prova submersos.....	88
Figura 67 – Corpos de prova colocados sobre um pano para retirar o excesso.....	89
Figura 68 – (a) Retirado as aparas do painel preliminar. (b) Painel preliminar esquadrinhado e preparado para o corte dos corpos de prova.....	91
Figura 69 – (a) Corte dos corpos de prova. (b) Corpo de prova para ensaio físico e ensaio mecânico.....	91
Figura 70 – (a) Cortado os seis corpos de prova para flexão estática. (b) Cortado os seis corpos de prova para flexão estática e um para arracamento de parafuso que será dividido na metade.....	92

Figura 71 - Paquímetro com resolução de 0,1 mm, aferindo a espessura, com três pontos de medição no corpo de prova.....	92
Figura 72 - Paquímetro com resolução de 0,1 mm, aferindo a largura, com três pontos de medição no corpo de prova.....	93
Figura 73 – (a) Gabarito feito de madeira. (b) Gabarito sobre o corpo de prova.....	94
Figura 74 - (a) Marcando os três pontos no corpo de prova. (b) Corpo de prova marcado.....	94
Figura 75 – O corpo de prova posicionado na máquina universal de ensaios.....	95
Figura 76 – (a) Corpo de prova após o ensaio de flexão estática (vista perfil). (b) Vista superior.....	95
Figura 77 – (a) Seis corpos de prova após o ensaio de flexão estática (vista perfil). (b) Vista superior.....	95
Figura 78 – (a) Furadeira de bancada vista frontal. (b) Vista lateral.....	97
Figura 79 – Corpo de prova perfurado pela furadeira de bancada.....	98
Figura 80 - Dimensões e tipo do parafuso a ser utilizado no ensaio.....	98
Figura 81 – (a) Haste da máquina universal de ensaios. (b) Preparo da máquina universal de ensaios, inserção de dispositivos. (c) Dispositivos específicos para o ensaio de arracamento de parafuso.....	99
Figura 82 – (a) Dispositivos de fixar a amostra peça, peça inferior. (b) Dispositivos de tracionar o parafuso, peça superior.....	99
Figura 83 – (a) Dispositivo para fixar a amostra, dimensões em milímetros. (b) Dispositivo para tracionar o parafuso, dimensões em milímetros.....	100
Figura 84 – Conjunto formado pelos acessórios, parafuso e corpo de prova.....	100

Figura 85 – Corpo de prova com parafuso fixado.....	101
Figura 86 – Corpo de prova acoplado entre os dispositivos da máquina universal de ensaio: o dispositivo de fixar e o dispositivo para tracionar o parafuso.....	101
Figura 87 – (a) Indicador de carga zerado. (b) Máquina executando o ensaio.....	102
Figura 88 – Corpo de prova com parafuso fixado após o ensaio.....	102
Figura 89 – Corpo de prova.....	103
Figura 90 – Bloco de tração, dimensões em milímetros.....	103
Figura 91 – Bloco de tração, sendo cortados.....	104
Figura 92 – Bloco de tração, parte superior e parte inferior.....	104
Figura 93 – Gabarito para marcar o bloco de tração.....	104
Figura 94 – Bloco de tração marcado para identificar o local de colagem.....	105
Figura 95 – Bloco de tração é colado na parte inferior da superfície do corpo de prova.....	105
Figura 96 – Bloco de tração é colado na parte inferior da superfície do corpo de prova e transversalmente na superfície superior.....	105
Figura 97 – Corpo de prova entre os blocos de tração, dimensões em milímetros.....	106
Figura 98 – Dispositivos para prender o bloco de tração.....	106
Figura 99 – Dispositivos colocados na máquina universal de ensaio.....	106
Figura 100 – (a) Dispositivo para prender o bloco de tração, dimensões em milímetros.....	107

Figura 101 – Conjunto (blocos de tração e corpo de prova) acoplado nos dispositivos.....	108
Figura 102 – Corpo de prova após o ensaio.....	108
Figura 103 – Gráfico tensão e deformação referente ao ensaio de tração em uma fibra de açai.....	111
Figura 104 - Trecho do gráfico tensão e deformação com reta ajustada a curva.....	112
Figura 105 – Gráfico das Curvas de TG/DTG da fibra do açai.....	114
Figura 106 – Gráfico das Curvas de TG/DTG da fibra do açai e da fibra do sisal.....	115

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Peças feitas na madeira maciça.....	44
Tabela 2 – Classificação da madeira com o seu respectivo emprego industrial.....	47
Tabela 3 – Painel de madeira compensada.....	48
Tabela 4 – Densidade dos painéis.....	50
Tabela 5 – Determinação da análise química da fibra do açai.....	109
Tabela 6 – Comparativo da celulose e lignina da fibra do açai entre a fibra do arumã e a fibra do sisa.....	110
Tabela 7 - Tensão última de tração para as amostras de fibras de açai.....	113
Tabela 8 – Resultados da análise por termogravimetria das fibras do açai.....	114
Tabela 9 – Ensaio de densidade real da fibra de açai e o valor médio.....	116
Tabela 10 – Resultados do ensaio de densidade do painel de fibra de açai e o valor médio.....	117
Tabela 11 – Valores de espessura para o ensaio de inchamento.....	117
Tabela 12 – Valores em percentagem para ensaio de absorção de água.....	118
Tabela 13 – Valores em percentagem para o ensaio de inchamento.....	118
Tabela 14 – Resultados do ensaio de flexão de estática com os valores médios MOR e o MOE.....	119

Tabela 15 – Ensaio de arrancamento de parafuso de superfície com os valores médios dos painéis.....120

Tabela 16 – Ensaio de tração perpendicular.....120

Introdução

A pesquisa por materiais que minimizam os impactos ambientais vem aumentando cada vez mais. Materiais ecologicamente corretos ou ditos “materiais verdes”, que são destinados para a indústria da construção civil e para a indústria moveleira vem sendo amplamente pesquisados por várias vertentes. O problema ambiental é uma responsabilidade de todos, no qual, prudência ecológica aliada à equidade social ainda é o melhor caminho para o desenvolvimento sustentável.

Existe uma grande quantidade de recursos naturais sendo extraídos da natureza e parcialmente utilizados, ou seja, uma extração exagerada e um desperdício no aproveitamento total destes recursos. A civilização industrial retira da natureza matérias-primas para o desenvolvimento de produtos, acarretando uma quantidade excessiva de resíduos e estes, são devolvidos para a natureza poluindo a biosfera. Este processo provoca um duplo desequilíbrio: de um lado o esgotamento dos recursos naturais, do outro o aumento dos resíduos provenientes do consumo crescente.

A engenharia na sua trajetória, sempre procurou materiais que sejam apropriados ao projeto em execução, com respostas na durabilidade e nas propriedades mecânicas. Estes materiais são difíceis de ser encontrados na natureza, então o princípio é reunir características distintas e desenvolver um compósito, que possibilite conjugar a resistência mecânica com baixa densidade, por exemplo. Segundo Callister (2000), as fases constituintes devem ser quimicamente diferentes e separadas por uma interface distinta.

Hoje o desafio da engenharia é maior, a pesquisa na área de materiais compósitos que abrange uma complexidade de materiais e processos, deve estar atrelada ao desenvolvimento sustentável. Preferencialmente que estes compósitos sejam oriundos da natureza sem causar impacto ambiental, ou ainda que, resultantes de resíduos sólidos ou rejeito industrial. Desse modo o emprego do compósito na indústria torna-se justificável do ponto de vista ambiental.

O uso de materiais de origem de fontes renováveis está demonstrando um processo seletivo consciente para o emprego na indústria. Este modelo econômico responde aos princípios de sustentabilidade e conseqüentemente identificando a responsabilidade do papel sócio-econômico. Neste contexto surgem as fibras naturais que são extraídas dos vegetais e muitas delas não são aproveitadas na sua totalidade. Um exemplo é o açaí, cuja

polpa é consumida em suco, sendo a fibra de sua semente um resíduo acumulado sem destino certo.

Conjugar a fibra do açaí com a resina para a produção de painel representa uma possibilidade para o desenvolvimento sustentável, atendendo a demanda regional, com um material que pode ser utilizado tanto na indústria da construção civil como na moveleira, fazendo melhor o uso da fibra da semente do açaí, no qual, ainda vem sendo pouca explorada.

As fibras já são utilizadas para produzir artefatos desde 3.000 a.C. e extraídas de diversas partes do vegetal. A fibra do côco é removida do fruto; a fibra do algodão da semente; a fibra da mandioca da raiz; a fibra da juta do linho e do cânhamo do caule; as fibras da bananeira, do sisal e da piaçava são retiradas das folhas.

A fibra da casca de côco popularmente conhecida é uma das referências como matéria-prima na fabricação de diversos produtos utilitários, tais como: estofamento de bancos para os automóveis, tapetes e tecidos.

Outra referência é a fibra de sisal cujo nome científico é *Agave sisalana*, sendo bastante utilizada para a produção de cordas e tapetes, esta fibra tem sido pesquisada como possível substituto do amianto, silicato natural hidratado de cálcio e magnésio, cuja utilização é muito prejudicial à saúde humana, o qual é responsável pela transmissão da doença denominada de asbestose–pneumoconiose. Os maiores prejudicados são os operários que trabalham diretamente com o amianto, assim como os usuários que utilizam as telhas e as caixas de água feitas com este material.

O açazeiro, *Euterpe Precatória* é uma palmeira natural da Amazônia brasileira, encontrada próximo dos igarapés. O estado do Pará segundo ROGÉZ (2000) vem sendo o maior produtor e consumidor do fruto do açazeiro. São acumulados diariamente em Belém em torno de 300 toneladas de resíduo orgânico decorrentes do açaí, que oscila entre 100.000 a 120.000 toneladas por ano.

Desde a era pré-colombiana o açazeiro vem sendo extraído, onde a maior exploração está no fruto, ao passo que, o consumo do palmito é mais recente, a partir da década de 60. O açaí possui um grande valor nutricional, antioxidante e energético atraindo consumidores de outras regiões e até do exterior. Na região Norte, todas as partes da palmeira do açaí têm um uso específico: as folhas são usadas no artesanato e ração animal, os cachos secos servirão de vassouras, o caule na construção de casas, a raiz é eficaz no combate da malária.

Pesquisar sobre a fibra do açaí e sua aplicabilidade, consiste em entender os seus processos de consumo e seu emprego. O consumo e a abundância de açaí na região

Amazônica, verificado principalmente na cidade de Manaus, comprova o não aproveitamento da semente e sua potencialidade.

Existe um interesse em pesquisas para melhor aplicabilidade das fibras naturais na indústria. Atualmente encontramos fibras que não foram exploradas na sua totalidade, como é o caso da fibra do resíduo do açaí. As fibras naturais têm se tornado um forte aliado econômico e ecológico para as indústrias. Muitas pesquisas estão sendo feitas sobre as fibras dos vegetais e sendo desenvolvidos vários produtos para diversos fins.

Esta pesquisa estuda a viabilidade da fibra da semente do açaí (*Euterpe precatória*), na produção de painel com resina, fundamentando-se em estudos a respeito do comportamento térmico e a caracterização morfológica das fibras, que recobrem o caroço denominado de mesocarpo do açaí, assim como análise química, análise física e ensaios mecânicos. Detalhando as etapas condizentes com os processos que revelem a viabilidade técnica para a produção de um compósito.

O não aproveitamento da semente na sua totalidade, o qual não é observado nos limites da cidade de Manaus, não é o escopo desta pesquisa, porém adaptar a tecnologia com a potencialidade local para desenvolver um produto baseado no uso sustentável dos recursos respeitando as limitações regionais. Além disso, esta pesquisa serve como exemplo de aproveitamento da fibra e desenvolvimento local a ser replicado para outras localidades.

Este trabalho compreende quatro etapas: fundamentação teórica, métodos e materiais, resultados, conclusão, sugestões para trabalhos futuros e por fim as referências.

A fundamentação teórica consta de uma revisão bibliográfica, distribuída em quatro capítulos. O primeiro capítulo apresenta uma breve compreensão sobre os materiais compósitos, o segundo tópico uma revisão sobre a madeira e painéis feitos de madeira, o terceiro uma abordagem sobre a fibra do açaí (*Euterpe precatória*), e o quarto capítulo trata do design de superfície.

No quinto capítulo, inicia-se a fase experimental, onde são descritos os materiais e métodos que apresentam o processo da extração da fibra do açaí. Em seguida a análise química, estudo morfológico e análise física da fibra, seguindo para a produção dos painéis.

O sexto capítulo trata dos resultados, obtidos nos ensaios descritos no capítulo anterior. Por fim a conclusão do trabalho e considerações finais para trabalhos futuros.

O presente trabalho procura colaborar com a área de materiais compósitos reforçados com fibras, entendendo que a fibra da semente do açaí pode se tornar um material alternativo para o setor de construção civil e moveleiro.

Capítulo 1 – COMPÓSITO

1.1 Definição dos Materiais Compósitos

Segundo Callister (2000), o compósito é uma combinação de materiais, conjugado para associar as melhores características dos componentes. Entendendo ser importante mencionar, que estas características são as propriedades e estrutura dos materiais, no qual, define o conceito dos materiais.

A estrutura é o arranjo de seus componentes internos, que se divide em dois níveis: subatômica e atômica. A estrutura subatômica é a interação dos elétrons com seus respectivos núcleos dos átomos, enquanto a estrutura atômica envolve a interação entre as moléculas.

Callister (2000) afirma ainda que propriedade corresponde a resposta que os materiais produzem com os estímulos externos dos quais estão sujeitos. Como já foi dito anteriormente propriedade é uma característica, uma particularidade do material referente à magnitude ou ao tipo resultante da ação imposta. As propriedades estão classificadas em seis grupos: mecânica, elétrica, térmica, magnética, ótica e deteriorativa.

A propriedade mecânica dos materiais é referente a uma deformação decorrente de uma força aplicada, podemos citar como exemplo módulo elástico e resistência mecânica, ao passo que, propriedade elétrica está relacionada com a condutividade elétrica e constante dielétrica, cujo estímulo é um campo elétrico. A propriedade térmica refere-se com a capacidade calorífica e condutividade térmica do material, enquanto a magnética é a resposta para com o campo magnético. Propriedades óticas estão envolvidas com questões relacionadas com a radiação de luz ou estímulo eletromagnético, refletividade e índice de refração. Por fim propriedade deteriorativa trata da química dos materiais.

Partindo do princípio da estrutura atômica e composição química, os materiais estão agrupados em três grupos, os metais, polímeros e cerâmicos. Acrescentando nesta classificação os semicondutores e os compósitos. A razão do agrupamento dos semicondutores são suas características elétricas, já os compósitos é a conjugação de materiais.

Lima Júnior (2007) reuniu opinião de diferentes autores com a finalidade de esclarecer o que vem a ser compósito. Foram várias definições, entretanto é conclusivo que não houve discrepância conceitual. Resumidamente definiram os compósitos como uma resultante da união de dois ou mais materiais distintos em escala macroscópica, buscando superar algumas características inexistentes e assumir uma combinação de propriedades.

É comum alguns materiais serem denominados resistentes, contudo são densos, outros possuem certa rigidez, mas sua resistência ao impacto é baixa. Então a intenção é fazer um compósito que reúne diversos materiais para suprir as qualidades deficitárias de alguns e assegurar uma mistura abrangendo propriedades adversas, como densidade, leveza, rigidez, resistência, entre outros. Baseado nesta argumentação é que Callister (2000) define o princípio de ação combinada, no qual, é uma consequência de união de dois ou mais materiais distintos, como combinações de propriedades.

Curiosos são os compósitos que ocorrem na natureza. Por exemplo, a madeira é formada por fibras de celulose fortes e flexíveis contornadas pela lignina, um material mais rígido.

1.2 Classificação dos materiais compósitos

Os compósitos fabricados artificialmente são manipulados para reunir as melhores propriedades das fases constituintes, tais compósitos são materiais multifásicos. Muitos compósitos são caracterizados por duas fases distintas: matriz e fase dispersa. A matriz é contínua e envolve a fase dispersa.

As propriedades dos compósitos são dependentes das propriedades das fases constituintes, das suas quantidades relativas e da sua respectiva geometria. Esta geometria representa: forma, tamanho, distribuição e orientação das partículas.

Os compósitos segundo Lima Júnior (2007) é definido como um sistema que combina as propriedades da matriz e do material de reforço. Os materiais constituintes, suas porções e distribuições influenciam nas propriedades dos compósitos. A engenharia reúne estas propriedades para elaborar um material, no qual, supere as falhas decorrentes da ausência de determinada propriedade, como: resistência mecânica; dureza; resistência à fadiga; resistência à corrosão; resistência à abrasão; densidade; isolamento ou condutividade térmica; isolamento acústico e magnetismo (para compósitos com metais). O que determina a forma geométrica do material compósito são a densidade, a distribuição volumétrica específica e o reforço com função de estrutura.

O material compósito tem sido engenheirado com o objetivo de valorar as propriedades e desenvolver um material ideal, tanto na dosagem correta das características como nas questões ambientais. Como mencionado anteriormente geralmente materiais resistentes são relativamente densos; assim como, o aumento da resistência e da rigidez pode resultar num decréscimo da resistência ao impacto. Por exemplo, *fiberglass* é um

compósito, que reúne fibras de vidro com um polímero, e o resultado desta combinação é a resistência mecânica da fibra do vidro com a flexibilidade dos polímeros.

A classificação dos compósitos de acordo com Callister (2000) apresenta três grupos, que por sua vez encontra-se subdividida. Este agrupamento está relacionado com o reforço: compósitos reforçados por partículas, compósitos reforçados por fibra e compósitos estruturais, como mostra a Figura 1.

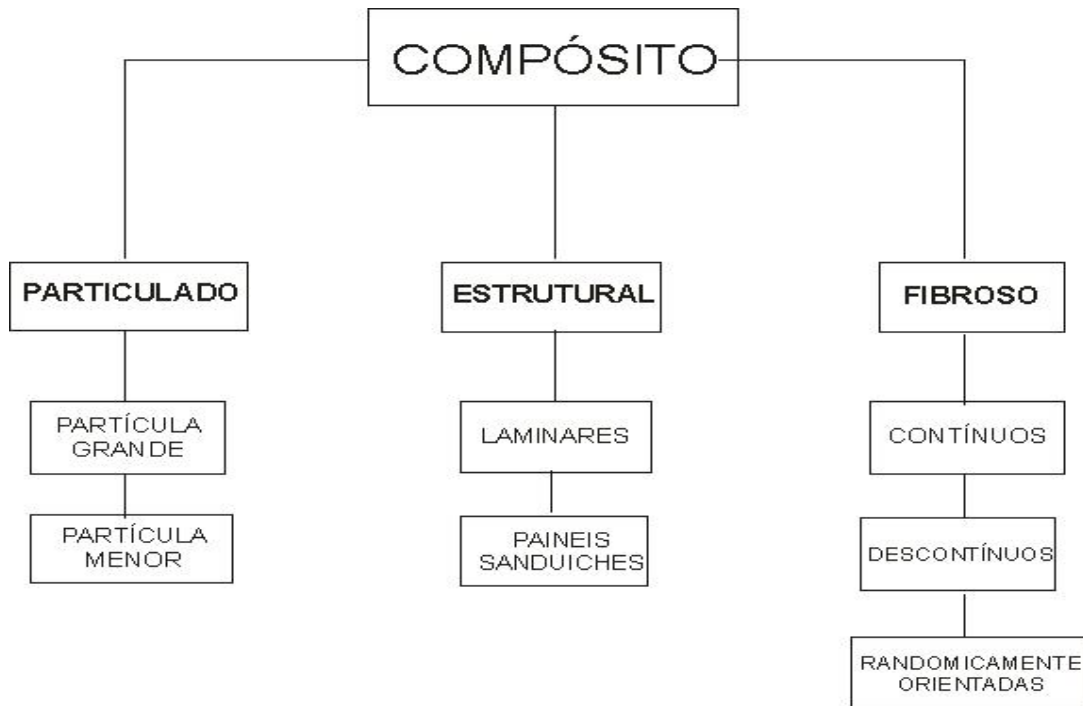


Figura 1 – Classificação dos compósitos.

FONTE: Adaptado do Callister (2000).

1.2.1 Compósito Particulado

Compósito reforçado por partícula divide-se em: compósitos de partículas grandes e compósitos fortalecidos por dispersão. As propriedades mecânicas dos compósitos de partícula grande são melhoradas pela ação reforçante das fibras, ao passo que, para os compósitos fortalecidos por dispersão a resistência é reforçada por pequenas partículas.

1.2.1.1 Compósito Reforçado por Partícula Grande

O conceito “grande” não considera as ligações da partícula-matriz no contexto atômico ou molecular e sim no conceito mecânico de sólido contínuo. Para o compósito de partícula grande, o concreto é um exemplo bastante conhecido, constituído de cimento (matriz) e (particulados) areia e pedregulho, a geometria das partículas pode variar, porém as dimensões devem ser iguais em todas as direções (equiaxial), e distribuídas uniformemente na matriz.

Os compósitos reforçados por partícula grande são obtidos com todos os três tipos de materiais: os metais, polímeros e cerâmicos. Os *cermets* são exemplos de compósitos formados pela combinação dos materiais cerâmicos e metais, sendo o mais comum o carbetto sintetizado.

1.2.1.2 Compósito Reforçado por Dispersão

Nos compósitos reforçados por dispersão dividem-se em compósito fortalecido por dispersão e compósito partícula-grande, a diferença entre os dois está no sistema de reforço e o incremento de resistência mecânica. A fase particulada em alguns compósitos é considerada mais dura e rígida do que a matriz. Estas partículas limitam o movimento entre as partículas vizinhas. A matriz coloca alguma tensão sobre as partículas, que suportam uma determinada carga. A condição de reforço e melhoria do desempenho mecânico está vinculada com a ligação entre as partículas.

Os compósitos reforçados por dispersão as partículas são menores cujos diâmetros medem $0,01\mu\text{m}$ e $0,1\mu\text{m}$ (10 nm a 100 nm), estas interações entre as partículas promovem um fortalecimento à nível atômico ou molecular. As pequenas partículas dispersas dificultam ou impedem o movimento. Assim a deformação plástica é reduzida contribuindo para o aumento da dureza a resistência ao escoamento e à tração.

1.2.2 Compósitos Estruturais

Um compósito estrutural é formado de materiais homogêneos. Onde o fator importante nesta junção é a concepção geométrica dos elementos constituintes. Os exemplos mais comuns de compósitos estruturais são os compósitos laminares e painéis sanduíche.

1.2.2.1 Compósitos laminares

Um compósito laminar é determinado por duas folhas bidimensionais com uma direção única. O laminar possui alta resistência mecânica semelhante à resistência da madeira e dos plásticos. São camadas empilhadas, reforçadas por fibras contínuas e alinhadas, como mostra a Figura 2.

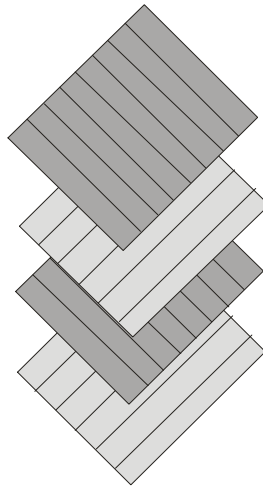


Figura 2 – Desenho ilustrativo de compósito laminar, camadas empilhadas reforçadas por fibras contínuas e alinhadas.

FONTE: Callister (2000).

1.2.2.2 Painéis sanduíche

Painéis sanduíche consistem de duas folhas externas, separadas por uma camada de material menos denso, ou núcleo, que tem menor rigidez e menor resistência mecânica. Estas camadas são intercaladas peças similares a favo de colméias (Figura 3). As faces suportam a maior parte do carregamento no plano e também quaisquer tensões de flexão transversais. Os painéis sanduíche são aplicados para telhas, pisos e paredes, enquanto que no setor aeronáutico na asa, fuselagem e cauda.

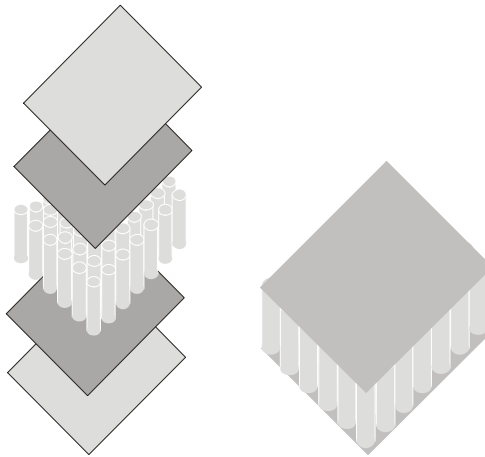


Figura 3 – Desenho ilustrativo de compósito painel sanduíche, camadas intercaladas com favo de colméia.

FONTE: Callister (2000).

1.2.3 Compósitos Reforçado por Fibras

A maior vantagem dos compósitos reforçados com fibra é possibilitar um aumento na resistência mecânica e redução na densidade. Compósitos reforçados com fibra são classificados pelo comprimento de fibra: compósito de fibra curta e compósito de fibra longa. Não apenas as propriedades da fibra influenciam nas características mecânicas de um compósito reforçado com fibra, mas também a carga aplicada pela fase matriz. O fortalecimento do material compósito depende do comprimento da fibra.

As fibras descontínuas ou curtas têm comprimentos menores e resistência mecânica menor do que as fibras contínuas. O arranjo e a concentração da fibra 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. Uma maneira 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 (Figura 4).

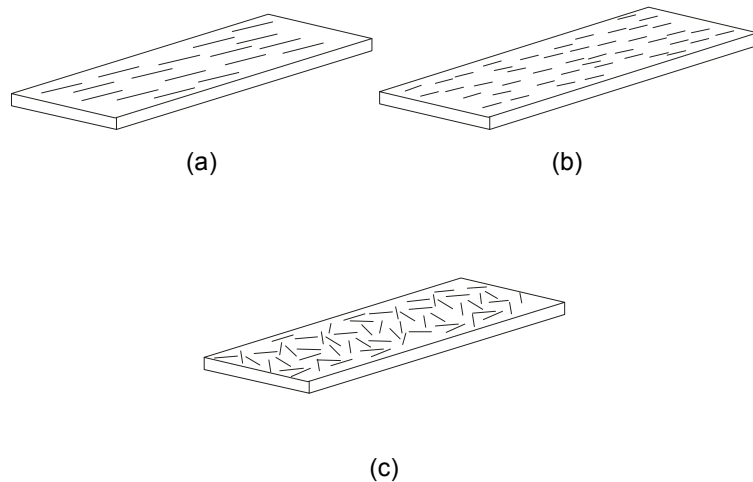


Figura 4 – Desenho ilustrativo de compósito reforçado por fibra. (a) Fibra contínua. (b) fibra descontínua. (c) Fibra descontínua randomicamente orientada.

FONTE: Callister (2000).

1.2.3.1 Compósitos Com Fibras Contínuas

As fibras contínuas têm comprimentos maiores e resistência mecânica maior do que as fibras descontínuas ou curtas. Algumas desvantagens de compósitos de fibras contínuas com relação aos compósitos de fibras descontínuas é que os custos de fabricação são menores.

A ligação interfacial fibra-matriz é muito boa, a deformação ocorre igualmente tanto da matriz quanto das fibras, ou seja, isodeformação.

1.2.3.2 Compósitos Com Fibras Descontínuas

Na engenharia muitos são compósitos reforçados com fibras descontínuas. A maior vantagem dos compósitos fibrosos é transmitir os esforços para o reforço. Estes esforços podem ser transmitidos por deformação plástica ou elástica da matriz naqueles pontos, e nas extremidades da fibra. As tensões na fibra descontínua apresentam-se de forma heterogênea.

As técnicas de fabricação aplicadas a materiais compósitos de fibras pequenas abrangem processos de fabricação já conhecidos, como: moldagem por compressão, injeção e extrusão. De acordo com Agarwal *apud* Lima (2006) em todos estes processos as

fibras descontínuas colocam-se em paralelo ao plano da superfície do molde, de forma aleatória, logo compósitos com reforço de fibras descontínuas podem ser isotrópicos. As fibras descontínuas também podem ser conjugadas com resinas, como reforço de um compósito feito em moldes. Nesta manufatura de compósitos, no molde ou extrusão, é possível manipular a orientação dessas fibras em paralelo ao fluxo de material, resultando um sistema compósito com orientação não isotrópico.

Fibra de vidro picadas, fibra de carbono e aramida são exemplos de compósitos com fibras descontínuas e alinhadas. Normalmente estas são realizadas com fibras sintéticas, ao passo que as fibras vegetais são orientadas de forma aleatória.

1.2.3.3 Fase fibra

Uma fibra de diâmetro pequeno é muito mais forte comparada com um material maciço. Callister (1991) nos leva a compreender que as fibras são agrupadas de acordo com o diâmetro em três diferentes grupos: filamentos (*"whiskers"*), fibras e fios. Os filamentos são monocristais muito finos. Decorrente do seu tamanho reduzido, eles proporcionam perfeição cristalina e não apresentam discordâncias, são conhecidos como os materiais mais resistentes. As fibras sintéticas são excelentes reforçante, embora não são usadas com frequência, devido seu dispendioso processo.

1.2.3.4 Fase matriz

A fase matriz de compósitos de fibras é responsável por várias atividades. Uma das funções da fase matriz é realizar a ligação das fibras entre si, e reagir quando uma tensão é aplicada para ser distribuída proporcionalmente na fase matriz. Outra função da matriz é impedir abrasão mecânica ou reações químicas com o ambiente, ou seja, resguardar as fibras separadamente. Estas interferências podem ocasionar defeitos superficiais possibilitando a formação de trincas, fragilizando o material quando submetido a baixos níveis de tensão de tração. Porém a matriz de acordo com suas propriedades de maciez e plasticidade tem a capacidade de isolar as fibras entre si, evitar a propagação das trincas.

É importante que a aderência entre as fibras e a matriz seja boa para evitar que as fibras se soltem, ou seja, é imprescindível a combinação da matriz-fibra para aumentar a resistência de ruptura dos compósitos. São necessários que os materiais das matrizes sejam dúcteis, para isso os melhores materiais que somam esta propriedade são os polímeros e os metais. Metais que são frequentemente reforçados por fibra incluem alumínio

e cobre. Já os polímeros apresentam uma grande quantidade e diversidade de aplicações de compósitos. Os polímeros matrizes incluem quase todos os termoplásticos e termorrígidos.

1.2.3.5 Compósitos reforçados por fibras de vidro (*fiberglass*)

Este tipo de compósito é formado por uma matriz plástica com fibras de vidro (*Fiberglass*), que podem ser contínuas ou descontínuas. Existem muitas vantagens para o emprego de compósitos de fibra de vidro. Por exemplo, a variedade de técnicas no processo de fabricação, o baixo custo, uma manufatura simplificada. Portanto, devido apresentar alta resistência não são muito rígidos, por isso, existem restrições na sua aplicação como elemento estrutural, aeronaves e pontes. A maioria dos materiais de *fiberglass* está limitada a temperaturas até 200° C.

1.2.3.6 Compósitos Reforçados com Fibras Miscelâneas

Um compósito interessante a ser estudado é a junção entre a matriz plástica e fibra de carbono. O carbono em forma de fibra apresenta módulo específico muito mais alto do que o vidro. A fibra de carbono apresenta resistência a temperaturas e produtos químicos corrosivos, um agravante é seu custo elevado. Sua aplicabilidade maior é na indústria aeronáutica com o propósito de redução de peso comparado com peças fabricadas em metal.

Uma fibra polimérica que merece destaque perante sua utilização em componentes estruturais e demonstra baixo peso, é o *aramids*. Requisitado para a fabricação de equipamentos aeroespaciais, aeronavais, marinhos e esportivos.

1.2.3.7 Compósitos Híbridos

Parte do pressuposto do compósito que utiliza mais de dois tipos de fibra numa única matriz. O compósito híbrido tem uma combinação de propriedades melhor do que compósitos que apresentam apenas um único tipo de fibra. O híbrido vidro-carbono é um bom exemplo de união das melhores características de cada componente. A fibra de vidro não possui rigidez, e são baratas ao passo que as fibras de carbono são fortes e rígidas, fornecem um reforço de baixa densidade; entretanto, são caras. Estes dois materiais, um

supera a carência do outro, seja na propriedade seja no valor econômico. Portanto o compósito vidro-carbono é mais forte e mais tenaz, tem maior resistência ao impacto e pode ser produzido num custo menor do que qualquer um dos plásticos.

Existem várias maneiras de combinação das fibras. As fibras podem ser alinhadas e misturadas entre si; a outra maneira de arranjo pode ser laminação feita com cada camada um tipo de fibra.

A grande vantagem dos compósitos híbridos é quando eles são submetidos à tensão de tração, existe uma transferência de carga para as fibras que são constituídas de tipos diferentes com propriedades diversas. As falhas surgem, porém não são repentinas, portanto, não são catastróficas.

O mais indicado para compósitos híbridos são equipamentos ortopédicos, esportivos, transporte rodoviário, aquático e aéreo.

1.2.3.8 Processamento de compósitos reforçado com fibra

Na produção de plásticos reforçados com fibras contínuas as fibras são uniformemente distribuídas dentro da matriz plástica. Em determinados casos devem estar orientadas na mesma direção. Alguns processos de fabricação são: *pultrusion*, *filament winding*, e *prepreg production processes*.

Pultrusion é um processo automatizado, usada para a fabricação de componentes tendo comprimentos contínuos, isto é, hastes, tubos, feixes, entre outros.

Filament winding (Enrolamento de Filamento) é um processo que utiliza fibras reforçantes contínuas. Estas fibras são dispostas de modo que resulte em um elemento oco.

Prepreg é reforçado com fibra contínua e resina polimérica, parcialmente curada. Este material é disponível em fita, que a seguir molda diretamente e cura completamente o produto sem ter que adicionar nenhuma resina. Este é processo de compósito mais indicado para elementos estruturais.

1.3 Compósitos reforçado com fibras

O compósito que emprega as fibras como reforço vem aumentando o interesse na área de produção de materiais, pois uma fibra com diâmetro pequeno é muito mais rígida e resistente do que o mesmo material em forma bruta.

Por meio de ensaios é provado que a resistência da maioria dos materiais é menor que sua resistência teórica. A diferença entre esses valores de resistência é devido às

imperfeições do material produzido artificialmente. Para solucionar a baixa resistência busca-se compensar com um projeto super dimensionado. É arriscado quando o material apresenta falhas perpendiculares à direção das cargas aplicadas.

Logo, as fibras sintéticas de materiais poliméricos possuem resistências maiores, ao longo de seus comprimentos, decorrente das pequenas dimensões da secção transversal das fibras. No caso de materiais poliméricos a orientação da estrutura molecular é responsável por altas resistências e rigidez. As propriedades de algumas fibras são tão boas quanto às de alguns materiais convencionais, isto resume a importância das fibras como detentora de altas resistências em materiais compósitos.

As fibras, devido suas pequenas dimensões de seção transversal são colocadas nas matrizes para formar o sistema compósito. Reunindo as fibras umas às outras, consegue adicionar propriedades e evita danos oriundos do meio ambiente e danos do manejo, são algumas das vantagens para a produção de compósitos com fibras.

A mudança da carga da matriz dos compósitos fibrosos descontínuos é mais complexa do que nos compósitos fibrosos contínuos, que por sua vez detém altas resistências, conseqüentemente os compósitos fibrosos contínuos destacam-se industrialmente.

Os compósitos fibrosos podem ser classificados como, unilaminares ou multilaminares. Compósitos multilaminares são constituídos de várias lâminas, cada lâmina possui direções iguais, com as propriedades podendo divergir ou não. Compósitos unilaminares são constituídos de fibras descontínuas com lâminas iguais. Um exemplo é o feltro, mantas não-tecidos, cuja orientação é aleatória em cada camada. Muitos compósitos usados em aplicações estruturais são laminados, e consiste em várias lâminas de compósitos fibrosos.

Cada lâmina é um compósito unilaminar e sua orientação é determinada pelo projeto. A lâmina não é usada isoladamente, devido sua espessura ser delgada aproximadamente de 0,1 mm. Os laminados possuem materiais constituintes iguais, ao passo que, os laminados híbridos são materiais diferentes.

As fibras em compósitos unilaminares podem ser curtas ou longas. Reforços de fibras curtas significam compósitos reforçados com fibras descontínuas e reforços de fibras longas são compósitos reforçados com fibras contínuas. O comprimento da fibra descontínua altera as propriedades do compósito. Enquanto nos compósitos de fibras contínuas a resistência mecânica está subordinada ao alinhamento da direção do carregamento, no qual é o principal material de sustentação de cargas.

O reforço contínuo em lâmina pode ser unidirecional e bidirecional. O compósito fibroso unidirecional tem suas fibras contínuas todas alinhadas em uma única direção, cujas

fibras estão dispostas no mesmo sentido, e impregnadas com resinas poliméricas, por exemplo: poliéster ou epóxi, no qual, exercem o papel de matriz. Este tipo de material compósito, com fibras pré-impregnadas, é chamado de *prepregs*. O reforço contínuo em lâmina única bidirecional apresenta direções perpendiculares em forma de tramas.

1.3.1 Compósitos com Fibras Vegetais

As fibras vegetais estão classificadas no grupo denominado “produtos verdes”, no qual apresentam benefícios ao meio ambiente e vantagens econômica, que aumenta a preferência.

Compósito verde deve ter pelo menos um dos materiais constituintes natural. Assim como alguns materiais compósitos podem ser formados de materiais verdes, estes são obtidos de matérias-primas provenientes da reciclagem.

A estrutura da madeira é semelhante a das fibras vegetais. A madeira é constituída de elementos químicos, como celulose, hemicelulose, lignina, resinas, gomas e outras substâncias minerais chamadas extrativos.

A celulose é um componente muito importante nas fibras vegetais, trabalha como um item estrutural aumentando a resistência à tração. De acordo com Chand *et al.* (1988), o módulo de resistência à tração são diretamente proporcionais ao teor de celulose das fibras. Este componente é um polímero linear de unidades de glicose medindo aproximadamente o comprimento de 2.500 a 5.000 nm, o que corresponde a um grau de polimerização acima de 15.000 (Figura 5).

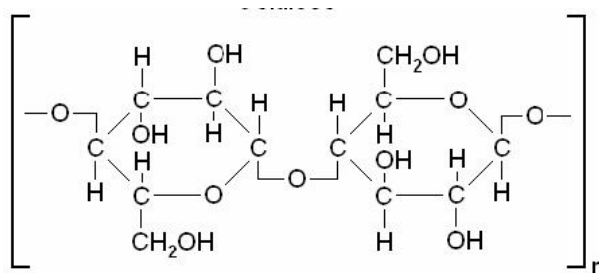


Figura 5 – Estrutura do mero da celulose

A Figura 6 apresenta um desenho representativo, da parede celular de uma fibra constituída por celulose, hemicelulose e lignina. Moléculas de celulose agrupadas em

paralelo são denominadas de microfibrilas, que por sua vez, são formadas de 50 a 80 moléculas de celulose.

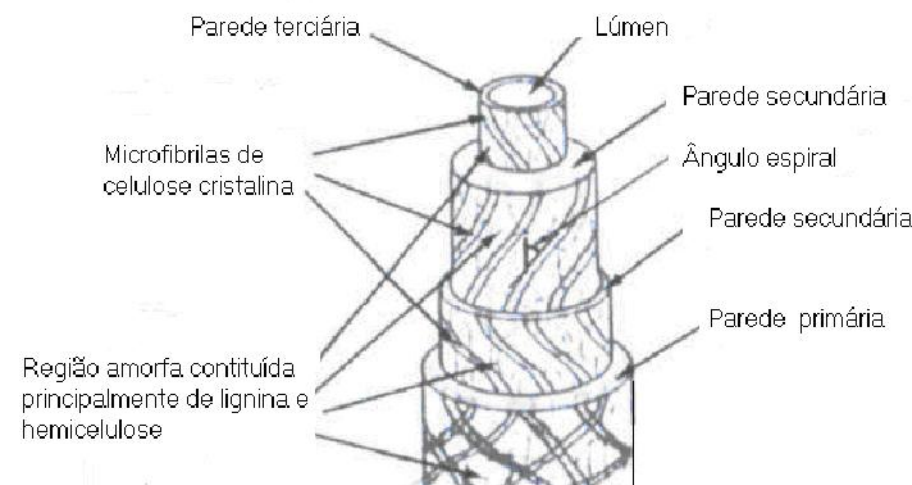


Figura 6 – Desenho representativo de uma fibra-celular.

FONTE: Fagury (2005).

1.4 Fibras Lignocelulósicas

As fibras lignocelulósicas segundo Morassi apud Silva (1999) são extraídas de várias partes como: do caule, da folha, da semente, do fruto e da raiz. Como exemplo é citado as principais categorias de fibras lignocelulósicas de boa disponibilidade.

- Fibras do caule: linho, juta, cânhamo, quenafe e rami.
- Fibras da folha: sisal, bananeira, curauá, abacá e henequém.
- Fibras da semente: algodão e açai.
- Fibras da madeira: madeira picada e serragem.

As fibras lignocelulósicas, usadas em materiais compósitos como matérias-primas para reforço podem ser agrupadas em dois grandes grupos. No primeiro, encontram-se resíduos agrícolas, por exemplo, cascas de arroz, palhas de cereais, cascas de coco. O segundo grupo é formado por fibras cultivadas para extração como o linho (*Linum usitatissimum*), sisal (*Agave sisalana*), cânhamo (*Cannabis indica*), juta (*Corchorus capsularis*), rami (*Boehmeria nivea*) e outros.

A importância dos compósitos reforçados com fibras lignocelulósicas vem crescendo em vários produtos de engenharia e em especial na construção civil. Ressaltando a biodegradabilidade das fibras naturais em relação às fibras sintéticas. A seguir são

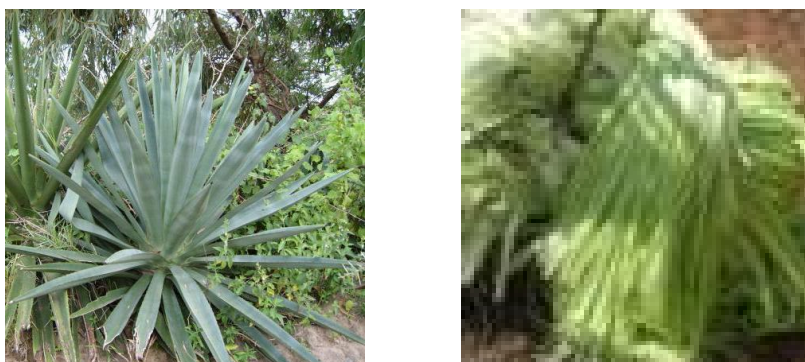
apresentadas algumas fibras naturais que podem ser empregadas em produtos de engenharia.

1.4.1 Fibras de Sisal

O sisal (*Agave sisalana*) é cultivado em regiões semi-áridas. No Brasil os estados da Paraíba e da Bahia são os principais produtores.

Vários trabalhos científicos foram mencionados por Joseph *et al apud* Lima (2007), a respeito dos aspectos estruturais e propriedades das fibras de sisal (Figura 7), comprovando sua eficiência na fabricação de chapas planas e corrugadas. Cujo compósito é viável economicamente com alta resistência mecânica e resistente ao fogo.

Além disso, existem diversos estudos das fibras de sisal conjugadas com polímeros, melhorando propriedades mecânicas, reológicas, elétricas e visco elástico.



(a)

(b)

Figura 7 – (a) Planta do sisal. (b) Fibra do sisal.

1.4.2 Fibras de Curauá

O curauá, cujo nome científico, *Ananas erectifolius*, é uma planta da região amazônica. Sua fibra lignocelulósicas possui elevada resistência mecânica, comparativamente com outras fibras. De acordo com Monteiro *et al* (2006), a fibra do curauá vem despertando interesse econômico. As folhas atingem mais de um metro de comprimento e quatro centímetros de largura (Figura 8), são rígidas eretas e com faces planas.



(a)

(b)

Figura 8 – (a) Planta do curauá. (b) Fibra do curauá.

1.4.3 Fibras de Coco

A fibra de coco, originária do coqueiro comum (*Cocos nucifera*) é mundialmente conhecida como *coir*. Esta palmeira é encontrada em todos os países tropicais (Figura 9). A fibra retirada do coco, ou seja, do mesocarpo, é analisada como uma fibra longa, variando em comprimento entre 15 e 35 centímetros.

As fibras longas, denominadas “*bristles*”, são utilizadas na indústria de escovas; e as fibras curtas, denominadas “*matress*”, usadas como material de enchimento e para almofadas. O resíduo deste processo resulta em outro tipo de fibras curtas, conhecido por “*combings*”,

As fibras de coco têm sido aproveitadas para produzir os laminares particulados e laminares fibrosos. Savastano *apud* Rowell *et al.* (1996), desenvolveu várias pesquisas utilizando a fibra de coco na construção civil.

A fibra de coco destaca-se pela alta elasticidade, maior que na maioria das outras fibras vegetais, a alta resistência à umidade e às condições climáticas, além da alta resistência ao desgaste



(a)



(b)



(c)

Figura 9 – (a) Coqueiral. (b) Coco. (c) Fibra de coco.

1.4.4 Fibras de Juta

A juta (*Corchorus capsularis*) é uma herbácea que atinge uma altura de 3 a 4 metros (Figura 10). Para seu plantio é necessário um clima quente e úmido, um solo drenado e fértil. 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 (Lima 2007).

As fibras de juta são removidas por intermédio da ação dos micróbios que enfraquecem as tramas das fibras, processo este designado de *retting*. Em seguida as fibras são extraídas manualmente e colocadas para secar.

Esta 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.



(a)

(b)

Figura 10 – (a) Planta da juta. (b) Fibras de juta

1.4.5 Fibras de Bambu

Da família *Gramineae*, na subfamília *Bambusoideae* (Figura 11), existe dois grupos de gênero, a *Bambuseae* (bambus lenhosos) e a *Olyrae* (bambus herbáceos). São cultivados tanto em clima tropicais como temperados. O bambu comum (*Bambusa vulgaris*) possui caules lenhificados que são fabricados objetos artesanais, móveis, cestos, instrumentos musicais.

A fibra de bambu é detentor de boas propriedades físicas e mecânicas, seu módulo de elasticidade em relação ao peso é mais elevado que o da fibra de aço. É um material muito utilizado na engenharia.

Na Índia são desenvolvidas pesquisas com três tipos de bambu: o *bamboo mat board* (BMB), *bamboo mat veneer composites* (BMVC), *bamboo mat corrugated sheets* (BMCS). Os órgãos responsáveis por estas pesquisas são o IPIRTI – *Indian Plywood Industries Research & Training Institute* de Bangalore, juntamente com o BMTPC – *Building Materials and Technology Promotion Council*. Os resultados destas pesquisas originaram o cultivo de uma nova espécie de planta comercial, destinado para a fabricação de um sistema de cobertura ecologicamente correto com capacidade de 3.000 telhas por mês.



(a)



(b)

Figura 11 – (a) Planta do bambu. (b) Fibra de bambu.

Capítulo 2 – Produtos de madeira e aglomerados

Este capítulo trata da definição da madeira com suas respectivas propriedades, para que se possa ter uma compreensão total da madeira e sua classificação. Aborda também os painéis feitos de madeira aglomerada.

2.1 Definição geral da madeira

A madeira é um material anisotrópo que depende da disposição das suas fibras. Ocorre expansão e retração em direções diferentes decorrentes das variações de umidade no ambiente. No sentido longitudinal ao eixo de uma tora, a variação é mínima de 0,1%, ao passo que no sentido tangencial é máxima podendo chegar até 10%, e no sentido radial, cerca de 5%.

A madeira é um material que vem sendo utilizado com abundância na construção civil e nos últimos anos com aproveitamento quase total desta matéria-prima. Pode ser usada para poste, viga, vigota e ripa.

Existem vários tipos de peças feitas na madeira maciça, que são agrupados de acordo com as respectivas dimensões e bitolas. Conforme Lima (2006) pode ser classificado seis tipos de peças, por exemplo: o pranchão possui uma espessura maior que 70 mm e largura maior que 200 mm, a prancha com largura e espessura entre 40 a 70 mm; desse modo segue com as outras peças como mostra a Tabela 1. O comprimento das peças modifica conforme o tipo de madeira, e este vai de 2.000 mm a 6.000 mm.

Tabela 1 - Peças feitas na madeira maciça.

Peça	Espessura (mm)	Largura (mm)
Pranchão	> 70	> 200
Prancha	40 a 70	> 200
Viga	> 40	100 a 200
Tábua	10 a 40	> 100
Sarrafo	20 a 40	20 a 100
Ripa	> 20	> 100
O comprimento é variável.		

FONTE – Adaptada de Lima (2006).

O conceito de produzir chapas de partículas vem desde início século XX, de acordo com Kollmann *et al* (1975) *apud* Nascimento *et al*. Nos Estados Unidos da América do Norte, em 1901, surge com a primeira patente de chapa de madeira aglomerada. Na Alemanha a produção de chapas inicia em 1940. E o Brasil segundo o BNDES (2003), começa a produzir em 1970, com grande aceitação comercial e incentivo do Conselho de Desenvolvimento Industrial do Ministério da Indústria e do Comércio – CDI.

O compensado, um tipo de chapa comercialmente muito utilizado no Brasil, consiste em sobrepor camadas de chapas de madeira perpendicular entre si. A finalidade de colocar as camadas em direção contrária proporciona um aumento de resistência à flexão e estabilidade dimensional. A quantidade de camadas será sempre em números ímpares, para que possa coincidir a direção das fibras das superfícies externas. Outra vantagem é o uso quase total da madeira inclusive do alburno uma parte que é corriqueiramente descartada.

O compensado é produzido para atender a indústria moveleira e a construção civil. A primeira especificação segundo a Revista da Madeira (1997) *apud* Dias (2008) possui uso interno com colagem à base de resina de uréia-formaldeído, a segunda possui uso externo com colagem à base de resina de fenol-formaldeído.

As propriedades físicas como a densidade do compensado e estabilidade dimensional são consideradas itens imprescindíveis na tarefa projetual.

As variações dimensionais são decorrentes do teor de umidade, da temperatura e outros fatores, de acordo com Steck (1995) *apud* Dias (2008), para isto é necessário verificar a propriedade física como a estabilidade dimensional.

Ao passo que as propriedades mecânicas a serem observadas são o Módulo de Resistência – MOR e o Módulo de Elasticidade – MOE. São obtidos com o ensaio de flexão estática. Quanto à resistência da madeira a tração paralela às fibras é superior a tração perpendicular.

Conforme a norma NBR 9532 os compensados recebem uma determinada nomenclatura. Compensado de uso geral é denominado de GER, forma de concreto - FOR, o compensado industrial - IND, compensado naval - NAV, e sarrafeado é SAR. A norma NBR 9533 recomenda para os compensados FOR o valor mínimo de 4.000N/mm² em MOE (Módulo de Elasticidade), no ensaio de flexão estática.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT classifica as chapas de compensados, conforme sua aplicabilidade.

IR – Interior, corresponde a chapa colada com emprego em locais de alta umidade sem contato com água.

IM – Intermediária é chapa colada destinada para locais de alta umidade com contato eventual da água.

EX – Exterior chapa colada com cola à prova de água.

Os compensados são agrupados conforme sua composição e aplicação de uso. Os tipos de compensados e aglomerados mais comuns comercialmente são:

- Compensado sarrafeado - é formado por duas camadas laminares na superfície externa e no interior com sarrafos de madeira mista, coladas com cola branca ou fenólica;

- Compensado blockboard - é produzido duas camadas de revestimento similar a do compensado sarrafeado e no interior com lâminas de madeira no formato de tiras dispostas perpendicularmente a estas lâminas;

- Aglomerado - é constituído de partículas de madeira que são unidas pela adição de resina sintética termofixas (fenol-formaldeído, uréia-formaldeído ou uréia-formaldeído), submetidas à pressão e calor;

- MDF – Medium Density Fiberboard (painel de fibras de madeira de média densidade) - é determinado por fibras coladas com resina sintéticas uréia-formaldeído e parafina com a ação de pressão e calor;

- Madeira reconstituída - é elaborada 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 - é um aglomerado produzido por lascas ou pedaços laminares de madeira reflorestada misturadas com cola à base de resina fenólica, uréia-formaldeído e melamina e por meio da temperatura e pressão.

A madeira maciça produz cinco grupos conhecidos no mercado nacional e internacional, descritos na Tabela 2 com o seu respectivo emprego industrial.

Tabela 2 – Classificação da madeira com o seu respectivo emprego industrial.

Produto	Madeira transformada	Emprego industrial
Tábuas e Pranchões	Peças de madeira maciça	Aplicação geral
Laminados	Compensados sarrafeados	Móveis, divisórias, portas etc.
	Compensados de uso comum	Móveis, divisórias, carrocerias, embalagem
	Compensado estrutural	Cons. civil, naval, carrocerias etc.
	Faqueados	Revestimentos decorativos
	Radcas	Revestimentos decorativos
Partículas	Aglomerados	Móveis, divisórias etc.
Fibras	MDF	Móveis, divisórias, brinquedos, embalagens
	Papel/papelão	Embalagem, brinquedos, pastas, cadernos
	Reconstituídos	Móveis, divisórias, brinquedos, embalagem
Lascas	OSB	Cons. civil, divisórias, portas, móveis

FONTE – Lima (2006).

A chapa de madeira aglomerada é definida por Maloney (1977) e Tonissi (1988) *apud* Nascimento como painel constituído de particulado madeireiro com dimensões diversificada, misturada com resina sintética (adesivo industrializado) ou resina natural, no qual são prensados termicamente. A recomendação é o emprego de madeiras com baixa e média densidade.

Quanto à produção de chapas itens importantes devem ser observados, como: umidade, temperatura e pressão, resistência mecânica e aplicabilidade desta placas. O particulado de madeira cuja matéria-prima pode ter origem de resíduo industrial grosseiro, tal como costaneiras e miolos de toras laminadas; de resíduo industrial fino, tal como pó-de-serra e cavacos de plaina; de desbaste e poda; de cavacos de madeira proveniente da indústria moveleira; de materiais lignocelulósicos como casca de arroz, bagaço de cana e de resíduo agrícola. No caso desta pesquisa o particulado é um material lignocelulósicos, a fibra da semente do açáí.

Como o emprego da madeira é formador de pedaços de material, este resíduo pode ser beneficiado com destino orientado para a produção de chapas de fibras, chapas de partículas de madeira aglomerada, chapas de compensado, MDF e OSB.

A madeira maciça serrada é classificada no mercado internacional como produtos engenheirados de madeira (*engineered Wood products*). A procura no mercado por produtos deste tipo aumenta cada vez mais, principalmente na construção civil e na indústria

moveleira. São classificados como *engineered Wood products* os painéis de lâminas, painéis de partículas, chapas de fibra e madeira laminada colada. Uma técnica desenvolvida em 1944, denominada de LVL (*laminated veneer lumber*) painel de lâminas paralelas, para fabricação de aviões foi a colagem de lâminas de madeira no mesmo sentido. As principais vantagens sobre a madeira serrada é a viabilidade de produzir peças pequenas e grandes, formas diversificada e os defeitos são contornados com maior facilidade.

A produção de painéis de madeira aglomerada consiste em seis diferentes etapas como mostra a Tabela 3 que vai desde preparo da tora até o acabamento segundo Iwakiri (1998) *apud* Dias (2008).

Tabela 3 – Painel de madeira compensada.

Chapa de madeira compensada	
1.	Preparo da tora
2.	Obtenção das lâminas
3.	Secagem das lâminas
4.	Classificação das lâminas
5.	Junção das lâminas e colagem das bordas
6.	Aplicação do adesivo
7.	Formação do colchão
8.	Prensagem do compensado
9.	Acabamento

FONTE – Adaptada Dias (2008).

1. Preparo da tora

Incide no corte da madeira direcionado para pedaços menores como pranchões, nos quais serão colocados para a etapa seguinte.

O preparo da semente consiste em lavar as sementes para retirar o excesso da polpa da fruta, secar em temperatura ambiente, em seguida em estufa a 70° C por um período de 24 (vinte e quatro) horas.

2. Obtenção das partículas de madeira

Nesta etapa conforme Olmos (1992) *apud* Dias (2008) é o momento crucial para definição da dimensão das partículas.

Obtenção da fibra de açaí corresponde a extração das fibras que são realizadas em dois momentos: o primeiro momento as sementes são removidas da estufa, após o período

de 24 (vinte e quatro) horas o segundo momento trata da retirada das fibras, devido o período na estufa as sementes ficam mais secas facilitando o desprendimento da fibra sobre na semente.

3. Secagem das lâminas

Mantendo um controle no teor de umidade para Olmos (1992) *apud* Dias (2008), é possível proporcionar qualidade na produção das chapas. Para a produção de painéis de fibra não ocorre a secagem das lâminas.

4. Classificações das lâminas

Ao passo que a classificação lâminas é uma etapa posterior da secagem, no qual, irá selecionar as lâminas por meio das peneiras.

Para a produção de painéis de fibra não ocorre a classificação da fibra

5. Junção das lâminas e colagem das bordas

Processo de reunir as lâminas que foram selecionadas anteriormente e em seguida colar as bordas.

Junção das fibras e colagem das bordas não ocorre para a produção de painéis de fibra

6. Aplicação do adesivo na madeira

Esta etapa é também conhecida como a resinagem das partículas, corresponde uma homogeneização das partículas com o adesivo.

Aplicação do adesivo na fibra ocorre igualmente para as fibras: consiste em misturar as fibras com o adesivo.

7. Formação do colchão de madeira

Incide em fazer um colchão, ou seja, colocar a quantidade de material num molde correspondente a uma placa, no qual a espessura da chapa é pré-determinada. Formação do colchão de fibra Idem para a formação de colchão de fibras.

8. Prensagem do compensado de madeira

Primeiramente antes de prensar a placa é feita uma prensagem parcial no colchão com o objetivo de minimizar a altura e aumentar sua integração interna. No andamento

desta etapa o colchão é prensado. Prensagem do compensado de madeira é igual para a prensagem da placa de fibra.

9. Acabamento do compensado de madeira

As chapas são resfriadas em temperatura de ambiente em seguida são empilhadas aguardando o período de cura da resina. Após o período de cura as chapas são esquadrejadas e preparadas para os respectivos ensaios. Acabamento do compensado de fibra procede do mesmo modo para o acabamento de chapa de fibra.

2.2 Painéis

Iwakiri (2005) classifica os painéis conforme a densidade, tipos de partículas e distribuição das partículas na chapa. Painéis com $0,59 \text{ g/cm}^3$ é considerado de baixa densidade, a partir deste valor até $0,80 \text{ g/cm}^3$ é estimado de média densidade e o painel de alta densidade corresponde valores acima de $0,80 \text{ g/cm}^3$, como mostra a Tabela 4.

Tabela 4 – Densidade dos painéis.

Densidade	
Baixa	$> 0,059 \text{ g/cm}^3$
Média	$0,059 \text{ g/cm}^3$ a $0,08 \text{ g/cm}^3$
Alta	$< 0,080 \text{ g/cm}^3$

FONTE – Iwakiri (2005).

A qualidade do compósito está relacionada com o tipo de adesivo, processo de colagem, condição das laminas (fibras), por fim com o procedimento de prensagem que depende de variáveis como a temperatura, pressão e tempo.

A norma NBR 14810 qualifica as chapas de madeira aglomerada de acordo com sua densidade, tipo de adesivo, e geometria das partículas. A densidade média das chapas deve ser entre $0,59$ a $0,80 \text{ g/cm}^3$, com geometria das partículas de forma quadrada e retangular.

De acordo com Iwakiri (2003), a distribuição das partículas está determinada em três grupos (Figura 12 e 13): homogêneas, graduada e múltiplas camadas (três e cinco camadas).

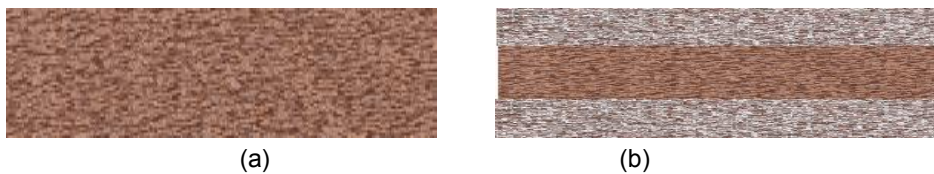


Figura 12 – Distribuição das partículas. (a) Chapa de partículas homogêneas. (b) Chapa de partículas graduada.

FONTE – Iwakiri (2005).

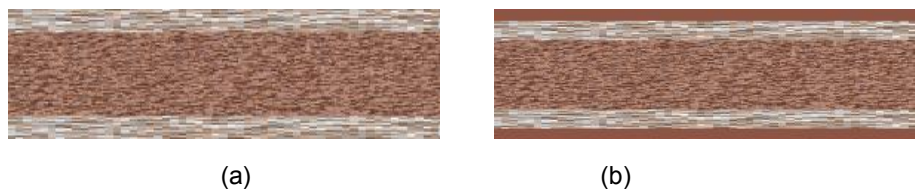


Figura 13 – (a) Chapa de partículas com três camadas. (b) Chapa de partículas com cinco camadas.

FONTE – Iwakiri (2005).

As colagens feitas com os painéis de madeira é recorrente um processo físico-químico denominada de adesão, no qual ocorre uma interação entre as superfícies sólidas e o adesivo. O adesivo muitas vezes se encontra em forma de gotas ou pó.

De modo abrangente conforme Iwakiri (2005), a adesão mecânica se processa com o adesivo líquido penetrando em materiais porosos e solidificando os respectivos substratos. Para adesão polimérica a difusão ocorre a nível molecular. Ao passo que a adesão química o processo é intermolecular e ou por ligações primárias, iônicas ou covalentes.

Segundo Mara (1992) *apud* Iwakiri (2005), a ação do adesivo corresponde a cinco fases: fluidez, transferência, penetração, umedecimento e solidificação.

A fluidez consiste na mistura do adesivo sobre a superfície do substrato; a transferência é a mudança do adesivo para a superfície oposta. A terceira fase denominada de penetração trata da ação de entrada do adesivo nas estruturas intersticiais da madeira. Finalizando o processo de colagem ocorre o umedecimento uma atividade para envolver a estrutura submicroscópica da madeira, e ocorre a solidificação que transforma o estado líquido para o estado sólido.

Com o objetivo de otimizar as características das chapas é recorrente o emprego de aditivos químicos que são adicionados durante a homogeneização das partículas e adesivo. Os produtos químicos mais comuns segundo Iwakiri (2003) *apud* Dias (2008) são o

catalisador, emulsão de parafina, retardantes de fogo e repelentes de fungos. O catalisador ou endurecedor acelera o adesivo reduzindo o tempo de cura da resina uréia-formaldeído. Emulsão de parafina abrevia a higroscópica das partículas e melhora a estabilidade dimensional. Retardante de fogo inibe a propagação da chama no compósito. Repelentes de fungos previnem o material da praga de insetos.

Capítulo 3 – AÇAÍ

3.1 Definição

O açazeiro é uma palmeira típica da Amazônia de clima tropical (Figura 14 (a)), com duas espécies: *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).

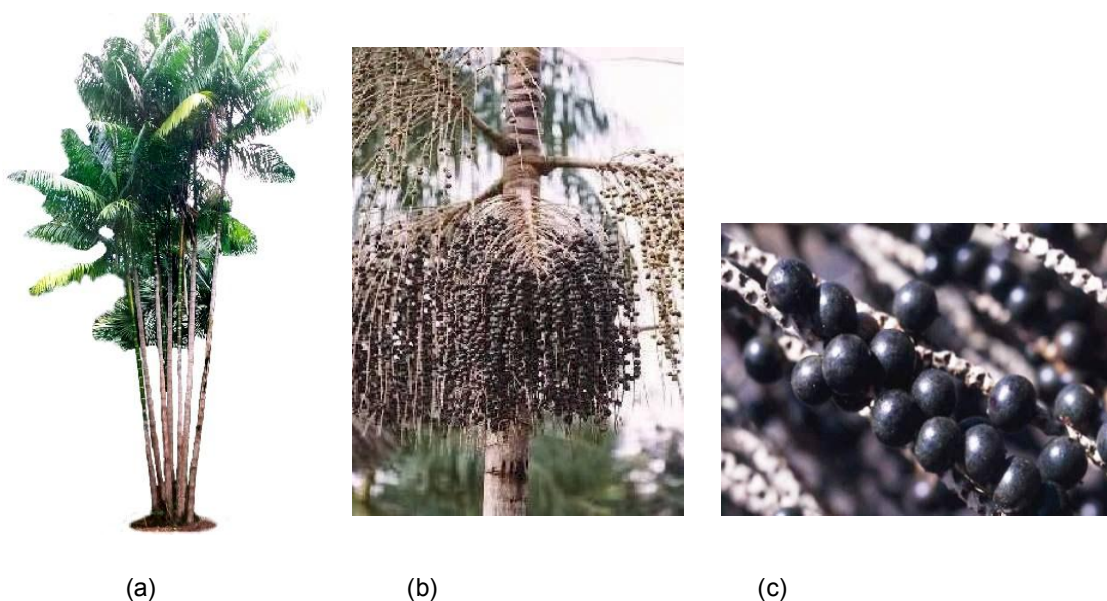


Figura 14 – (a) Açazeiro. (b) Cacho de açai na palmeira. (c) Açai.

Logo, é na região do estuário do Rio Amazonas que se concentra o maior número dessa palmeira. Seu cultivo se dá em clima quente e úmido e não suporta longos períodos de estiagem, porém suporta elevadas temperatura, precipitação pluviométrica e umidade relativa do ar. São encontradas em solos de várzeas, igapós e terra firme, formando ecossistemas de floresta natural, conhecidos como açazais.

De acordo com a I Conferência Estadual das Populações Tradicionais do Amazonas (2005) realizada cidade Manaus (AM), no período de 8 a 11 de novembro de 2004, fez um levantamento produção do açai no estado. A Secretária de Estado do Meio Ambiente de Desenvolvimento Sustentável – SDS e Secretária Adjunta de Extrativismo – SEAE, em parceria com o Ministério do Meio Ambiente e WWF-Brasil, foram responsáveis por esta

conferência. Estimando para a produção do açaí no Amazonas no ano de 2004 foi de 7.000 toneladas e para o consumo de Manaus é cerca de 5.000 t/ano.

O estado do Amazonas é formado por 62 municípios, mas apenas 28 são considerados produtores de açaí (Figura 15). Pesquisadores e técnicos colocaram em pauta na I Conferência Estadual das Populações Tradicionais do Amazonas (2005) que os municípios de Codajás, Anori e Anamá são os principais núcleos (pólos) produtores do estado que podem ser estendidos para Caapiranga e Mancapuru.

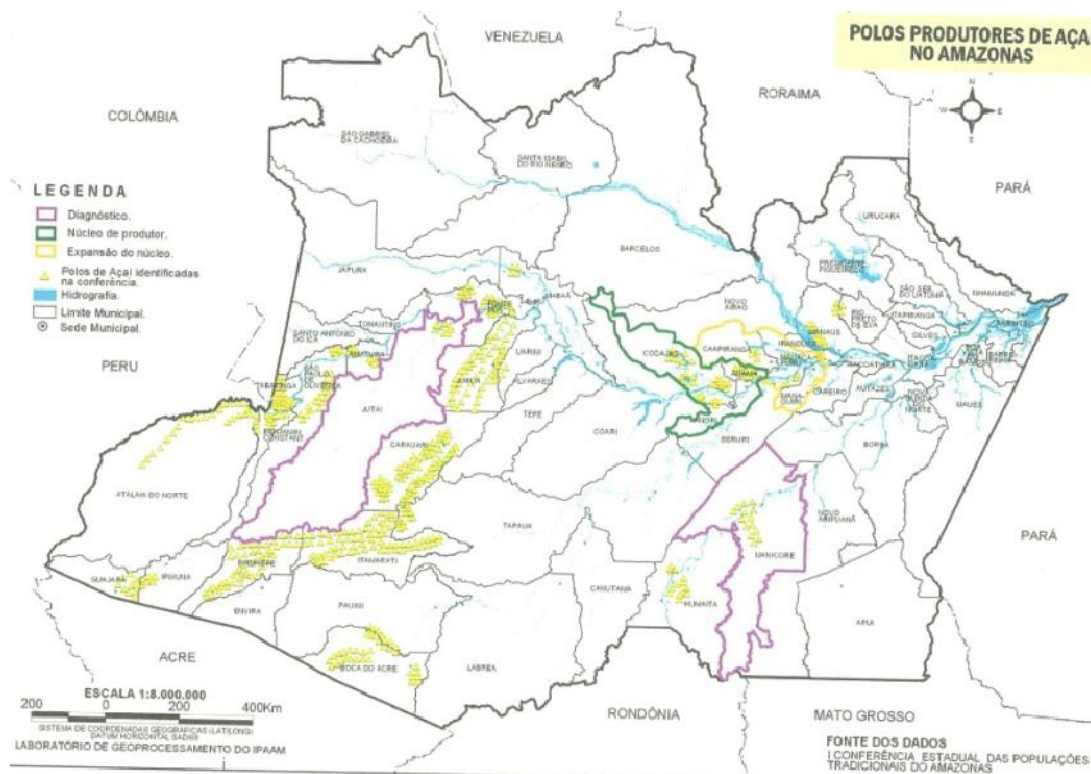


Figura 15 – Municípios produtores de açaí no Amazonas.

FONTE: Caderno do Extrativismo que apresenta os resultados da I Conferência Estadual das Populações Tradicionais do Amazonas (2005).

Do fruto do açaizeiro é extraído o vinho, polpa ou simplesmente o açaí, como é conhecido na região. A polpa corresponde 15% e é empregada para fazer sorvetes, licores, doces, néctares e geléias. O caroço representa a 85% do peso total, cuja essência é matéria-prima para a fabricação de cosméticos; as fibras utilizadas na produção de móveis, placas acústicas, xaxim, compensados, indústria automobilística, entre outros de acordo com Tinoco (2005) apud Martins (2009).

A fibra do açaí é uma fibra natural de origem vegetal. Segundo Lima (2007), o termo fibras lignocelulósicas é empregado para estas fibras, por diferentes autores. As fibras lignocelulósicas apresentam baixa densidade, resistência e módulo de elasticidade, menor abrasividade, não-tóxicas e biodegradáveis, além de vantagens ecológicas como fonte natural abundante e renovável.

A fibra é extraída da semente, esta é beneficiada e tingida para a confecção de artesanato e biojóias (Figura 16) A fibra da semente do açaí ainda não possui uma aplicação industrial intensiva. 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.

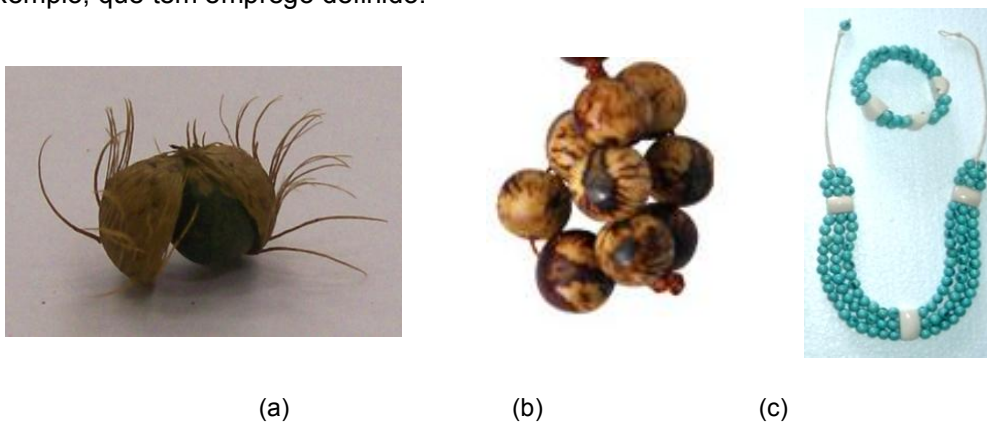


Figura 16 – (a) Extração da fibra da semente do açaí. (b) Semente beneficiada. (c) Biojóia natural e tingida.

Segundo Martins *et al* (2009), nas últimas décadas, vem crescendo a implementação das fibras naturais como aditivos ou reforços para compósitos poliméricos, devido o alto preço das fibras sintéticas e a investigação crescente por materiais de fontes renováveis e de baixo custo. Preferencialmente estes materiais devem possuir boas propriedades mecânicas e térmicas, baixa densidade e não causem impactos ambientais. Como resposta positiva para estes estudos as fibras estão sendo utilizadas nas indústrias da construção civil, da automobilística e da aeronáutica.

Na agroindústria têm sido investigados diferentes métodos para produção de compósito do resíduo do açaí, que possibilite geração de energia (Reis *et al* 2002; Rodrigues *et al* 2002), produção de adubo (Teixeira *et al* 2004) e antioxidante.

3.2 Caracterização morfológica da fibra do açai.

A polpa corresponde 15% e é empregada para fazer sorvetes, licores, doces, néctares e geléias. Nesta pesquisa a polpa não é utilizada, somente a fibra da semente, como mostra a Figura 17 (b) as fibras retiradas da semente. Na Figura 17 (a) mostra a semente com as fibras.



(a)

(b)

Figura 17 – (a) Semente com fibra do açai. (b) Fibra fora da semente.

Aproximadamente a semente do açai possui o diâmetro de 8,5 mm e as fibras medem 12 mm (Figura 18)



(a)

(b)

Figura 18 – (a) Medidas do diâmetro da semente. (b) Comprimento da fibra do açai.

Para melhor visualização da anatomia interna da semente do açai, Aguiar e Mendonça fizeram um corte longitudinal e um corte transversal, como mostra a Figura 19, obtida por microscopia ótica. A semente internamente é composta basicamente das seguintes partes:

embrião, endosperma, pericarpo, endocarpo e polpa, em conformidade com o desenho esquemático mostrado na Figura 20.

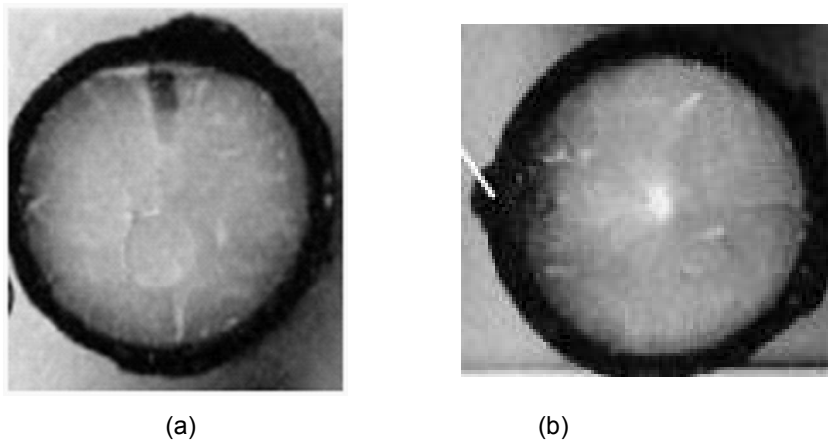


Figura 19 – (a) Corte longitudinal na semente do açáí. (b) corte transversal na semente.

FONTE: Adaptado de Aguiar e Mendonça (2003).

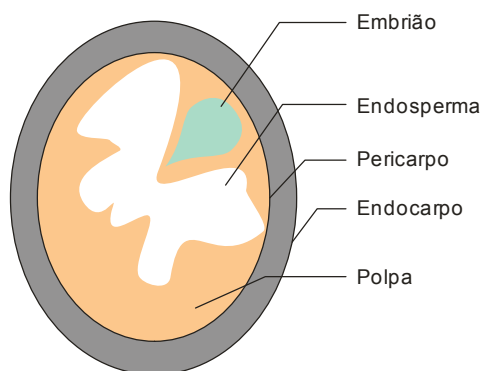


Figura 20 – Anatomia interna da semente do açáí.

FONTE: Adaptado de Lima (2007).

Capítulo 4 – Design de Superfície

Design de superfície se faz presente como um referencial teórico, pela importância que será dada no capítulo de materiais e métodos, no que tange a caracterização morfológica do painel.

Todavia para isso será necessário uma sucinta compreensão do que trata design visual para em seguida ser iniciado o capítulo de design de superfície.

O design divide-se em duas grandes áreas: design de produto e design visual. O design de produto abrange processos e todos os objetos que nos cercam, ao passo que o design visual é definido pela estreita relação com a bi dimensionalidade.

O design visual envolve-se com a indústria gráfica e seus produtos com a interface comunicacional.

4.1 Definição de Design de Superfície

É uma técnica de acordo com Rüttschilling (2008), recorrente do processo criativo para o desenvolvimento de produtos com valor estético, funcional e estrutural, projetado para tratamento de superfícies, relacionando-se ao contexto cultural e adequando-se aos processos produtivos.

Vale ressaltar que superfície é o limite da forma, que por sua vez é o contorno da configuração externa do produto. Segundo Arnheim (2007) a configuração delimita a forma física de um objeto, no qual, é determinada pelas bordas.

Para Rüttschilling (2008) o design de superfície integra o conceito bi dimensional com propriedades visuais, táteis, funcionais e simbólicas. Esta estrutura visual é sempre um resultado rico de padronagens com infinitas possibilidades de novas criações, instigando a uma leitura não apenas com os olhos, mas também uma percepção tátil. A partir da visualização o homem sente-se motivado a decodificar os elementos construtivos do objeto com as mãos, cujo sentido complementa a visão para uma leitura total do design de superfície.

4.2 Design de superfície e a arquitetura

Na arquitetura tem um emprego enorme do design de superfície no momento mais preciso da composição das fachadas. Para Rüttschilling (2008), a fachada possui um elo de

comunicação entre ambientes internos e externos, com os indivíduos, com a sociedade e o meio em que está inserida.

Devido esta importância ocorre uma valorização no uso de materiais não convencionais, modificando o conceito de materialidade. Decorrente desta inserção de materiais no mercado ocorre um grande repertório de materiais utilizados no design de superfície. Segundo Rüttschilling (2008), o emprego de novos processos fabris e novos materiais nos produtos, dificulta a identificação com apenas um olhar, é necessário outro sentido para auxiliar a decodificação do material.

A arquitetura busca o design de superfície e o emprega com o objetivo que vai além de ornamentar, resgata o valor simbólico e a informação ambiental. Estas composições de fachadas promovem experiências visuais e sensações perceptivas que Rüttschilling (2008), explica como um item modificador na relação entre objeto e observador.

4.3 Classificação do Design de Superfície

Rüttschilling (2008) define os fundamentos do design de superfície, como: figuras ou motivos, elementos de preenchimento e elementos de ritmo. As figuras ou motivos são formas sem interrupções promovendo tensão e alternância visual, que são transfiguradas em alguns momentos pela figura e em outros pelo fundo. Os elementos de preenchimento compreendem a textura e grafismo que completam os planos, definem o tratamento dos fundos. Entretanto os elementos de ritmo possuem mais tensão visual. Esta força é obtida de acordo com os itens que interagem no campo visual, como: o posicionamento dos elementos, a configuração e a cor. A estrutura visual resultante deste fundamento é resultado de entrelaçamento gráfico visual.

O desenvolvimento de projetos em design de superfície valoriza segundo Rüttschilling (2008), o conceito de modulação, no qual uma figura se repete construindo uma segunda forma. E esta construção classifica o módulo (Figura 21) que pode ser: translação, rotação e reflexão.



Figura 21 - Exemplo de módulo

FONTE: Rüttschilling (2008).

1. Translação: o módulo desloca-se sobre um eixo, como mostra a Figura 22 (a).
2. Rotação: o módulo desloca-se radialmente (Figura 22 (b)).
3. Reflexão: o módulo é refletido a partir de um eixo (Figura 22 (C)).

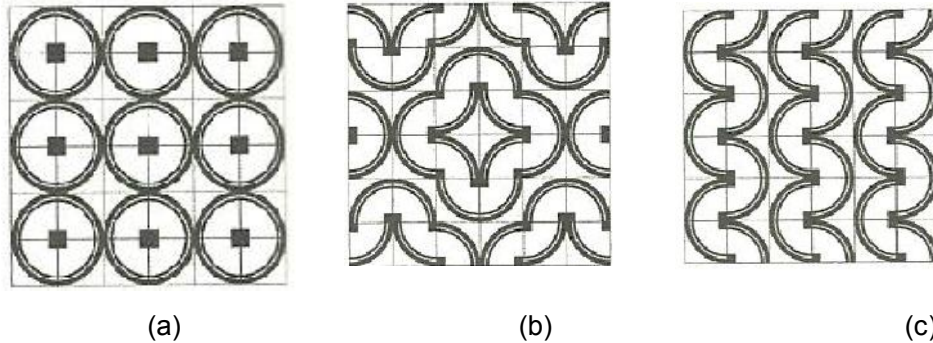


Figura 22 – (a) Exemplo de módulo translação. (b) Exemplo de módulo rotação. (c) Exemplo de módulo reflexão.

FONTE: Rùthscilling (2008).

4.4 Textura

A textura de acordo com Phillips e Lupton (2008) é correspondente com o grão das superfícies, no qual é percebido pelo tato. Muitas texturas só existem visualmente como efeito ótico (Figura 23), outras existem fisicamente quando referidas a design de produtos.

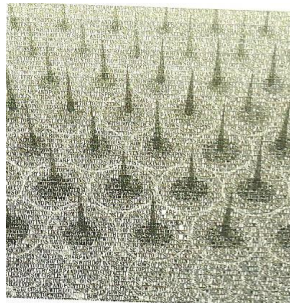


Figura 23 - Exemplo de textura ótica.

FONTE: Phillips e Lupton (2008).

Capítulo 5 – MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Descrição da pesquisa.

Esta pesquisa foi dividida em duas partes: a primeira etapa abordou os ensaios feitos com a fibra da semente do açaí e a outra etapa os ensaios feitos no painel com material composto obtido com a fibra de açaí.

Primeira etapa

Na primeira etapa foram realizados os ensaios com a fibra do açaí, os quais tinham como objetivo caracterizar a fibra. Estes ensaios foram: caracterização morfológica, química, física e mecânica. A seguir são apresentados os ensaios para esta caracterização.

Ensaio químicos:

1. Solubilidade em etanol e tolueno
2. Solubilidade etanol
3. Solubilidade em água
4. Teor de lignina
5. Teor de celulose

Ensaio físicos:

1. Densidade real
2. Teor de umidade
3. Termogravimetria

Ensaio mecânicos:

1. Tração perpendicular

Segunda etapa

Na segunda etapa a caracterização foi feita com o painel de fibra de açaí por meio de ensaios físicos e mecânicos, os quais são apresentados a seguir.

Ensaio físicos:

1. Densidade do painel de fibra de açaí
2. Inchamento do painel de fibra de açaí
3. Absorção do painel de fibra de açaí

Ensaio mecânicos:

1. Flexão estática no painel de fibra de açaí
2. Arrancamento de parafuso de superfície no painel de fibra de açaí
3. Tração perpendicular no painel de fibra de açaí

5.2 Extração da Fibra da semente do açaí.

Para que fosse possível realizar tanto a caracterização da fibra quanto a produção e caracterização do painel, foi necessário executar a extração da fibra da semente, tendo em vista, que o material coletado foi a semente ainda com a fibra em sua superfície.

As sementes de açaí foram adquiridas de dois lugares distintos o primeiro foi um ponto de venda de sucos e vitaminas na feira Manaus Moderna, localizada no Centro da Cidade de Manaus; e o segundo fornecedor foi o restaurante Waku Sese Amazônia, também na cidade de Manaus.

Após a coleta as sementes foram trazidas ao Laboratório de Pavimentação - LabPav da UFAM, onde foram lavadas e colocadas em um recipiente para secagem em temperatura ambiente por 24h. Após esse período as sementes foram colocadas em estufa a 70°C por 48 horas. O método adotado foi erro-acerto.

Depois de secas as sementes, foram retiradas a fibra e a casca de modos diferentes, com o objetivo de encontrar um método mais rápido e eficiente de extração da fibra. O primeiro modo de extração foi feito com auxílio de uma máquina extrusora conforme ilustrado na Figura 24 (b). O segundo manualmente; e o terceiro foi triturando as sementes numa peneira de pedreiro N° 4. Após a extração, as fibras foram armazenadas em ambiente seco dentro do laboratório até a moldagem dos corpos-de-prova.

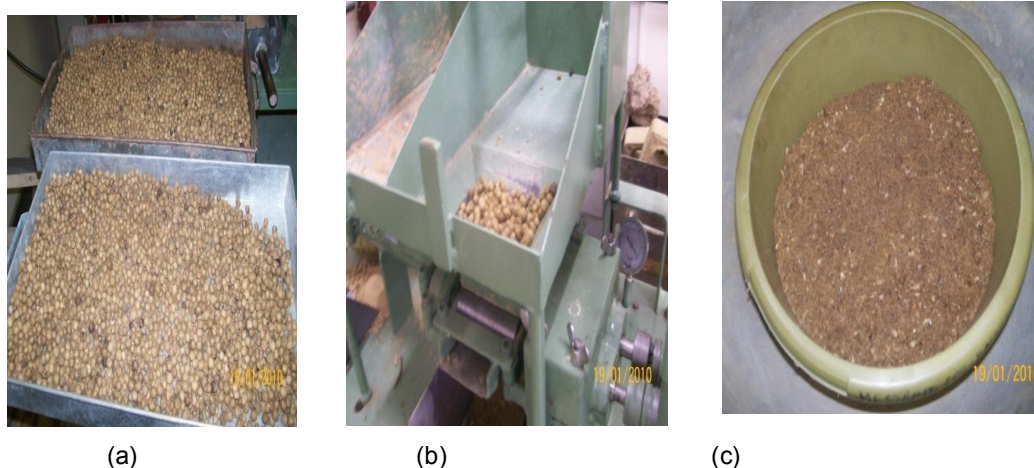


Figura 24 – (a) Sementes após secagem em estufa. (b) Semente na máquina extrusora. (c) Fibra do açaí após o processo de extrusão.

5.3 Caracterização química da fibra do açai

A caracterização química foi realizada no Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia-INPA, e no laboratório de química da USP de São Carlos, de acordo com as normas para madeira ASTM, adaptadas para as fibras. Para tanto foram realizados os ensaios listados a seguir:

1. Teor de umidade;
2. Solubilidade em Etanol e Tolueno (ASTM 1107-56);
3. Solubilidade em Etanol (ASTM 1105);
4. Solubilidade em água;
5. Teor de lignina (ASTM 1106-56);
6. Teor de celulose.

5.3.1 Preparação da fibra do açai para os ensaios químicos.

Foram pesadas 50 g de fibras do açai, sendo estas passadas no moinho (Figura 25 (b)), em peneira de malha de 1 mm (Figura 25 (a)).



(a)



(b)

Figura 25 – (a) Peneira de malha 1 mm. (b) Moinho para triturar a fibra.

Em seguida foram colocadas na peneira elétrica de marca Ro Tap (Figura 26) com peneiras graduadas em 20 Mesh, 40 Mesh e 60 Mesh, durante 5 minutos. Na peneira de 20 Mesh ficou retida a casca (partículas maiores), material que foi desprezado. Na peneira de 40 Mesh e 60 Mesh ficaram as fibras material este utilizado nos ensaios químicos (Figura 27).



Figura 26 – Peneira elétrica de marca Ro Tap.



Figura 27 – (a) Na peneira de 20 Mesh ficou retida a casca (partículas maiores). (b) Na peneira de 40 Mesh e 60 Mesh ficaram as fibras.

5.3.2 Teor de umidade

Para determinar o teor de umidade foram selecionados dois pesa filtro, identificados como amostra 1 e amostra 2, os quais foram pesados na balança analítica de marca Schimadzu e cujos valores foram anotados. Neste pesa filtro foi colocada 1 g de fibra, sendo, foram novamente pesados e colocados na estufa a 90° C por 24 horas. Após este período os pesa filtros com as fibras foram colocados no dessecador aproximadamente por 30 minutos, para resfriar, sendo em seguida pesados e os respectivos valores anotados. Esta atividade foi repetida até ter sido encontrado o peso constante. Os valores foram determinados por meio da expressão (1):

$$U (\%) = (MU - MS) / MS \times 10 \quad (3)$$

Onde,

U = Teor de umidade em porcentagem

MU = Massa úmida

MS = Massa seca

5.3.3 Teor de umidade da fibra

Foi feito o teor de umidade no laboratório de química da USP, por meio da balança e equipamento Marte (OHAUS – MB 200) (Figura 28), com temperatura de 105° C durante 180 min.

O ensaio é iniciado com 1 g da amostra em uma pequena bandeja laminar, que é colocada dentro do equipamento. A balança faz a leitura da massa úmida e com 24 horas depois apresenta a massa seca e seu respectivo teor de umidade. Após este período é só anotar os valores fornecidos pelo mostrador do equipamento Marte, retirar a amostra e desligar o equipamento.



Figura 28 – (a) equipamento Marte (OHAUS – MB 200) vista frontal. (b) vista lateral.

5.3.4 Solubilidade em Etanol e Tolueno (ASTM 1107-56)

Para determinar o teor de extrato da fibra foi elaborada no Instituto Nacional de Pesquisa – INPA a análise de solubilidade em Etanol e Tolueno (2:8), segundo a norma ASTM 1107-56. Foram identificados os cartuchos de celulose como amostra 1 e amostra 2 (Figura 29), sendo estes pesados na balança analítica de marca Schimadzu. Depois foram adicionadas 5 g de fibra em cada recipiente. Em seguida, foram identificados e pesados dois balões de fundo chato, onde foi colocada nestes uma mistura de 100 ml de álcool para 200 ml de Tolueno.

Os cartuchos foram inseridos no tubo do extrator soxhlet (cartucho interno), encaixados nos balões de fundo chato e posicionados sobre uma bandeja aquecida a 90° C (Figura 30 (a)). Este processo se prolonga até que evapore uma parte da solução, ficando apenas a parte sólida. O extrator entra em ebulição separando os extrativos da fibra (Figura 30 (a)). Após a separação, pesou-se o balão com a amostra e por diferença encontrou-se o teor de extrato contido na fibra.

Na Figura 31 (a) mostra o princípio do ensaio químico, na Figura 31 (b) apresenta o início da saída dos extrativos dos cartuchos de celulose, na Figura 31 (c) mostra o fim do ensaio químico com o extrativo da fibra da semente do açaí no balão de fundo chato.



Figura 29 – Cartucho de Celulose para amostra 1 e amostra 2.



Figura 30 – Cartuchos de Celulose inseridos no extrator encaixado no balão de fundo chato.

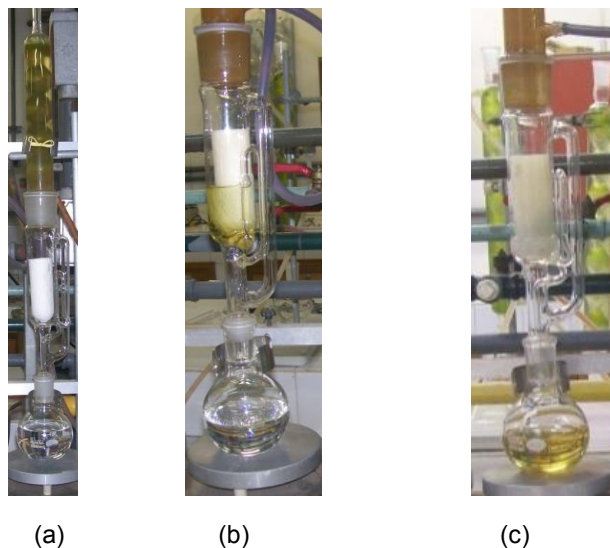


Figura 31 – (a) Processo inicial da extração: balão com a mistura álcool e tolueno. (b) Processo intermediário da extração: balão com a mistura álcool e tolueno. (c) Processo final da extração: balão com o extrativo da fibra.

5.3.5 Solubilidade em Etanol (ASTM 1105)

Para a solubilidade em Etanol, aproveita-se a amostra do ensaio anterior e coloca-se o cartucho em extrator Soxhlet com aproximadamente 250 ml de álcool etílico (95%) no balão, deixando refluxar por 8h, ou até o álcool sifonado ficar incolor. Quando finalizar o refluxo, tira-se o cartucho do extrator e remove-se o excesso de álcool através de vácuo. Recolhe-se então o álcool recuperado do extrator. Em seguida, espalha-se a amostra em camadas bem finas em uma superfície para secagem ao ar livre. Deve-se molhar o cartucho com álcool, antes de anexar ao balão de destilação. Os valores foram determinados pela expressão a seguir:

$$TE = (PF - PI) PS \times 100 \quad (4)$$

Onde,

- TE = Extrativo de Etanol em percentagem;
- PF = Peso final;
- PI = Peso inicial;
- PS = Peso da amostra seca em umidade.

5.3.6 Solubilidade em água

Para a solubilidade em água, inicialmente foram pesadas 4 g de fibras, proveniente da extração álcool-tolueno, já seca. Em seguida a amostra foi colocada em Erlenmeyer com 1L de água destilada fervente, em o banho Maria, cujo nível deve ficar acima do nível da solução (Figura 32 (a)). Esta ebulição é por um período de 4 horas, trocando a água de 1 em 1 hora.



(a)



(b)

Figura 32 – (a) Amostra em Erlenmeyer com 1L de água destilada fervente em banho Maria. (b) Amostra em Erlenmeyer após a fervura.

Por fim deixa-se esfriar e filtrar à vácuo, em funil Buchner. Seca-se ao ar e guarda-se o material para análises posteriores. Calculou-se então a percentagem do material solúvel.

Para determinar a percentagem do material extraído, usar após a ebulição, filtração à vácuo em cadinho de vidro sinterizado, transportando-se o material para um pesa-filtro (Figura 33), seca-se em estufa até o peso constante, esfria-se em dessecador e faz a pesagem do pesa filtro. Determina-se então a percentagem.



Figura 33 – Amostra em duplicata no pesa-filtro.

5.3.7 Determinação do teor de lignina (ASTM 1106-56)

Para determinar o teor de lignina, de acordo com a norma ASTM D1106-56, foi pesado 1 g da amostra (fibra livre de extrativo) em duplicata e transferido para um béquer, no qual, foi colocado 15 ml de H_2SO_4 72%, gotejando de uma bureta diretamente no béquer e misturando com um bastão pelo menos por 1 minutos (Figura 34). Este preparo foi mantido em banho frio numa temperatura de 18°C a 20°C , em repouso por 2 horas.



Figura 34 – Mistura da amostra em um béquer gotejando 15 ml de H_2SO_4 (72%).

Em seguida adiciona-se 400 ml de água destilada na amostra e coloca-se em banho-maria fervendo por 4 horas, com um condensador de refluxo ou mantendo o volume constante por adição de água destilada aquecida (Figura 35).

Após a ebulição filtra-se então em cadinho de Gooch, previamente seco em estufa, com o material já esfriado, lavando com 500 ml de água destilada aquecida. Coloca-se em estufa a 100° C a 105° C e seca-se por 2 horas.

Depois esfria-se em dessecador e pesa-se no cadinho. Determina-se então a quantidade (percentagem) de lignina. Os valores foram determinados de acordo com a equação (3).

$$\text{Lig} = (P2/P1) \times 100 \quad (5)$$

Onde,

Lig = Teor de lignina em percentagem;

P1 = Peso seco inicial da amostra;

P2 = Peso seco de lignina obtida.

5.3.8 Teor de celulose

A determinação do teor de celulose foi feita de acordo com HALYARDI e SANCHES (1975). Pesou-se 1 g da amostra livre de extrativos, emergiu na solução de ácido nítrico e álcool na proporção 8:2, colocando a amostra em banho-maria. Manteve-se o período de ebulição por uma hora, sendo em segunda retirada a solução do banho-maria e repetida a operação. Quando não houve mais extrativo a amostra foi lavada com água e álcool, utilizando um funil à vácuo (Figura 35) na proporção 1:1(100 ml). Na seqüência a amostra foi colocada no cadinho dentro da estufa a temperatura de 103°C ± 2°C, determinando-se seu valor pela diferença do peso do cadinho filtrante seco e o cadinho com a amostra.

$$\text{CB} = (P2/P1) \times 100 \quad (6)$$

Onde;

CB= Teor de celulose em percentagem;

P1 = Peso seco inicial da amostra;

P2 = Peso seco de celulose obtida.

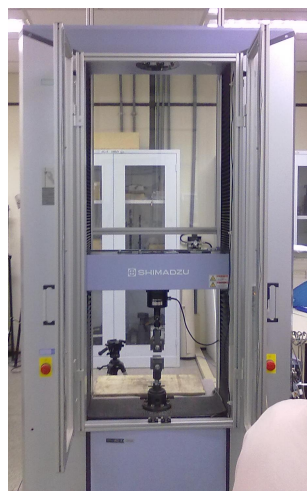


Figura 35 – Funil à vácuo, filtragem da amostra com água e etanol.

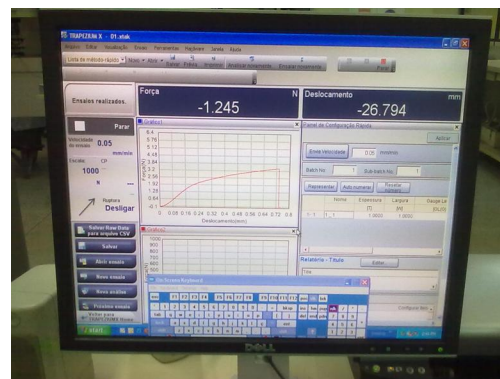
5.4 Caracterização mecânica da fibra do açaí

5.4.1 Ensaio de tração na fibra.

Foi realizado no Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia - COPPE no período de 13 a 17 de julho de 2010, na máquina Shimadzu (Figura 36).



(a)



(b)

Figura 36 – (a) Máquina Shimadzu. (b) Gráfico elaborado pelo computador que está conectado com a máquina.

Este ensaio foi realizado com trinta filamentos da fibra do açai. Como estes tem apenas 12 mm de comprimento, foi feita uma adaptação nas garras da máquina para fixar a fibra. Para tanto, foi confeccionado um suporte de papel de 15 mm x 30 mm. Este suporte foi desenhado em Auto CAD (Desenho Assistido por Computador) tendo uma linha central e um círculo (Figura 37 (a)), este círculo foi cortado com um perfurador de escritório (Figura 37 (b)). As extremidades do filamento da fibra foram posicionadas no suporte de papel (Figura 37 (a)), e presas com fita adesiva, depois com cola e fita novamente (Figura 37 (b)). Após os filamentos serem fixados no suporte, estes foram enumerados (Figura 37 (d)). Finalizada a confecção do suporte e da colagem dos filamentos de fibra no suporte, o ensaio pôde ser iniciado.

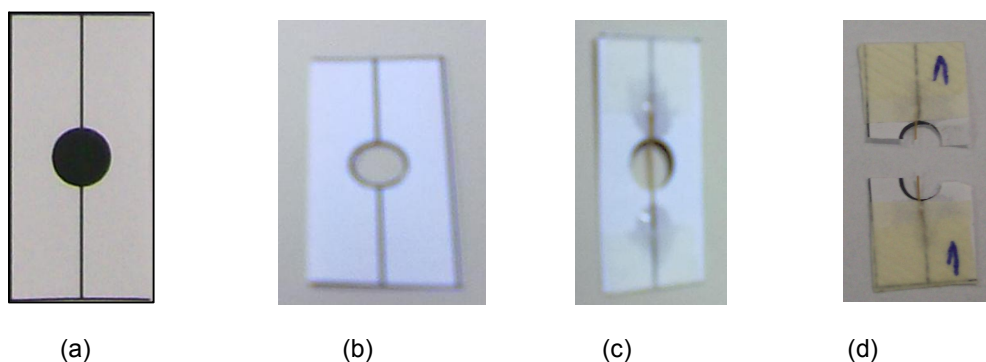


Figura 37 – (a) Suporte de papel para posicionar a fibra do açai. (b) Círculo cortado com o perfurador de escritório. (c) A fibra adesivada e colada no suporte. (d) A fibra adesivada, colada e enumerada no suporte.

A Figura 38 (a) mostra por meio de microscópio digital de mão ampliado com lente de aumento 50 vezes de marca Celestron, o filamento da fibra do açai presa no suporte de papel e na Figura 38 (b) o diâmetro do filamento da fibra.

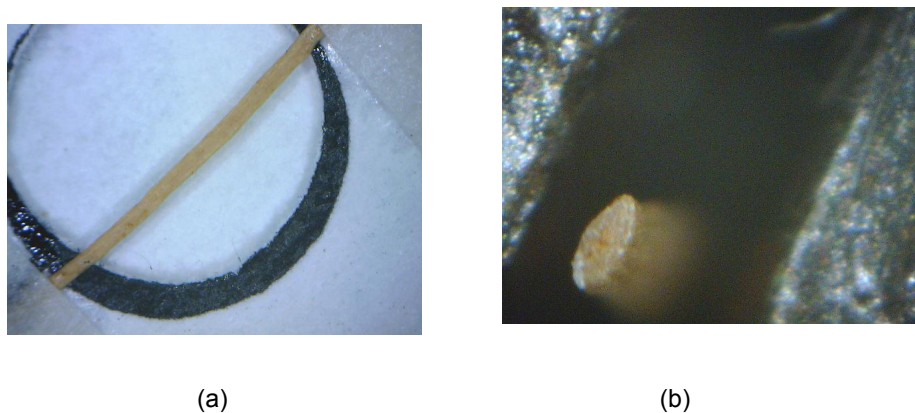


Figura 38 – (a) Filamento da fibra do açai presa no suporte de papel, vista por meio do microscópio digital da marca Celestron, com lente de aumento 50 vezes maior. (b) Diâmetro da fibra visto por meio do microscópio

O ensaio iniciou com o posicionamento do suporte na garra da máquina. Os suportes de papel foram colocados individualmente (Figura 39) sendo cortadas as laterais do papel. Após este procedimento foi acionado o equipamento, dando o início do ensaio de resistência à tração.

Através do programa que gerencia a execução do ensaio, foi definida a velocidade de ensaio e obtidos os resultados em termos de deslocamentos até o momento de ruptura (Figura 40).

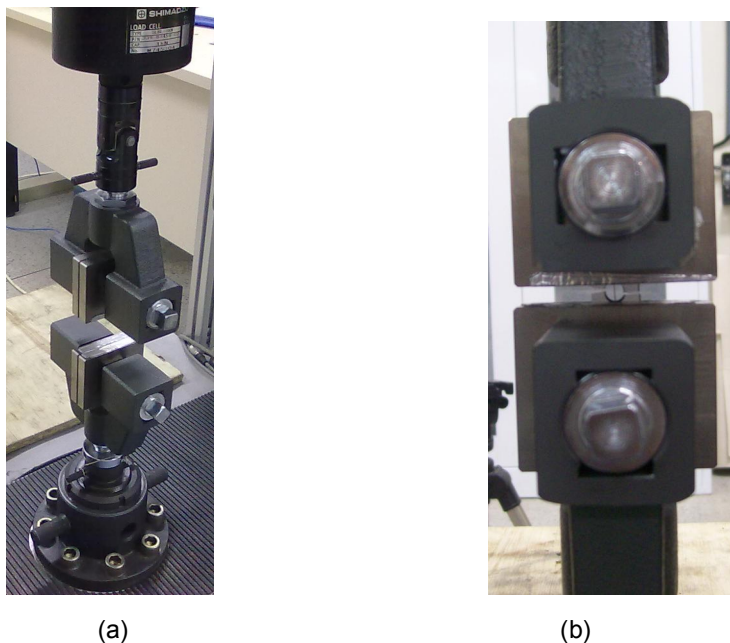


Figura 39 – (a) Garra da máquina vista lateral. (b) Garra da máquina vista frontal com o suporte de papel.



Figura 40 – Filamentos de fibra do açai após o ensaio de resistência à tração.

5.5 Caracterização física da fibra do açaí

5.5.1 Análise térmica

Foi realizado o ensaio de análise térmica na COPPE no período de 13 à 17 de julho de 2010, no equipamento Simultâneo DSC-TGA, modelo SDT Q-600, da TA Instruments Analis – TA (Figura 41).

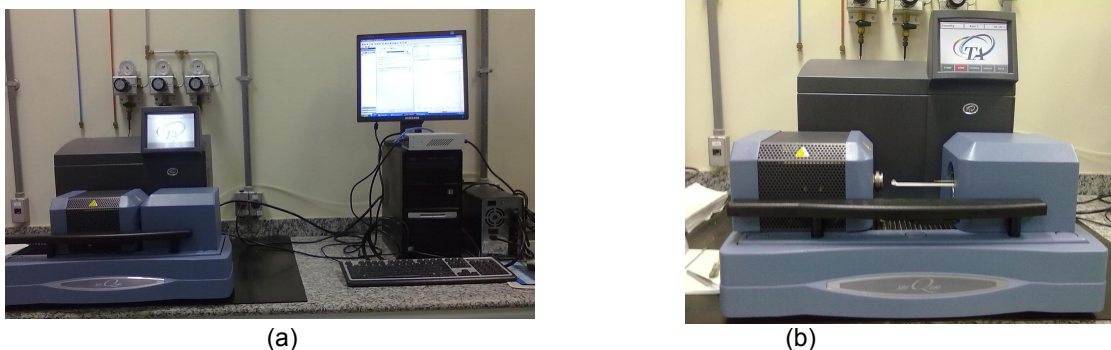


Figura 41 – (a) Detalhe do Instruments Analis – TA fechado. (b) Instruments Analis – TA aberto.

Na Figura 42 é visualizada a amostra de fibra de açaí utilizada no ensaio de análise térmica, além dos acessórios também utilizados: tigela de porcelana, pinça, espátula e pincel de cerdas chata.

As condições experimentais empregadas na análise térmica foram em atmosfera inerte, com fluxo máximo de 100 ml/min, tendo sido utilizada a faixa de temperatura de 25°C até 800°C, com uma taxa de aquecimento de 10°C por minuto.

Neste ensaio foram colocadas 0,001g da fibra de açaí no cadinho de platina (panelinha) (Figura 43) do equipamento TA.

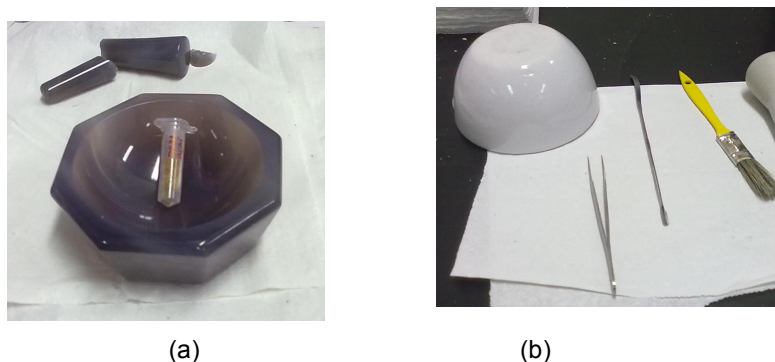


Figura 42 – (a) Amostra da fibra do açaí selecionada. (b) Acessórios utilizados.

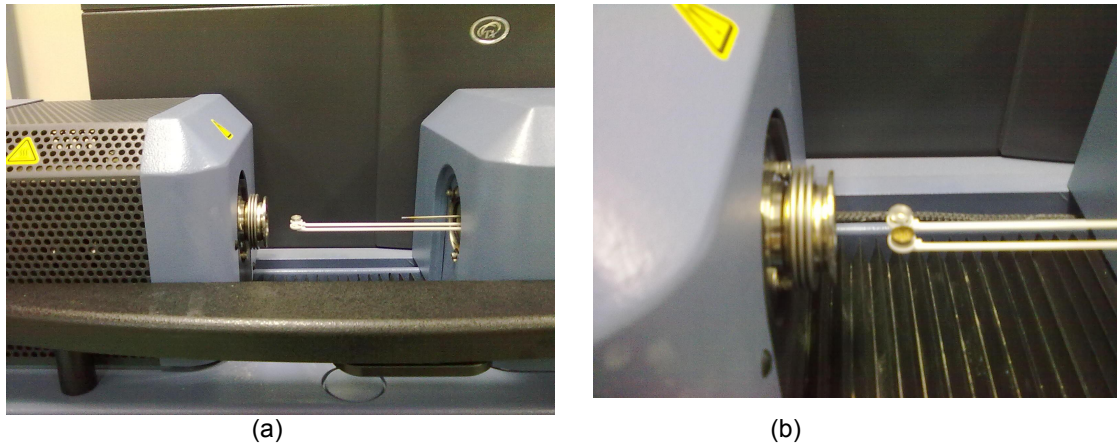


Figura 43 – (a) Instruments Analis – TA aberto. (b) Amostra no cadinho de platina (panelinha) do TA.

5.5.2 Densidade real

A densidade real da fibra do açaí foi realizada na USP de Pirassununga, na Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos – FZEA, por meio do equipamento picnômetro de gás Hélio, denominado Ultrapycnometer 1000, da Quantachrome instruments (Figura 44). O picnômetro de gás Hélio tem a função de penetrar nos poros da amostra e preencher os espaços vazios, possibilitando desse modo, fazer a leitura e a determinação da densidade real da amostra o mais preciso possível.



Figura 44 – (a) Picnômetro conectado ao cilindro de gás Hélio.

O equipamento acompanha três esferas e três portas-amostra. As esferas de metal são revestidas de inox (Figura 45), utilizadas para a calibração periódica do equipamento,

realizado pelo técnico responsável do fabricante. Estas esferas são manuseadas com luvas descartáveis secas para evitar a oxidação das mesmas, nunca deve-se manusear em contato direto com as mãos e nem molhar.



Figura 45 – Três esferas de metal revestidas de inox.

Os três portas-amostra possuem diferentes dimensões: *small*, *micro* e *large* (pequeno, micro e grande). O porta-amostra mais utilizado é o grande (Figura 46). O tamanho do porta-amostra depende da quantidade da amostra disponível, quanto maior o porta amostra melhor a reprodutibilidade analítica. O porta-amostra pequeno e micro são usados quando a quantidade da amostra é pouca, indisponível ou rara.



Figura 46 – Portas-amostra com diferentes dimensões, da esquerda para a direita: pequeno, micro e grande.

O picnômetro permite a entrada de gás Hélio no equipamento representado por VR, definindo o volume o gás no equipamento, assim como permite a entrada de gás na câmara (célula) representada por VC, definindo o volume do gás na câmara. Ambos são constantes determinadas pela calibração do técnico do fabricante.

Para iniciar o ensaio o equipamento picnômetro é ligado trinta minutos de antecedência, para estabilização do equipamento. Em seguida a amostra é colocada no porta-amostra grande (Figura 47).



Figura 47 – Amostra sendo colocada com uma pinça no porta-amostra grande.

O porta-amostra é colocado na câmara do picnômetro, esta câmara (Figura 48) é hermeticamente fechada, denominada célula. Então são realizadas 15 repetições, as cinco primeiras têm o objetivo de estabilizar o material, em caso da amostra estar em temperatura elevada, isto é um procedimento de rotina do ensaio, estas cinco primeiras leituras não são registradas.



(a)



(b)

Figura 48 – (a) Câmara do picnômetro de gás hélio aberta. (b) Porta amostra grande na câmara do equipamento. (c) Porta amostra grande na câmara do equipamento no interior do equipamento.

O gás Hélio entra e sai do material por cinco vezes para filtrar. Na sexta vez conta como a primeira de dez repetições. O gás Hélio entra controlado por uma válvula com uma pressão em torno de 17 Psi, no qual esta pressão deve ser inferior a do manômetro do cilindro do gás Hélio que é de 20 Psi.

Cada entrada do gás é identificada como uma operação na qual é feito um registro de cada valor. Os valores são observados no visor do picnômetro e transferidos para o computador, estes são anotados em planilha do Excel. Foram feitas dez repetições da operação com dez leituras anotadas e inseridas na planilha do Excel, que por sua vez, já vai calculando e apresentando a densidade real. No final das dez leituras, a planilha apresenta uma média da densidade real e um desvio padrão. Finalizado o ensaio pode-se retirar a amostra da câmara e desligar o equipamento.

Para determinar a densidade real é empregada a equação:

$$V_p = V_c - V_r \left(\frac{P_1}{P_2} - 1 \right) \quad (7)$$

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).

5.6 Produção de painéis de fibra de açaí

A produção dos painéis com fibra de açaí e os respectivos ensaios para sua caracterização foram realizados na Universidade de São Paulo - USP de São Carlos, no Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeira – LaMEM. Para a produção dos painéis de fibra de açaí foi adaptada a norma para painéis de madeira aglomerada, a NBR 14810-1. Esta norma trata dos procedimentos de obtenção, preparação e acondicionamento de corpos-de-prova para ensaios.

Os painéis são devidamente classificados por um código numérico. Após a produção e antes de iniciar os ensaios, os corpos-de-prova passam por um período de estabilização que dura 72 h.

Para a obtenção, preparação e acondicionamento de corpos-de-prova para os ensaios são necessário procedimentos, materiais e equipamentos específicos, descritos a seguir.

Os equipamentos e materiais utilizados na produção dos painéis foram:

1. Caneta de retro-projetor na cor azul;
2. Paquímetro;
3. Escala milimetrada com 2 m de comprimento, ou superior;
4. Serra circular com dentes de metal duro, com guia.

5. Bacia de plástico;
6. Dois recipientes para colocar as resinas (Figura 49);
7. Balança eletrônica digital da marca ACATEC BDC 3.300 (Figura 50);
8. Encoladeira da marca Lieme (Figura 51);
9. Molde de madeira (Figura 52);
10. Bandejas metálicas revestidas de material antiaderente: base superior base inferior (Figura 53);
11. Pré-prensa mecânica (Figura 54);
12. Prensa hidráulica da marca Marconi (Figura 55);
13. Bancada para a cura dos painéis (Figura 56).



Figura 49 – Dois recipientes para colocar as resinas. À esquerda é o pré-polímero (derivado de petróleo). À direita o óleo a base de mamona (poliol).



Figura 50 – Balança eletrônica digital da marca ACATEC BDC 3.300.



(a)



(b)

Figura 51 – (a) Encoladeira da marca Lieme, vista lateral. (b) Vista frontal.



(a)



(b)

Figura 52 – (a) Molde de madeira sem tampa. (b) Com tampa.



Figura 53 – Bandejas metálicas revestidas de material antiaderente: base superior e base inferior.



Figura 54 – Pré-prensa mecânica.



(a)



(b)

Figura 55 – (a) Prensa hidráulica da marca Marconi, base superior suspensa. (b) Base superior descida.



Figura 56 – Bancada para a cura dos painéis.

5.6.1 Produção do painel preliminar

Resumidamente as etapas da produção de painéis de fibra de açai correspondem a quinze etapas, da obtenção da fibra, passa pelo esquadrejamento, até a etapa final (Figura 57).

Mediante a classificação apresentada na Tabela 3 (capítulo 2) foi feito um comparativo entre a produção de painéis de madeira aglomerada e as etapas produtivas de painéis de fibra do açai.

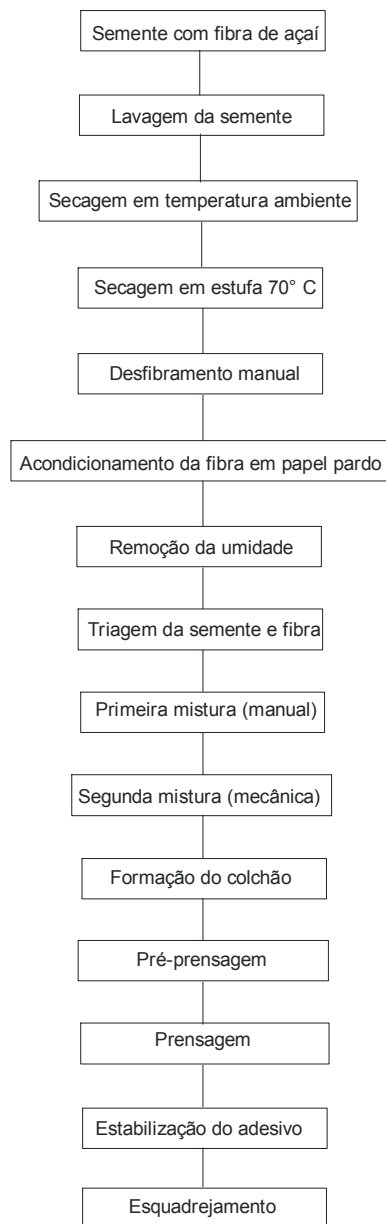


Figura 57 - Etapas da produção de painéis de fibra de açai.

Inicialmente foi feito um painel preliminar, para decidir os teores da produção dos painéis seguintes. O painel preliminar foi dimensionado com 40 x 40 cm, produzido com 1.300 g de fibra de açaí e 15% de resina, no qual, equivale a 85% de adesivo na proporção de 2:1, significando que o pré-polímero (polímero derivado de petróleo) corresponde a 65 g e o óleo à base de mamona (poliol) a 130 g. Uma observação importante é com relação ao teor de 15% de resina, industrialmente este teor é de 12%. Portanto no LaMEM são acrescidos 3%, pois é verificada uma perda da resina no processo da produção dos painéis, como por exemplo; na homogeneização manual, retenção nas luvas, no recipiente em que é colocado o adesivo para pesar, na bacia onde está sendo feito a mistura, e por fim na encoladeira.

Em seguida no painel preliminar foi realizado apenas o ensaio físico e o ensaio mecânico de flexão estática. Como os resultados do painel preliminar do ensaio mecânico de flexão estática, o Módulo de Ruptura – MOR deram abaixo da norma NBR 14810-2, não foi necessário realizar os ensaios de adesão interna e arracamento de parafuso.

A partir deste ensaio, para a produção dos painéis seguintes foi tomada a decisão de manter 1.300g de fibra de açaí e mudar a proporção de 2:1 para 1:1 com relação ao teor de resina. O painel preliminar serviu para definir os teores, enquanto o processo de manufatura permaneceu inalterado para a produção dos oito painéis, seguintes.

Foram produzidos oito painéis; um serviu como mostruário e os sete painéis foram destinados para o ensaio físico e os ensaios mecânico.

5.6.2 Produção dos oitos painéis

Para a produção das oito chapas todos iguais, como foi dito anteriormente, foi mantido 1.300 g de fibra da semente do açaí e empregado o teor de resina de 1:1, ou seja, 97,6 g de adesivo à base de óleo de mamona (poliol), e 97,6 g do pré-polímero (derivado de petróleo). A fibra do açaí foi misturada gradativamente ao pré-polímero e em seguida ao óleo de mamona, do mesmo modo de preparo do painel preliminar.

Após a manufatura, os oito painéis passaram 72 horas curando, para dar seguimento a etapa dos ensaios. Encerrado o período de cura, foram retiradas as aparas dos painéis, um dos painéis foi separado para mostruário e sete painéis foram esquadrihados e cortados para o ensaio físico e o ensaio mecânico.

A produção dos painéis consiste basicamente de três etapas: preparo das misturas, pré-prensagem e prensagem térmica, que são seguidos do período de cura e depois preparados os corpos-de-prova para os ensaios, os quais serão descritos separadamente.

Primeira etapa: preparo das misturas.

Esta etapa consiste em homogeneizar gradativamente a fibra com os dois adesivos. Inicialmente foram pesados na balança eletrônica digital, da marca Acatec BDC 3.300, a fibra do açaí 1.300 g, pré-polímero 97,6 g e o óleo a base de mamona 97,6 g. Em seguida a fibra e a resina são gradativamente homogeneizados manualmente para a retirada de grumos (concentração de adesivo na fibra) como mostra a Figura 58 (b). Em seguida, o material é colocado na encoladeira por 5 minutos (Figura 59).



(a)



(b)

Figura 58 – (a) Mistura da fibra do açaí com o adesivo. (b) Homogeneização manual.



(a)



(b)

Figura 59 – (a) Mistura da fibra do açaí com o adesivo dentro do recipiente de inox. (b) Encoladeira.

Segunda etapa: pré-prensagem

Após o material ser homogeneizado totalmente este é colocado dentro de um molde feito de madeira de 40 x 40 cm, que por sua vez encontra-se sobre uma bandeja metálica revestida de material antiaderente, as quais são posicionados numa prensa mecânica, submetidos a uma força de 150 Kg (Figura 60 (a)). Nesta etapa é formada uma placa pré-prensada denominada colchão, pronta para a próxima etapa (Figura 61 (b)).



(a)



(b)

Figura 60 – (a) Pré-prensa com molde. (b) Mistura homogeneizada manualmente e mecanicamente dentro do molde sobre a bandeja metálica..



(a)



(b)

Figura 61 – (a) Pré-prensa tampada, início da pré-prensagem. (b) Retirada do molde, feito o colchão.

Terceira etapa: prensagem térmica

Retira-se o molde sobre o colchão e leva-o com a bandeja metálica para colocar na prensa hidráulica térmica, equipamento da marca Marconi (Figura 62) formada por dois cilindros de aço, com capacidade de 500 kN e temperatura máxima de 200° C. Este equipamento possui capacidade produtiva em escala de laboratório, com uma área útil de 60 x 60 cm que produz chapas de partículas de 40 cm X 40 cm (dimensão máxima), com pressão em torno de 5 MPa.

O painel preliminar foi submetido a uma pressão de 4,1 MPa, durante um período de 15 minutos (Figura 63). Após 15 minutos o painel está concluído, sendo este colocado na bancada para o período de estabilização de 72 horas (Figura 64).



(a)



(b)

Figura 62 – (a) Prensa hidráulica da marca Marconi aberta com o colchão. (b) Prensa hidráulica descendo a bandeja superior, início da prensagem.



(a)



(b)

Figura 63 – (a) Prensa hidráulica em funcionamento. (b) Controle de acionamento da máquina, e controle da subida e descida da prensa superior.



(a)



(b)

Figura 64 – (a) Retirada a bandeja metálica da prensa hidráulica parte superior. (b) Painel finalizado sobre a bandeja metálica, pronto para o período de cura.

5.7 Preparação para o ensaio físico.

5.7.1 Ensaio de densidade do painel.

Para a execução do ensaio de densidade foi utilizado a seguinte aparelhagem:

1. Paquímetro digital com resolução de 0,1mm;
2. Balança eletrônica digital da marca ACATEC BDC 3.300 com resolução de 0,1g.

Os corpos-de-prova foram preparados de acordo com a norma NBR 14810-3 e cortados nas dimensões de a 25 mm de comprimento e 25 mm de largura (Figura 65). De cada painel foram produzidos 12 corpos-de-prova, totalizando 84 corpos-de-prova para o ensaio de densidade.

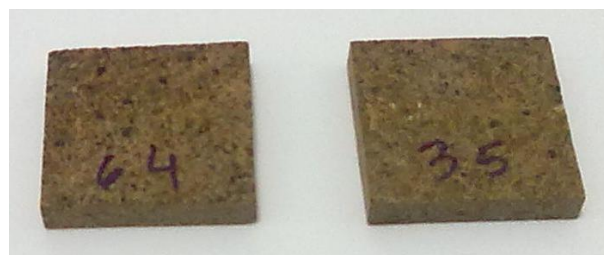


Figura 65 – Corpo-de-prova para o ensaio de densidade, 25 mm x 25 mm.

Após os corpos-de-prova terem sido devidamente identificados, foi iniciado o ensaio, determinando a espessura com resolução de 0,1 mm. A espessura foi aferida em três pontos de cada corpo-de-prova, sendo um no centro e dois nas extremidades.

Do mesmo modo foi determinado o comprimento e a largura, utilizando um paquímetro com resolução de 0,1 mm, e aferindo três pontos de cada corpo de prova.

Em seguida os corpos-de-prova foram pesados em balança eletrônica digital da marca ACATEC BDC 3.300 com resolução de 0.1g e anotar as medidas efetuadas.

A densidade de um corpo-de-prova foi determinada por meio da equação:

$$D = M/V \times 1.000.000 \quad (8)$$

Sendo:

$$V = L \times C \times E \quad (9)$$

Onde:

D é a densidade do corpo-de-prova (K/mm³);

M é a massa do corpo-de-prova, (g);

V é o volume do corpo-de-prova, (mm³);

L é a largura do corpo-de-prova, (mm);

C é o comprimento do corpo-de-prova, (mm);

E é a espessura do corpo-de-prova (mm).

A partir dos resultados dos corpos de prova ensaiados foi feito a média das densidades, expressos em quilogramas por metro cúbico.

5.7.2 Ensaio de inchamento do painel.

A aparelhagem necessária à execução do ensaio é descrita a seguir:

1. Balança eletrônica digital da marca ACATEC BDC 3.300 com resolução de 0,1g.
2. Recipiente com água;
3. Dispositivo para manter o corpo-de-prova submerso no recipiente, conforme a Figura 66.



(a)



(b)

Figura 66 – (a) Recipiente com água. (b) Dispositivo amarelo para manter os corpos de prova submersos.

Os corpos-de-prova foram cortados segundo a norma NBR 14810-3, com as dimensões de comprimento de 50 mm e largura de 50 mm. Foram produzidos seis corpos de prova de cada painel, resultando em 42 corpos de prova.

Após ter sido cortado e identificado o corpo-de-prova, foi medida e anotada a espessura em três pontos: um no centro e dois nas extremidades, com uma resolução de 0,01 mm, e verificada sua massa através da balança eletrônica digital, com resolução de 0,1g.

A seguir encheu-se o recipiente com água, de modo que o nível de água ficou acima da superfície do corpo-de-prova, cerca de 25 mm.

Após 2h de imersão os corpos-de-prova foram retirados do recipiente e colocados sobre um pano para remoção do excesso de água (Figura 67), 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 67 – Corpos de prova colocados sobre um pano para retirar o excesso de água.

Para o cálculo de inchamento da espessura do corpo-de-prova, utilizar a seguinte equação:

$$I = (E1 - E0) / E0 \times 100 \quad (10)$$

Onde:

I é o inchamento em espessura do corpo-de-prova, em porcentagem;

E1 é a espessura do corpo-de-prova após o período de imersão considerado, em milímetros;

E0 é a espessura do corpo-de-prova antes da imersão, em milímetros.

Para o cálculo de absorção de água utiliza-se a seguinte equação:

$$A = (M1 - M0) / M0 \times 100 \quad (11)$$

Onde:

A é a absorção de água, em porcentagem;

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

MO é a massa do corpo-de-prova antes da imersão, em gramas.

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

5.7.3 Ensaio de absorção de água do painel.

Para a execução do ensaio de absorção é utilizada a mesma aparelhagem do ensaio de inchamento:

1. Balança eletrônica digital da marca ACATEC BDC 3.300 com resolução de 0,1g.
2. Recipiente com água;
3. Dispositivo para manter o corpo-de-prova submerso no recipiente, conforme a Figura 69.

A obtenção dos corpos-de-prova e o ensaio de absorção de água seguem o mesmo procedimento do ensaio de inchamento

5.8 Preparação para o ensaio mecânico de flexão estática.

Após a manufatura do painel de fibra de açai, este passa por um período de estabilização de 72 horas, o tempo mínimo recomendado pela norma NBR 14810-2.

Encerrado o período de cura foram retiradas as aparas dos oito painéis. Em seguida foram selecionados sete painéis, esquadriado e preparado para o corte dos corpos de prova (Figuras 68 e 69). De cada painel foram obtidos seis corpos-de-prova, totalizando de quarenta e dois corpos de prova para o ensaio de flexão estática, onde a recomendação da norma são dez corpos de prova.



(a)



(b)

Figura 68 – (a) Retirado as aparas do painel preliminar. (b) Painel preliminar esquadrinhado e preparado para o corte dos corpos-de-prova.



(a)



(b)

Figura 69 – (a) Corte dos corpos-de-prova. (b) Corpo-de-prova para ensaio físico e ensaio mecânico.

De cada painel é cortado seis corpos-de-prova para flexão estática, destes seis corpos-de-prova são retirados as extremidades e feitos doze corpos-de-prova para o ensaio de adesão interna.

Para o ensaio de arrancamento de parafuso são cortadas amostras na largura do painel, totalizando seis partes que serão divididas em dois corpos de prova (Figura 70). Para cada ensaio é necessário uma preparação dos corpos-de-prova específica que será descrita separadamente para cada ensaio.



(a)

(b)

Figura 70 – (a) Corte dos seis corpos-de-prova para flexão estática. (b) Corte dos seis corpos-de-prova para flexão estática e um para arrancamento de parafuso que será dividido na metade.

5.9 Caracterização Física do painel

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

Para determinar a densidade, inicialmente são necessários:

- a) Medidor de espessura com resolução de 0,1 mm;
- b) Paquímetro;
- c) Balança com resolução de 0,1 g.

Para determinar a espessura, os corpos-de-prova foram devidamente identificados do seguinte modo, painel 1, corpo de prova 1 (1.1), e assim segue: painel 1 corpo de prova 2 (1.2); painel 1, corpo-de-prova 3 (1.3); painel 1, corpo-de-prova 4 (1.4); painel 1, corpo-de-prova 5 (1.5) e painel 1, corpo-de-prova 6 (1.6).

A espessura foi determinada utilizando-se o paquímetro, sendo esta medida em três pontos de cada corpo: um no centro e dois nas extremidades, como mostra a Figura 71.



Figura 71 - Paquímetro com resolução de 0,1 mm, aferindo a espessura, com três pontos de medição no corpo-de-prova.

Para determinar a largura foi utilizado o paquímetro sendo esta medida em três pontos de cada corpo: um no centro e dois nas extremidades, como mostra a Figura 72.



Figura 72 - Paquímetro com resolução de 0,1 mm, aferindo a largura, com três pontos de medição no corpo-de-prova.

Para determinar o peso foi utilizada uma balança com resolução de 0,1 g. Para calcular a densidade de um corpo-de-prova, utiliza-se a equação:

$$D = M/V \times 1.000.000 \quad (12)$$

Sendo:

$$V = L \times C \times E \quad (13)$$

Onde:

D é a densidade do corpo-de-prova, em quilogramas por metro cúbico;

M é a massa do corpo-de-prova, em gramas;

V é o volume do corpo-de-prova, em milímetros cúbicos;

L é a largura do corpo-de-prova, em milímetros;

C é o comprimento do corpo-de-prova, em milímetros;

E é a espessura do corpo-de-prova, em milímetros.

5.10 Caracterização mecânica do painel

5.10.1 Ensaio de Flexão Estática

O ensaio de flexão estática tem por finalidade verificar as propriedades mecânicas e as propriedades físicas dos painéis com a possibilidade de certificar as variáveis do processo fabril.

A aparelhagem necessária à execução do ensaio consiste em uma máquina universal de ensaios com controle de velocidade e paquímetro digital com precisão de 0,1 mm.

Os corpos-de-prova para os ensaios de flexão estática foram esquadrihados e cortados com as seguintes dimensões: o comprimento medindo 250 mm e a largura 50 mm.

Sobre cada de corpo-de-prova é colocado o gabarito (Figura 73) e marcado três pontos para facilitar o posicionamento na prensa (Figura 74).

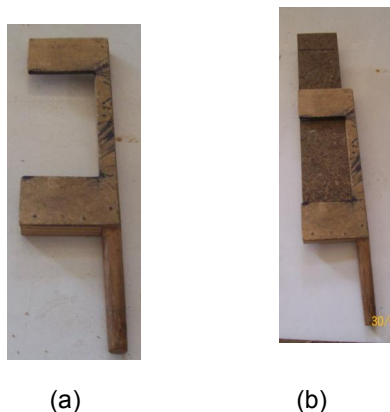


Figura 73 – (a) Gabarito feito de madeira. (b) Gabarito sobre o corpo-de-prova.

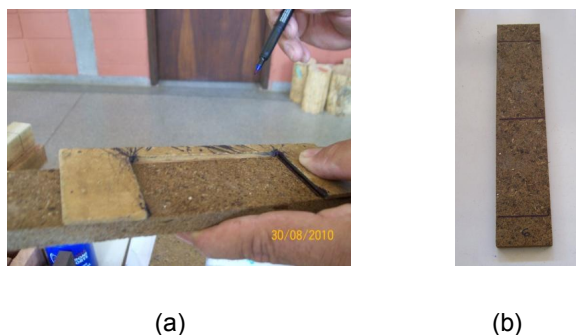


Figura 74 – (a) Marcação dos três pontos no corpo-de-prova. (b) Corpo-de-prova marcado.

A máquina universal de ensaios possui dois mostradores: um mostra a força que o corpo está sendo submetido e o outro mostra as deformações em intervalos de 5 mm. Dentro destes intervalos são feitas leituras e anotados os valores da força até o momento da ruptura, desse modo é possível determinar o Módulo de Ruptura – MOR.

Para iniciar o ensaio foram posicionadas as extremidades do corpo-de-prova sobre os dois apoios da máquina universal de ensaios (Figura 75).

Após o ensaio de flexão estática o corpo-de-prova apresenta um pequeno ângulo de flexão (Figura 76). Pode ser observado que houve uma semelhança nestes ângulos em todos os corpos-de-prova (Figura 77).



Figura 75 - O corpo-de-prova posicionado na máquina universal de ensaios.



(a)



(b)

Figura 76 – (a) Corpo-de-prova após o ensaio de flexão estática (vista perfil). (b) Vista superior.



(a)



(b)

Figura 77 – (a) Seis corpos-de-prova após o ensaio de flexão estática (vista perfil). (b) Vista superior.

Os cálculos das propriedades de resistência e de rigidez à flexão são feitos utilizando-se as seguintes expressões:

Módulo de Ruptura – MOR

$$R = 3P/2bd^2 \quad (14)$$

Onde

- R = módulo de ruptura;
- P = força de ruptura;
- b = largura do corpo-de-prova;
- d = espessura do corpo-de-prova.

Tensão no Limite de Proporcionalidade

$$S_{pl} = 3P_1/ 2bd^2 \quad (15)$$

Onde

- S_{pl} = tensão no limite de proporcionalidade;
- P_1 = força no limite de proporcionalidade;
- l = vão entre os vãos do corpo-de-prova;
- b = largura do corpo-de-prova;
- d = espessura do corpo-de-prova;

Módulo Aparente de Elasticidade – MOE

$$E = P_1l^3/4bd^3y_1 \quad (16)$$

Onde

- E = módulo aparente de elasticidade;
- P_1 = força no limite de proporcionalidade;
- b = largura do corpo-de-prova;
- d = espessura do corpo-de-prova;
- y_1 = deformação central correspondente à força no limite de proporcionalidade;
- l = vão entre os vãos do corpo-de-prova;

5.10.2 Ensaio de arrancamento de parafuso de superfície.

De acordo com a norma NBR 14810-2 a aparelhagem necessária à execução do ensaio de arrancamento de parafuso de superfície consiste em:

1. Chave de fenda;
2. Máquina furadeira;
3. Escala milimetrada;
4. Máquina universal de ensaios;
5. Broca de 2,8 mm de diâmetro;
6. Guia para introdução do parafuso no corpo-de-prova;
7. Parafuso para madeira nQ 10;
8. Acessórios para serem acoplados na máquina universal de ensaios, conforme.

O ensaio para a determinação da resistência ao arrancamento de parafuso de superfície é realizado em duas etapas. Primeiro a obtenção e preparo dos corpos de prova e depois o preparo da máquina universal de ensaios, que serão descritos separadamente.

Primeira etapa: obtenção e preparo dos corpos-de-prova

Para os ensaios de arrancamento de parafuso de superfície os corpos-de-prova foram esquadrihados e cortados com as seguintes dimensões: 150 mm de comprimento e 75 mm de largura. Foram feitos dois corpo-de-prova de cada painel, totalizando 14 (quatorze) corpos-de-prova para este ensaio. Após o corte os corpos-de-prova são perfurados com uma furadeira de bancada (Figura 78) com o auxílio de uma broca de 2,8 mm de diâmetro um orifício com profundidade máxima de 17 mm, centrado na superfície do corpo de prova (Figura 79).



(a)



(b)

Figura 78 – (a) Furadeira de bancada vista frontal. (b) Vista lateral.



Figura 79 – Corpo-de-prova perfurado pela furadeira de bancada.

Com o auxílio de uma chave de fenda o parafuso especificado (Figura 80) é pressionado no corpo-de-prova até uma profundidade de 17 mm. Na Figura 80 é mostrado as especificações do parafuso que deve ser utilizado no ensaio.

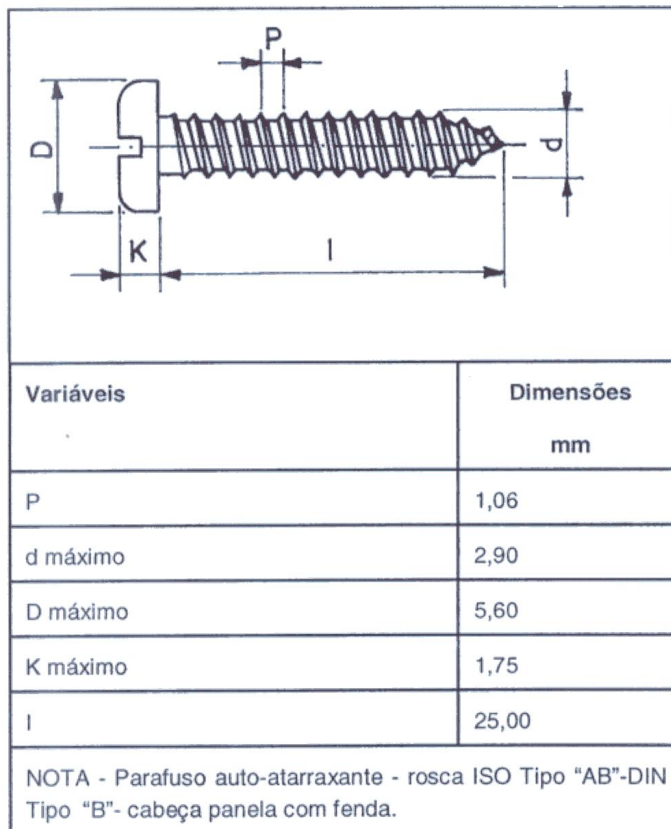


Figura 80 - Dimensões e tipo do parafuso a ser utilizado no ensaio.

FONTE – NBR 14810-3.

Segunda etapa: preparo da máquina universal de ensaios.

Para o preparo da máquina são colocados os dispositivos no tambor da haste da máquina de ensaio universal, como mostra a Figura 81 (a). Em seguida são colocados os acessórios para fixar a amostra e o acessório de tracionar o parafuso (Figura 82), de modo a adequar a máquina para o ensaio de arrancamento de parafuso de superfície.

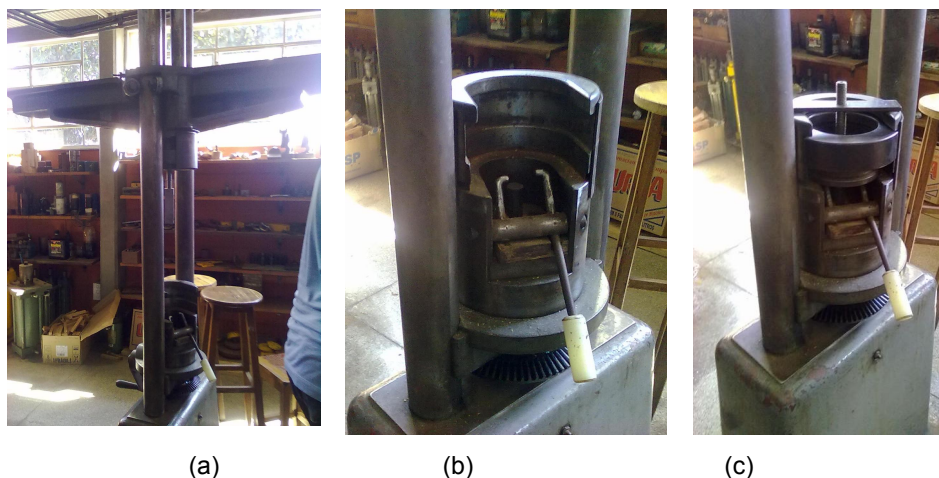


Figura 81 – (a) Haste da máquina universal de ensaios. (b) Preparo da máquina universal de ensaios, inserção de dispositivos. (c) Dispositivos específicos para o ensaio de arrancamento de parafuso.

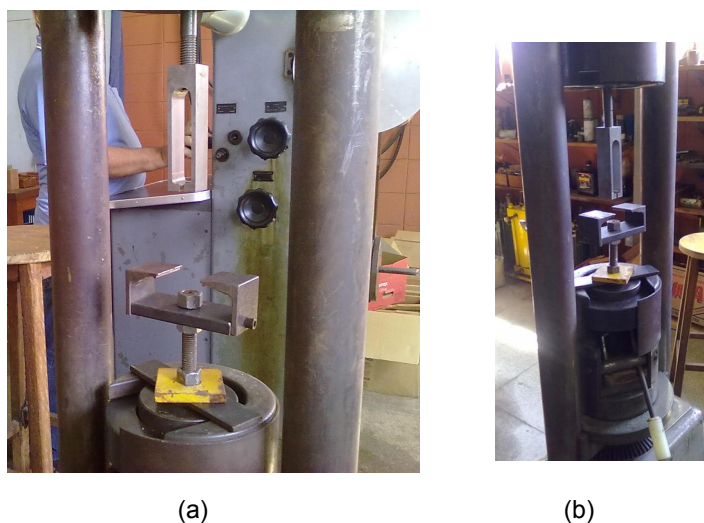


Figura 82 – (a) Dispositivos de fixar a amostra peça, peça inferior. (b) Dispositivos de tracionar o parafuso, peça superior.

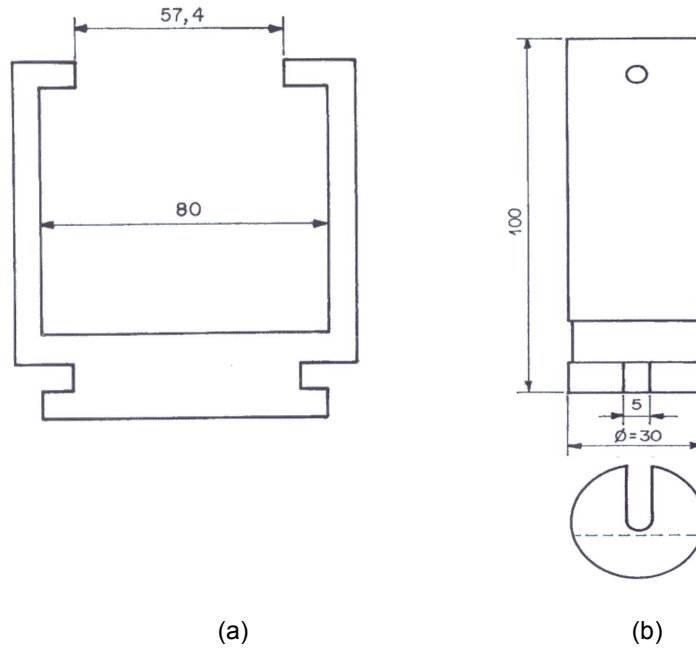


Figura 83 – (a) Dispositivo para fixar a amostra, dimensões em milímetros. (b) Dispositivo para tracionar o parafuso, dimensões em milímetros.

FONTE – NBR 14810-3.

Este encaixe é formado pelos acessórios, parafuso e corpo-de-prova, denominado conjunto (Figura 84).

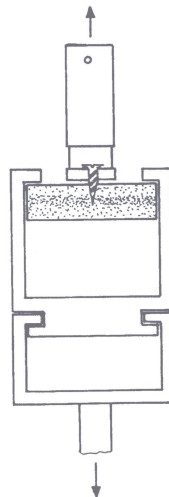


Figura 84 – Conjunto formado pelos acessórios, parafuso e corpo-de-prova.

FONTE – NBR 14810-3.

O corpo-de-prova já com o parafuso fixado (Figura 85) é posicionado nos acessórios da máquina universal de ensaios. O corpo-de-prova acopla entre dispositivo de fixar e o dispositivo para tracionar o parafuso (Figura 86).



Figura 85 – Corpo-de-prova com parafuso fixado.



Figura 86 – Corpo-de-prova acoplado entre os dispositivos da máquina universal de ensaio: o dispositivo de fixar e o dispositivo para tracionar o parafuso.

O ensaio inicia com o posicionamento do corpo-de-prova na máquina universal de ensaios, cujo indicador de cargas encontra-se zerado (Figura 87), em seguida aciona-se com a mesma velocidade de 15 mm/min, anotando-se a leitura obtida no indicador de cargas no momento em que o corpo-de-prova é rompido.



(a)

(b)

Figura 87 – (a) Indicador de carga zerado. (b) Máquina executando o ensaio.

O resultado do ensaio é obtido por meio da média dos valores anotados da leitura direta do indicador de cargas da máquina universal de ensaios, onde os valores encontrados são expressos em newtons, com precisão de 0,1N.



Figura 88 – Corpo-de-prova com parafuso fixado após o ensaio.

5.10.3 Ensaio de Tração Perpendicular (adesão interna).

Para execução do ensaio de adesão interna, de acordo com a norma NBR 14810-2 é necessário a seguinte aparelhagem e material:

- 1.Máquina universal de ensaios com controle de velocidade;
- 2.Dois blocos de tração de material com resistência compatível com a chapa de madeira aglomerada (blocos metálicos, madeira, etc.), conforme exemplificado na Figura L.1;
- 3.Dispositivos para prender os blocos de tração, conforme mostrado na Figura M.1;

4. Paquímetro;

5. Cola de marca Araldite indicado para colagem dos blocos de tração aos corpos-de-prova.

Assim como foi necessário apresentar separadamente as etapas de obtenção e preparo dos corpos de prova e o preparo da máquina universal de ensaio para o ensaio de arracamento de parafuso de superfície é também imprescindível descrever estas etapas do mesmo modo para o ensaio de adesão interna.

Primeira etapa: obtenção e preparo dos corpos-de-prova

Os corpos de prova foram cortados juntamente com os blocos de tração de madeira pinus conforme mostra a Figura 89. Os blocos de tração são duplos para cada corpo de prova, uma peça corresponde a parte superior e a outra peça corresponde a parte inferior, como mostram as Figuras 90, 91 e 92.

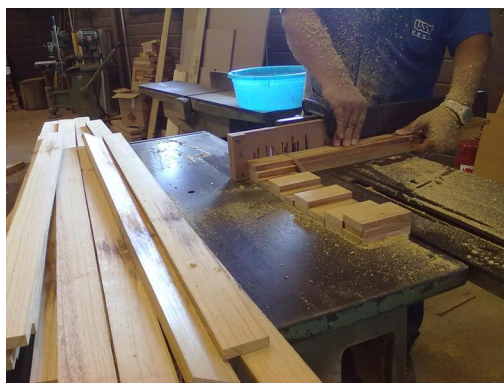


Figura 89 – Bloco de tração, sendo cortados.



Figura 90 – Corpo-de-prova.

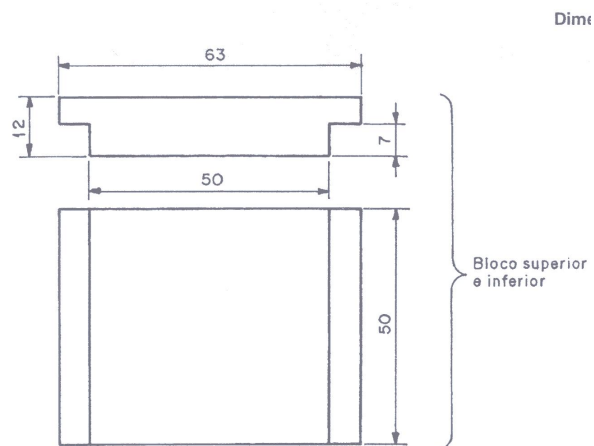


Figura 91 – Bloco de tração, dimensões em milímetros.

FONTE – NBR 14810-3



Figura 92 – Bloco de tração, parte superior e parte inferior.

Em seguida os blocos de tração são marcados com um gabarito (Figura 93) para identificar o local onde serão colados no corpo-de-prova (Figura 94).



Figura 93 – Gabarito para marcar o bloco de tração.



Figura 94 – Bloco de tração marcado para identificar o local de colagem.

A princípio os blocos de tração foram colados um a um, na superfície superior e inferior do corpo-de-prova. Primeiramente um bloco de tração foi colado na parte inferior da superfície do corpo de prova (Figura 95), esta colagem é aplicada sob uma pressão moderada. Os blocos de tração que foram colados passaram por um período de estabilização de 24 horas. Após este período de cura foi colado no corpo de prova a parte superior do bloco de tração, transversal em relação a parte inferior (Figura 96).

O corpo-de-prova fica colado entre os dois blocos de tração, formando um conjunto. Após a colagem, o conjunto (corpo-de-prova e bloco de tração) passou por um período de 72 horas de cura. De cada painel foram produzidos 6 corpos-de-prova, totalizando 42 (quarenta e dois) corpos-de-prova. Após o preparo e o período de estabilização os corpos-de-prova estavam prontos para serem ensaiados.

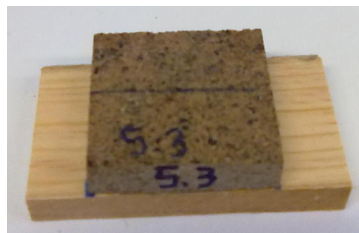


Figura 95 – Bloco de tração colado na parte inferior da superfície do corpo-de-prova.



Figura 96 – Bloco de tração colado na parte inferior da superfície do corpo-de-prova e transversalmente na superfície superior.

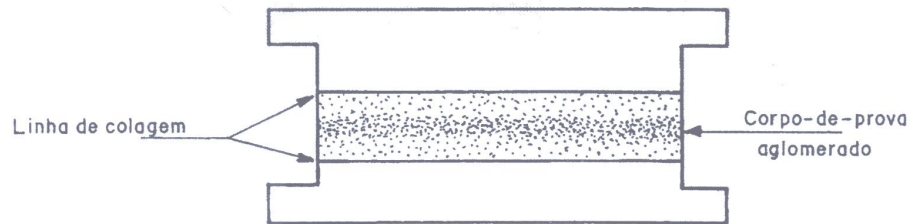


Figura 97 – Corpo-de-prova entre os blocos de tração, dimensões em milímetros.

FONTE – NBR 14810-3.

Segunda etapa: preparo da máquina universal de ensaio.

Após o preparo dos corpos-de-prova seguiu-se o preparo da máquina para o ensaio de tração perpendicular. Nesta etapa inicialmente foram colocados os dispositivos para prender o bloco de tração (Figura 98). Estes dispositivos são posicionados na máquina universal de ensaio, conforme Figura 99.

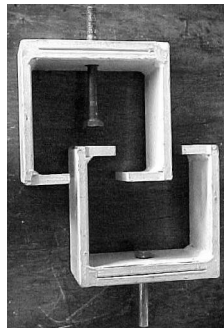


Figura 98 – Dispositivos para prender o bloco de tração.



Figura 99 – Dispositivos colocados na máquina universal de ensaio..

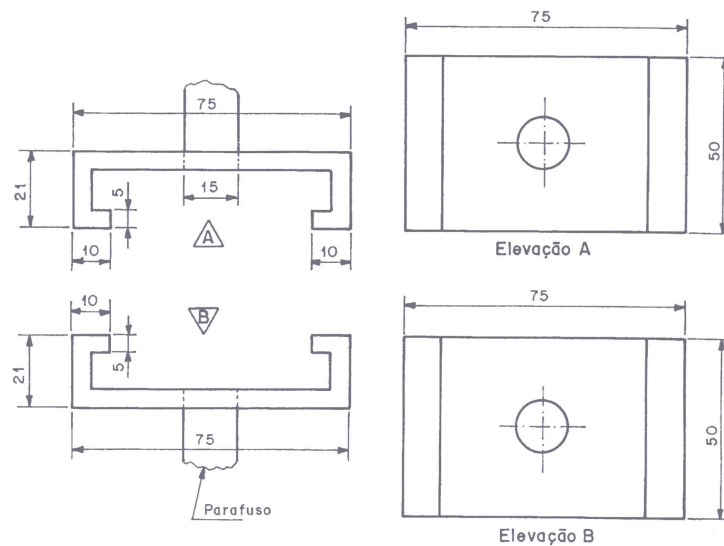


Figura 100 – Dispositivo para prender o bloco de tração, dimensões em milímetros.

FONTE – NBR 14810-3.

Segunda etapa: preparo da máquina universal de ensaio.

Após a realização das duas etapas, o preparo da máquina e o preparo e cura dos corpos-de-prova, pôde ser iniciado o ensaio de tração perpendicular. Inicialmente foi regulada a máquina universal de ensaios para uma velocidade de 4 mm/min. Depois colocou-se o corpo-de-prova no dispositivo, conforme a Figura 101. Em seguida, acionou-se a máquina de ensaios até a ruptura do corpo-de-prova e anotou-se o valor lido no indicador de cargas, em newtons.

A resistência à tração perpendicular do corpo-de-prova foi calculada através da equação:

$$TP = P/S \quad (17)$$

Onde:

TP é a resistência à tração perpendicular, em megapascals;

P é a carga na ruptura, em newtons;

S é a área da superfície do corpo-de-prova, em milímetros quadrados.

O resultado foi obtido pelo cálculo da média dos corpos-de-prova ensaiados, expresso em megapascals, com exatidão de 0,01MPa.



Figura 101 – Conjunto (blocos de tração e corpo-de-prova) acoplado nos dispositivos.

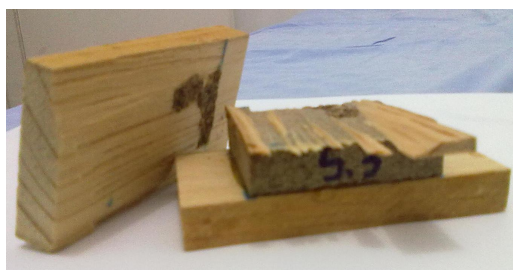


Figura 102 – Corpo-de-prova após o ensaio.

Capítulo 6 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme a metodologia apresentada no capítulo 5, os resultados obtidos nos ensaios para a caracterização química, física e mecânica são apresentados a seguir.

6.1 Caracterização da fibra da semente do açaí

6.1.1 Caracterização química.

Conforme os ensaios químicos para a fibra da semente de açaí descritos no capítulo 5, foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Determinação da análise química da fibra do açaí.

Amostra	Umidade (%)	Etanol - Tolueno (%)	Etanol (%)	Lignina (%)	Celulose (%)
Fibra da semente do açaí	10,05	2,3	0,62	10,16	73,92

Como mencionado no capítulo 3 a celulose é um componente muito importante nas fibras naturais, pois está relacionada a resistência à tração na fibra, sendo o módulo de elasticidade e resistência à tração diretamente proporcionais ao teor de celulose. Deste modo, da Tabela 5, observa-se que o teor de celulose é aproximadamente 10% maior que o teor das fibras de arumã e de sisal, fibras com potencial utilização em compósitos. Assim, deve-se esperar bons resultados de desempenho em relação a essas duas propriedades mecânicas desta fibra em relação às outras duas.

Considerando que a lignina resguarda a fibra de ataques químicos devido sua estrutura amorfa polimérica, e de acordo com os resultados da análise química da fibra do açaí, observa-se da Tabela 6, que estes comparados com os resultados da fibra do sisal e do arumã, mostram que a fibra do açaí possui uma resistência intermediária aos ataques químicos, em relação às estas duas fibras. Portanto, é de se esperar uma degradação mais rápida da fibra do sisal em relação à fibra do açaí.

Tabela 6 – Comparativo da celulose e lignina da fibra do açaí entre a fibra do arumã e a fibra do sisal.

Fibras	Lignina (%)	Celulose (%)
Fibra do açaí	10,16	73,92
Fibra do arumã	14,23	62,73
Fibra do sisal	8,01	67,01

6.1.2 Caracterização mecânica da fibra - Resistência a tração mecânica

De acordo com os procedimentos definidos no capítulo 5 foram realizados os ensaios em trinta amostras de fibras da semente de açaí, sendo obtidos os resultados em termos de forças e deslocamentos.

Conforme as medições de comprimento e seção transversal, a primeira através de paquímetro digital e a segunda por microscopia óptica, verificou-se um comprimento de 12 mm e uma seção transversal aproximada de 0,021 mm² para as amostras ensaiadas.

Com os valores de força e deslocamentos foi possível, a partir do comprimento e seção transversal das fibras, calcular as tensões e deformações específicas a que estavam submetidas as fibras de açaí durante o ensaio de tração. O gráfico apresentado na Figura 107 exemplifica os gráficos que foram obtidos, para cada uma das fibras ensaiadas, a partir dos resultados dos ensaios de tração.

Do gráfico da Figura 103, observa-se que a curva obtida não possui sua origem coincidente com os eixos vertical e horizontal, deformação e tensão respectivamente, isto porque há uma fase inicial do ensaio em que existe uma acomodação natural entre a amostra ensaiada e os acessórios de fixação da máquina universal de ensaios. Este comportamento não interferiu nos resultados obtidos.

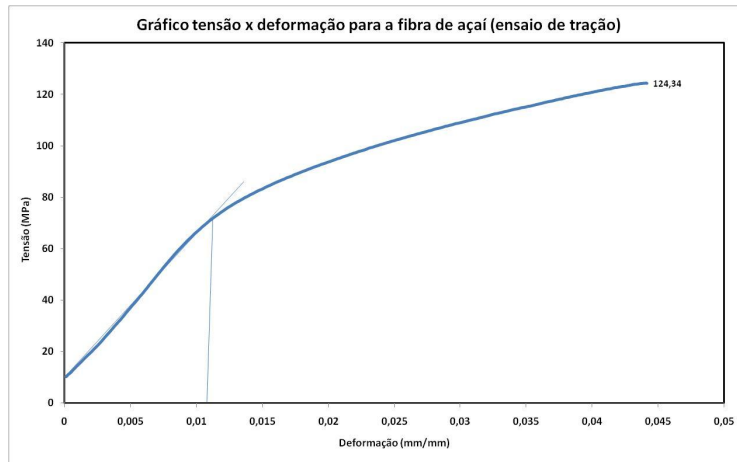


Figura 103 - Gráfico tensão x deformação referente ao ensaio de tração em uma fibra de aço.

Além disso, o gráfico da Figura 103 mostra claramente que a fibra não apresentou um comportamento linear em termos de tensão e deformação a que estava submetida durante o ensaio de tração. A exceção observada refere-se ao intervalo do início do ensaio até um pouco além da deformação específica de 0,01 mm/mm, onde há um comportamento aproximadamente linear.

O comportamento linear no trecho até 0,01 mm/mm é observado melhor no gráfico apresentado na Figura 108, que nada mais é do que a ampliação do gráfico apresentado na Figura 104.

A reta aproximada à curva tensão por deformação apresenta uma inclinação de 5,78 GPa, valor este que equivale ao Módulo de Elasticidade Longitudinal no intervalo observado, tendo em vista que, para um comportamento linear este módulo é a razão tensão/deformação, ou seja, a inclinação da reta. Deste modo, conclui-se, observando-se os gráficos das Figuras 104 e 105, que o Módulo de Elasticidade Longitudinal desta amostra não é superior a 5,78 GPa.

Deve-se salientar que o Módulo de Elasticidade de 5,78 GPa foi o maior valor encontrado entre todas as amostras de fibras ensaiadas.

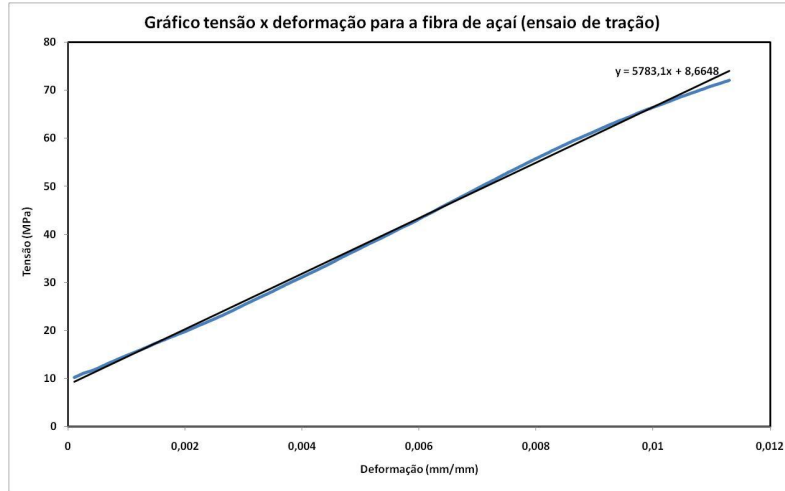


Figura 104 - Trecho do gráfico tensão x deformação com reta ajustada a curva.

Resultados semelhantes foram obtidos para as demais amostras de fibra de açaí ensaiadas e os resultados em termos de tensão de ruptura são mostradas na Tabela 7.

Da Tabela 7, observa-se que a tensão última de ruptura obtida no ensaio de tração nas fibras de açaí alcançou um valor máximo de 124,95 MPa e mínimo de 23,50 MPa. Esta grande variação no tensão indica o quanto as características de resistência da fibra podem variar entre as sementes de açaí coletadas.

Tabela 7 - Tensão última de tração para as amostras de fibras de açaí.

Amostra	Tensão última (MPa)
1	107,05
2	89,81
3	61,02
4	98,01
5	23,50
6	76,16
7	70,83
8	102,59
9	83,33
10	64,70
11	112,03
12	84,80
13	95,68
14	57,64
15	95,10
16	107,36
17	124,95
18	107,90
19	124,39
20	81,24
21	98,02
22	74,25
23	70,71
24	106,82
25	64,80
26	68,25
Media	86,58
Desvio Padrão	23,25

6.1.3 Caracterização física da fibra

6.1.3.1 Caracterização Análise térmica

Os resultados do estudo por termogravimetria (TG) das fibras do açaí são mostrados na Tabela 8 e nos Gráficos da Figura 105. A análise por TG, conforme estas tabelas e gráficos indica que ocorreram três processos de perda acentuada de massa, primeiro uma pequena variação de cerca 5% de massa devido à perda de umidade até 48,35 °C. Em seguida ocorreu uma variação acentuada a partir de cerca de 280 °C, onde houve uma perda de massa de aproximadamente 65%, atribuída à decomposição da hemicelulose, e

quebra de ligações da celulose. A terceira variação de massa ocorre a partir de aproximadamente 370 °C devido à decomposição final da celulose e da lignina.

Observa-se ainda da análise térmica que a redução de 50% da massa inicial ocorre em 348,03 °C. Além disso, o teor final de resíduos das fibras é de cerca de 18%.

Tabela 8 - Resultados da análise por termogravimetria das fibras do açaí.

Etapas	Temperatura máxima	Perda de massa	Perda de resíduo
Primeira etapa	48,35° C	5%	95%
Segunda etapa	281,44° C	65%	35%
Terceira etapa	348,03° C	80%	20%

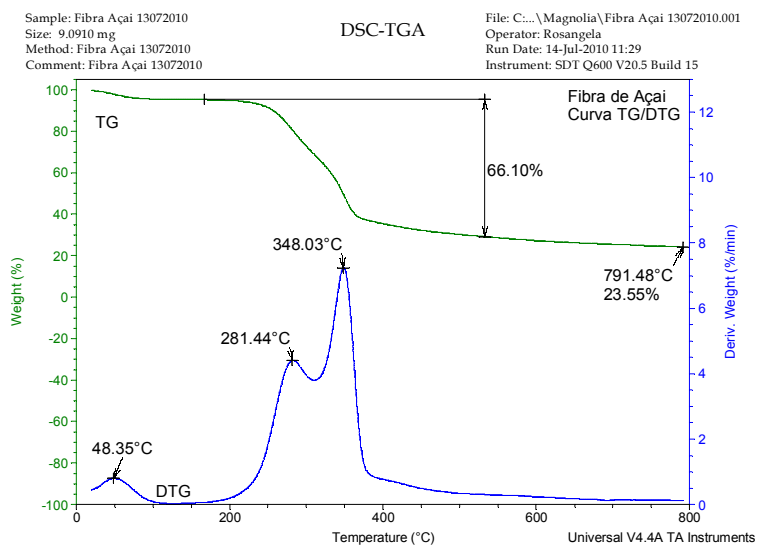


Figura 105 – Gráfico das Curvas de TG/DTG da fibra do açaí.

Do gráfico mostrado na Figura 106, observa-se que os resultados da fibra do açaí apresentaram resultados muito próximos ao da fibra do sisal que já é uma fibra industrializada. O que indica que a fibra de açaí poderá ter potencial para utilização em compósitos.

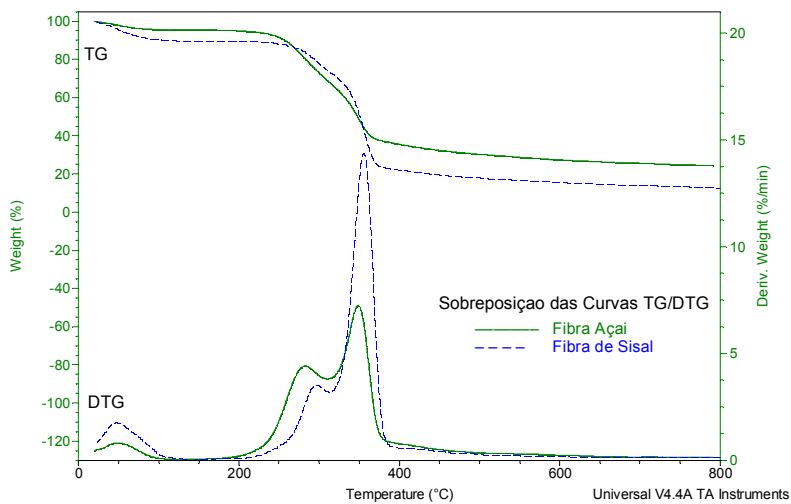


Figura 106 – Gráfico das Curvas de TG/DTG da fibra do açaí e da fibra do sisal.

6.1.3.2 Densidade real

Da Tabela 9, observa-se que a densidade real da fibra do açaí obtida no ensaio de densidade real pelo método do picnômetro de gás hélio, determinada pela média das dez leituras que foram feitas, foi de 1,4 g/ cm³.

Tabela 9 - Ensaio de densidade real da fibra de açaí e o valor médio.

Número de amostras	Densidade (g/cm³)
1	1,4
2	1,39
3	1,4
4	1,39
5	1,39
6	1,4
7	1,41
8	1,41
9	1,41
10	1,4
Média	1,4
Desvio padrão	0,009

Concluída a caracterização da fibra da semente de açaí e produzidos os painéis, foram realizados os ensaios para caracterização dos mesmos conforme os procedimentos estabelecidos no capítulo 5, a começar pela caracterização física.

6.2 Caracterização do painel

6.2.1 Caracterização morfológica

O painel apresenta uma volumetria simplificada representada por um quadrado na superfície. Sua forma tridimensional consiste em um paralelogramo cúbico, visualmente agradável, no qual, mostra as fibras descontínuas randomicamente orientadas e com uma textura áspera. A matriz polimérica apresentara uma superfície uniforme com morfologia externa visualmente agradável.

6.2.2 Caracterização física

6.2.2.1 Densidade

Tabela 10 – Resultados do ensaio de densidade do painel de fibra de açai e o valor médio.

Painéis	Densidade (g/mm³)
P 1	0,81
P 2	0,87
P 3	0,92
P 4	0,86
P 5	0,92
P 6	0,92
P 7	0,83
Média	0,88
Desvio Padrão	0,04

A norma define que um painel é de média densidade quando apresenta o valor de sua densidade no intervalo de 551 Kg/m³ a 750 Kg/m³. No caso do painel produzido com fibra da semente do açai, conforme os resultados do ensaio de densidade, que este pode ser considerado de alta densidade, pois apresentou um valor de 880 Kg/m³ (Tabela 10).

6.2.2.2 Inchamento e absorção

Tabela 11 – Valores de espessura para o ensaio de inchamento.

Painéis	Inchamento (%)
P 1	2,96
P 2	6,22
P 3	4,49
P 4	3,21
P 5	2,76
P 6	3,35
P 7	3,37
Média	3,76
Desvio padrão	1,12

Tabela 12 – Valores em percentagem para o ensaio de absorção de água.

Painéis	Absorção de água (%)
P 1	4,62
P 2	13,15
P 3	8,14
P 4	6,54
P 5	8,81
P 6	9,37
P 7	8,73
Média	8,48
Desvio padrão	2,43

Tabela 13 – Valores em percentagem para o ensaio de absorção de água e inchamento.

Painéis	Absorção de água (%)	Inchamento (%)
Média	8,48	3,76
Desvio padrão	2,43	1,12

Tanto para o ensaio de inchamento quanto para o de absorção de água a norma recomenda um teor de 8 % no máximo para 2 h em painéis de 14 mm. No ensaio de absorção o resultado foi de 8,48% (Tabela 12), ultrapassando um pouco o índice da norma. Enquanto para o ensaio de inchamento o valor foi de 3,76% (Tabela 13) abaixo do valor recomendado pela norma. Deste modo, verifica-se que tanto para o ensaio de absorção quanto o ensaio de inchamento, existe uma viabilidade técnica para os painéis de 10 mm e produzidos com a fibra do açáí.

6.2.3 Caracterização mecânica

6.2.3.1 Caracterização de flexão estática

Como mencionado no capítulo 4 o ensaio de flexão estática foi executado em 6 (seis) corpos de prova para cada painel, sendo 7 (sete) painéis, foram realizados 42 (quarenta e dois) ensaios. Os resultados de cada painel encontram-se nos anexos.

Na Tabela 14 são apresentados os valores médios obtidos para o Momento de Ruptura - MOR e para o Módulo de Elasticidade - MOE, relativo aos sete painéis ensaiados.

Tabela 14 – Resultados do ensaio de flexão de estática com os valores médios para o MOR e o MOE.

Painel	MOR (MPa)	MOE (MPa)
Painel 1	10,21	814,1
Painel 2	14,97	914,7
Painel 3	15,84	1140,6
Painel 4	16,03	1044,4
Painel 5	17,01	1095,1
Painel 6	17,30	975,3
Média	15,23	997,4
Desvio padrão	2,37	110,4

A recomendação da norma NBR 14810-2 para placas de aglomerado entre 14 mm até 20 mm de espessura é de um valor mínimo de 16 MPa para o Momento de Ruptura – MOR. Neste ensaio as placas de fibra de açaí de espessura de 10 mm apresentaram um valor médio de 15,23 MPa. Tendo em vista que apesar de estar um pouco abaixo do que recomenda a norma, deve-se considerar que a espessura do painel ensaiado foi inferior a faixa de espessura recomendada pela norma brasileira, portanto, é de se esperar que um painel de 14 mm de espessura feito com a fibra do açaí atenda a especificação da norma com relação ao momento de ruptura – MOR.

6.2.3.2 Caracterização de arrancamento de parafuso de superfície

Para o ensaio de arrancamento de parafuso de superfície foram realizados 14 (quatorze) corpos-de-prova, sendo 2 (dois) corpos-de-prova para cada painel. Os resultados para todos os corpos-de-prova encontram-se nos anexos. A Tabela 15 apresenta os valores médios obtidos nos ensaios para todos os painéis.

Tabela 15 – Ensaio de arrancamento de parafuso de superfície com os valores médios dos painéis.

Painel	Arrancamento de parafuso MOR
Painel 1	980 N
Painel 2	882 N
Painel 3	1.225 N
Painel 4	1.053,5 N
Painel 5	1.323 N
Painel 6	612,5 N
Painel 7	980 N
Médias	1.080 N
Desvio padrão	3,3

A norma NBR 14810-2 para placas de aglomerado entre 14 mm até 20 mm de espessura recomenda um valor mínimo de 1.020 N para o ensaio de arrancamento. Neste ensaio as placas de fibra de açaí de espessura de 10 mm apresentaram um valor médio de 1.080 N, significando que este resultado encontra-se acima da recomendação da norma brasileira, mesmo para um painel de espessura inferior a faixa apresentada.

6.2.3.3 Caracterização de tração perpendicular

Como mencionado no capítulo 4, para o ensaio de tração perpendicular foram preparados 6 (seis) corpos-de-prova de cada painel, totalizando 42 (quarenta e dois) corpos-de-prova ensaiados. Os resultados de todos os corpos-de-prova encontram-se nos anexos. A Tabela 16 apresenta os valores médios obtidos no ensaio para todos os painéis.

Tabela 16 – Ensaio de tração perpendicular.

Painel	Força (Kgf)	Área cm ²	RTP (Kgf/cm ²)
CP 1	336,6667	52,39	6,42
CP 2	320	52,28	6,12
CP 3	304,16	52,27	5,81
CP 4	372,5	52,14	7,14
CP 5	375	52,26	7,17
CP 6	373,33	52,19	7,15
CP 7	332,5	52,29	6,35
Média	344,88	52,26	6,59
Desvio padrão	26,66	0,07	0,51

Para placas de aglomerado a norma NBR 14810-2 recomenda, para o ensaio de tração perpendicular, o valor mínimo 0,35 MPa. Como para este ensaio o valor médio foi de 6,59 Kgf/cm² (0,66 MPa), observa-se que o painel com fibra de açai atende a NBR 14 810-2 também para este requisito.

CONCLUSÕES

Neste trabalho a fibra da semente do açaí foi caracterizada morfológicamente, quimicamente, fisicamente e mecanicamente. Por meio de ensaios adaptados das normas da ASTM para madeiras ou por procedimentos consagrados.

Morfológicamente a fibra do açaí é um material lignocelulósico fibroso que recobre a semente, no qual, possui um diâmetro nominal de 8,5 mm e comprimento de aproximadamente de 12 mm.

A análise química apresentou dois aspectos interessantes. O primeiro, com relação ao teor de celulose, 10% acima em relação aos apresentados pelas fibras de sisal e de arumã, e o segundo, com relação ao teor de lignina, intermediário entre estas duas, o que indica o potencial de uso da fibra de açaí em compósitos. Isto porque ambas as fibras já apresentaram estudos mostrando suas potencialidades para a aplicação em compósitos cimentícios.

A análise termogravimétrica mostrou similaridade de comportamento térmico entre as fibras de sisal e da semente de açaí, o que reforçou a idéia de que a fibra analisada nesta pesquisa possui potencial para aplicação em compósitos.

Nesta pesquisa também foi verificado a viabilidade técnica da produção de painéis com a fibra. Tais painéis apresentaram superfície uniforme com morfologia externa visualmente agradável.

O processo de produção dos painéis é simples, podendo ser facilmente aplicável no setor industrial, podendo o painel servir de matéria-prima para a fabricação de móveis, ou ainda, revestimento de parede e tetos, além de forros, para acabamento de edifícios.

O painel desenvolvido neste trabalho apresentou resultados físicos e mecânicos muito próximos e em alguns casos superiores aos recomendados pela norma NBR 14810-2, para painéis produzidos com madeira. Isto vem ratificar a qualidade do painel produzido com a fibra da semente do açaí.

Finalmente, deve-se destacar o ganho ambiental, pois fibra da semente do açaí consiste em um resíduo que não possui destino certo onde a partir do presente estudo pode ser feito um desenho para um destino adequado e um manejo sustentável, viabilizando a possibilidade de produção industrial de painéis de resina feitos com a fibra do açaí.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Nesta pesquisa os resultados encontrados para a produção de compósitos feitos com a fibra do açaí, foram satisfatórios. Portanto, acredita-se que a fibra possui diversos pontos favoráveis que podem ser otimizados e aplicados em trabalhos complementares, as quais são listados a seguir:

- Recomenda-se para pesquisas futuras que seja feito painel com espessura de 14 mm para comparar os resultados com painel de espessura 10 mm;
- Realizar um estudo verificando a estabilidade dimensional do painel de fibra do açaí;
- Fazer os ensaios acústicos do painel;
- Realizar ensaios de isolamento térmico do painel;
- Verificar o ensaio de envelhecimento acelerado no painel de fibra;
- Investigar o compósito em painéis com teor menor de 1.300 g de fibra para verificar se este atende a norma NBR 14810-2;
- Combinar a fibra com a semente do açaí triturada para a produção do painel, como aproveitamento total do caroço, assim como facilitar a extração da fibra.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14810-1 – Chapas de madeira aglomerada, Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, Março, 2002.

_____. NBR 14810-2 – Chapas de madeira aglomerada, Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, Março, 2002.

_____. NBR 14810-3 – Chapas de madeira aglomerada, Métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, Março, 2002.

AGUIAR, Madalena Otaviano; MENDONÇA, Maria Sílvia de. Morfo-anatomia da semente de *Euterpe Precatoria Mart. (Palmae)*. Revista Brasileira de Sementes, vol. 25, nº 1, p.37-42, 2003.

American society for testing materials. 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.

ARNHEIM, Rudolf. Arte e percepção visual: uma psicologia da visão criadora. Editora Pioneira Thomson Learning. São Paulo, SP. 2007.

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

CENTRO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO CAMAÇARI - CEPED. Manual de Construção com Solo-Cimento. 3ª ed. SP: ABCP, 1984. 147 p.

FAGURY, Régia Vânia Guilliod. Avaliação de fibras naturais para a fabricação de compósitos: açaí, coco e juta. Dissertação de mestrado de Engenharia Mecânica. Belém, 2005.

- IWAKIRI, Setsuo. Painéis de madeira reconstituída. Curitiba – PR, 2005.
- LAHR, Francisco Antonio Rocco. Produtos derivados da madeira. São Carlos – SP, 2008.
- LIMA, Marco Antonio Magalhães. Introdução para os Materiais e Processos para Designers. Rio de Janeiro. Editora Ciência Moderna Ltda., 2006.
- LUPTON, Ellen; PHILLIPS, Jennifer Cole. Novos fundamentos do design. Editora Cosac Naify, São Paulo – SP, 2008.
- MARQUES, Maria Gorett dos Santos. Caracterização das propriedades da fibra vegetal de arumã para aplicação como reforço à matriz cimentícia. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil. Manaus, 2009.
- MARTINS, Maria Alice. MATTOSO, Luiz Henrique Capparelli. PESSOA, José Dalton Cruz. Comportamento térmico da fibra do açaí. Embrapa Instrumentação Agropecuária. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Comunicado Técnico, 68. São Carlos-SP, 2005.
- MENEZES, Martins; PINHEIRO, Marcos Roberto; GUAZZELL, Ana Cíntia; MARTINS, Fábio. Cadeia produtiva do açaí no estado do Amazonas. Governo do estado Amazonas. Manaus - AM, 2005.
- PEREIRA, Edmir A. QUEIROZ; Alexandre J. de M.; FIGUEIRÊDO, Rossana M. de F. Massa específica de polpa de açaí em função do teor de sólidos totais e da temperatura. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.6, n.3, p.526-530, 2002. Campina Grande, PB, DEAg/UFCG.
- SANTOS, Pêrsio de Souza. Ciência e tecnologia de argilas. São Paulo, SP, 1989. 2ª edição, Editora Edgard Blucher.
- SAVASTANO JR., Holmer. Sistemas de cobertura para construções de baixo custo: uso de fibras vegetais e de outros resíduos agroindustriais. Coletânea Habitare - vol. 4 - Utilização de Resíduos na Construção Habitacional. FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos. 272p. Porto Alegre-RS, 2003.

Disponível em: <http://habitare.infohab.org.br/%20pdf/publicacoes/arquivos/128.pdf>
(Acessado em 16 de Janeiro de 2010).

SAVASTANO JR., Holmer; WARDEN, P. G.; COUTTS, R. S. Brazilian waste fibres as reinforcement for cement-based composites. Faculty of Animal Science and Food Engineering, University of São Paulo, Rural Construction, P.O. Box 23, 13635-900 Pirassununga SP, Brazil.

STANCATO, A. C.; Burke, A. K.; Beraldo, A. L. Mechanism of a vegetable waste composite with polymer-modified cement (VWCPMC). Faculdade de Engenharia Agrícola, Departamento de Construções Rurais, Universidade Estadual de Campinas, C. Postal 6011, CEP 13083-870, Brasil. Faculdade de Engenharia Civil, Departamento de Arquitetura e Construção Civil, Universidade Estadual de Campinas, C. Postal 6021, CEP 13083-852, Brasil.

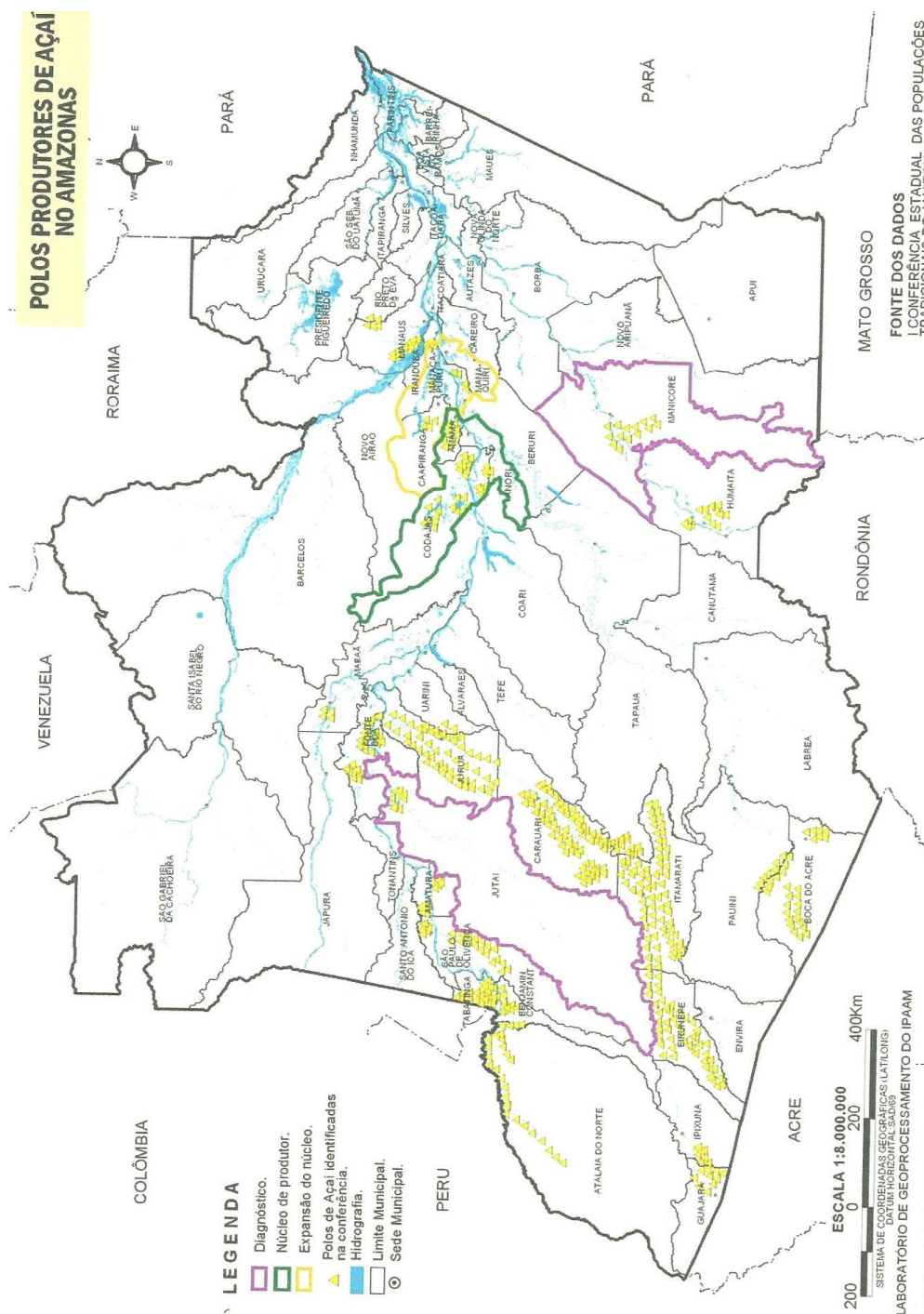
RUTHSCILLING, Evelise Anecet. Design de superfície. Editora da UFRGS, Porto Alegre, 2008.

TOLEDO FILHO, Romildo D. GHAVAMI, Khosrow. ENGLAND, George L. SCRIVENER, Karen. Development of vegetable fibre–mortar composites of improved durability. Cement & Concrete Composites, n. 25, p. 185-196. Elsevier Science Publisher Ltd. Grã-Bretanha, 2003.

TORGAL, Fernando; JALALI, Said. Ensaios de avaliação da durabilidade das construções em terra.

ZOLLO, Ronald F. Fiber-reinforced Concrete: an Overview after 30 Years of Development. Department of Civil and Architectural Engineering, University of Miami, Coral Gables, Florida, USA.

Anexo 1 – Municípios produtores de açaí no Amazonas.



FONTE: Caderno do Extrativismo que apresenta os resultados da I Conferência Estadual das Populações Tradicionais do Amazonas.

Anexo 2 – Filamento adesivado na peça de papel para ser fixado na prensa da máquina Shimadzu.



COPPE/UFRJ

Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ.

Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia –

COPPE.

Ensaio realizado na Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ no Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia – COPPE. No período de 13 a 17 de julho de 2010.

Filamento 1

Filamento da fibra da semente de açai visualizado por meio de microscópio de marca Celestron, ampliado 500 vezes. Filamento fixado na peça de papel para ser colocado na prensa da máquina Shimadzu.

Filamento 1



Anexo 3 – Diâmetro do filamento.



COPPE/UFRJ

Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ.

Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia –

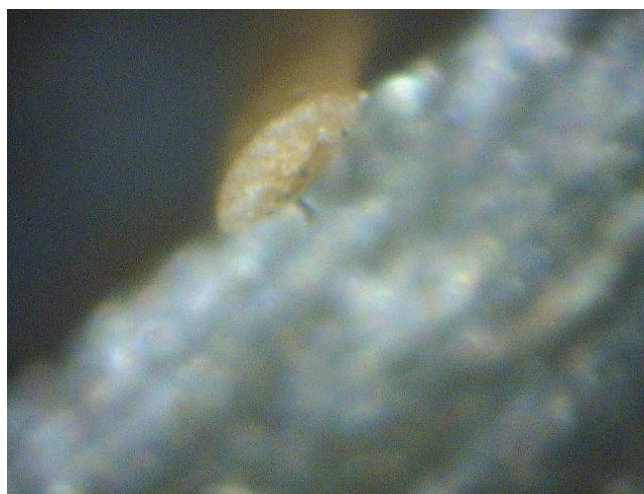
COPPE.

Ensaio realizado na Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ no Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia – COPPE. No período de 13 a 17 de julho de 2010.

Diâmetro do filamento 1

Filamento da fibra da semente de açaí visualizado por meio de microscópio de marca Celestron, ampliado 500 vezes.

Diâmetro do filamento 1



Anexo 4 – Gráfico tensão e deformação referente ao ensaio de tração em uma fibra de açaí.

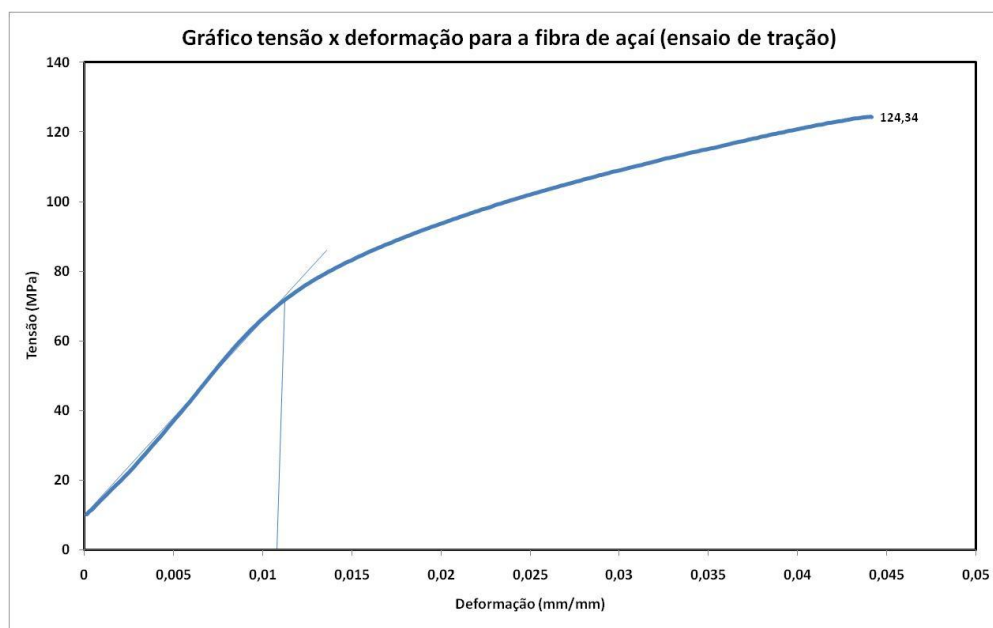


COPPE/UFRJ

Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ.

Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia –

COPPE.



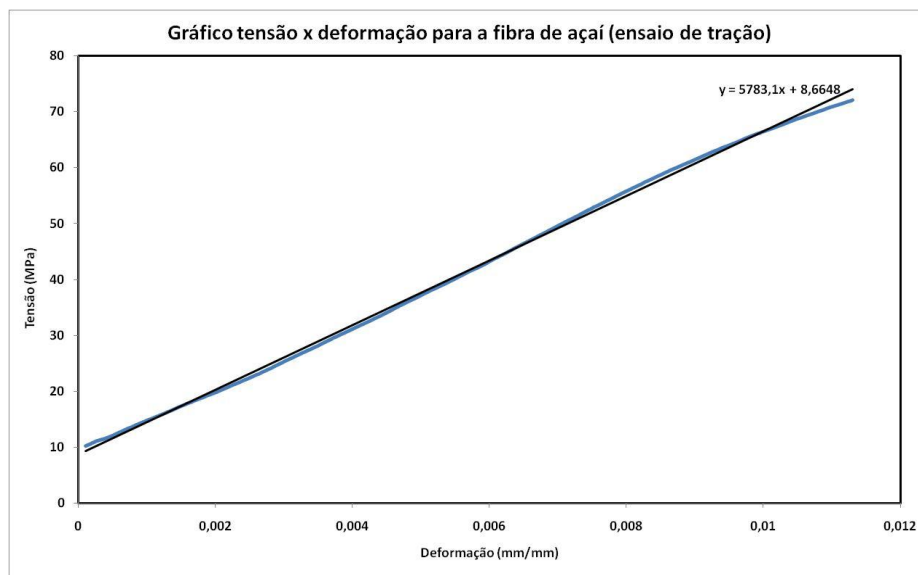
Anexo 5 – Trecho do gráfico tensão e deformação com reta ajustada a curva.




COPPE/UFRJ

Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ.

**Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia –
COPPE.**



Anexo 6 – Ensaio da densidade real da fibra da semente do açaí.

	PROCEDIMENTO OPERACIONAL	MULTI PÁG.
Data: 08/09/2009 Calibração nº 03	EQUIPAMENTO: ULTRAPYCNOMETER 1000	Página 6 de 6

Volume Real e Densidade Real

Valvula I: Aberta Valvula II: Aberta Porta amostra: Grande

Temperatura do condicionador de ar: 25 °C

Identificação da amostra: Fibra de açaí

Data: 2/9/2010 Operador: Zaqueu

Condições da preparação da amostra: Seca em estufa 60°C por 24h

Volume da célula (Vc): 149,2663 cm3 Volume de referência (Vr): 88,0909 cm3

Peso da amostra: 10,6023 g

Equação operacional:

$$Vp = Vc - Vr ((P1/P2) - 1)$$

Vp = Volume da amostra (cm3)

Vc= Volume do porta amostra (cm3)


Vr = Volume da referência (cm3)

P1 = Pressão medida depois da pressurização do volume de referência (PSI)

P2 = Pressão medida depois de incluída Vc (PSI)

Numero da Amostra	P1 (PSI)	P2 (PSI)	Vc (cm3)	Vr (cm3)	Vp Amostra (cm3)	Massa (g)	Densidade (g/cm3)
01	17,135	6568	149,266	88,091	#DIV/0!	0,0000	#DIV/0!
02	17,147	6575	149,266	88,091	#DIV/0!	0,0000	#DIV/0!
03	17,076	6545	149,266	88,091	#DIV/0!	0,0000	#DIV/0!
04	17,062	6542	149,266	88,091	#DIV/0!	0,0000	#DIV/0!
05	17,074	6547	149,266	88,091	#DIV/0!	0,0000	#DIV/0!
06	17,111	6539	149,266	88,091	#DIV/0!	0,0000	#DIV/0!
07	17,071	6542	149,266	88,091	#DIV/0!	0,0000	#DIV/0!
08	17,116	6560	149,266	88,091	#DIV/0!	0,0000	#DIV/0!
09	17,084	6547	149,266	88,091	#DIV/0!	0,0000	#DIV/0!
10	17,087	6550	149,266	88,091	#DIV/0!	0,0000	#DIV/0!
Média	#DIV/0!	#DIV/0!	149,266	88,091	#DIV/0!	0,0000	#DIV/0!
Desvio Pad.	#DIV/0!	#DIV/0!	0,000	0,000	#DIV/0!	0,0000	#DIV/0!

Anexo 7 – Ensaio da densidade real da fibra da semente do açaí.

	PROCEDIMENTO OPERACIONAL	MULTIPLIC
Data: 08/09/2009 Calibração nº 03	EQUIPAMENTO: ULTRAPYCNOMETER 1000	Página 6 de 6

Volume Real e Densidade Real

Valvula I: Aberta Valvula II: Aberta Porta amostra: Grande

Temperatura do condicionador de ar: 25 °C

Identificação da amostra: Projeto Profª Magnólia UFAM - Fibra de açaí

Data: 2/9/2010 Operador: Zaqueu

Condições da preparação da amostra: Seca em estufa 60°C por 24h

Volume da célula (Vc): 149,2663 cm³ Volume de referência (Vr): 88,09069 cm³

Peso da amostra: 10,6023 g

Equação operacional:

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

V_p = Volume da amostra (cm³)

V_c = Volume do porta amostra (cm³)

V_r = Volume da referência (cm³)

P₁ = Pressão medida depois da pressurização do volume de referência (PSI)

P₂ = Pressão medida depois de incluída V_c (PSI)

Numero da Amostra	P1 (PSI)	P2 (PSI)	Vc (cm3)	Vr (cm3)	Vp Amostra (cm3)	Massa (g)	Densidade (g/cm3)
01	17,135	6,568	149,266	88,091	7,5406	10,6023	1,406027
02	17,147	6,575	149,266	88,091	7,6245	10,6023	1,390555
03	17,076	6,545	149,266	88,091	7,5271	10,6023	1,408550
04	17,062	6,542	149,266	88,091	7,6102	10,6023	1,393166
05	17,074	6,547	149,266	88,091	7,6242	10,6023	1,390608
06	17,111	6,559	149,266	88,091	7,5476	10,6023	1,404725
07	17,071	6,542	149,266	88,091	7,4890	10,6023	1,415710
08	17,116	6,560	149,266	88,091	7,5155	10,6023	1,410727
09	17,084	6,547	149,266	88,091	7,4897	10,6023	1,415590
10	17,087	6,550	149,266	88,091	7,5546	10,6023	1,403422
Média	17,096	6,554	149,266	88,091	7,5523	10,6023	1,403908
Desvio Pad.	0,029	0,011	0,000	0,000	0,0514	0,0000	0,009544

Anexo 8 – NBR 14810 - 3. Anexo C (normativo).

Anexo C (normativo)
Guia para introdução do parafuso no corpo-de-prova e especificações do parafuso

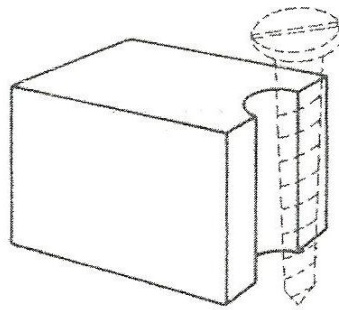


Figura C.1 -Guia utilizado para a introdução do parafuso no corpo-de-prova

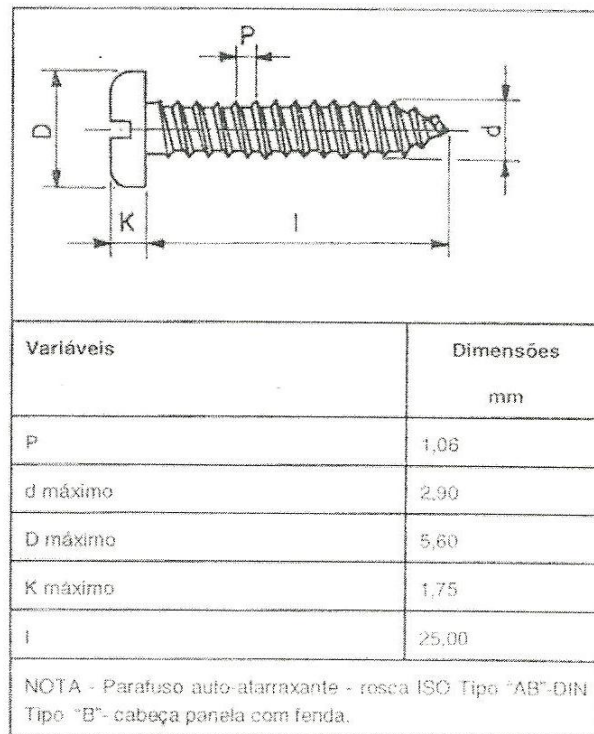


Figura C.2 -Dimensões e tipo do parafuso a ser utilizado no ensaio

Anexo 9 – NBR 14810 - 3. Anexo D (normativo).

Anexo D (informativo)
Dispositivo para tracionar o parafuso

Dimensões em milímetros

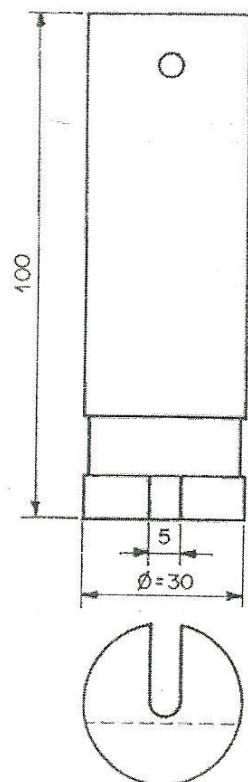


Figura D.1 -Dimensões do dispositivo para tracionar o parafuso

Anexo 10 – NBR 14810 - 3. Anexo E (normativo).

**Anexo E (informativo)
Dispositivo para fixar a amostra
Dimensões em milímetros**

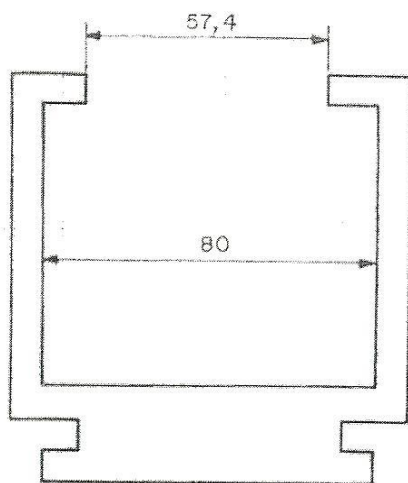


Figura E.1 -Dimensões do dispositivo para fixar a amostra

Anexo 11 – NBR 14810 - 3. Anexo F (normativo).

Anexo F (informativo)
Conjunto formado pelos acessórios, parafuso e corpo-de-prova

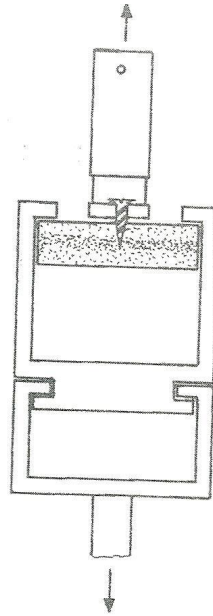


Figura F.1 - Esquema do ensaio para arranque de superfície

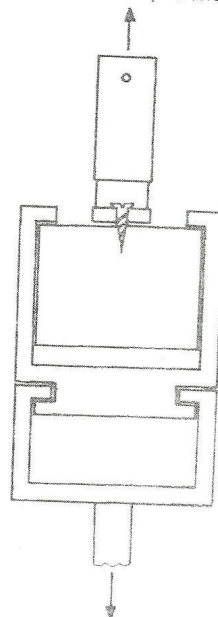


Figura F.2 - Esquema do ensaio para arranque de topo

Anexo 12 – NBR 14810 - 3. Anexo N (normativo).

Anexo N (informativo)
Forma do corpo-de-prova e seu acoplamento ao dispositivo de tração

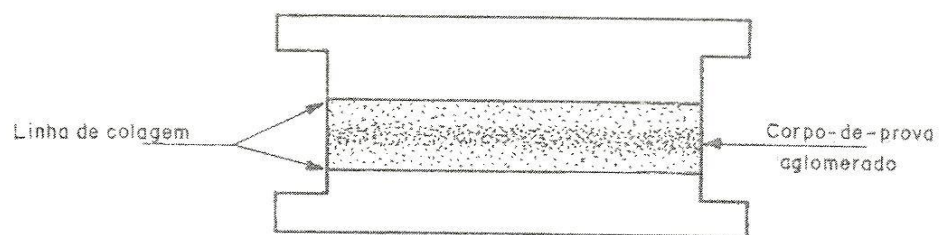


Figura N.1 - Corpo-de-prova entre os blocos de tração formando um conjunto

Anexo 13 – NBR 14810 - 3. Anexo M (normativo).

Anexo M (informativo)
Dispositivo para prender os blocos de tração

Dimensões em milímetros

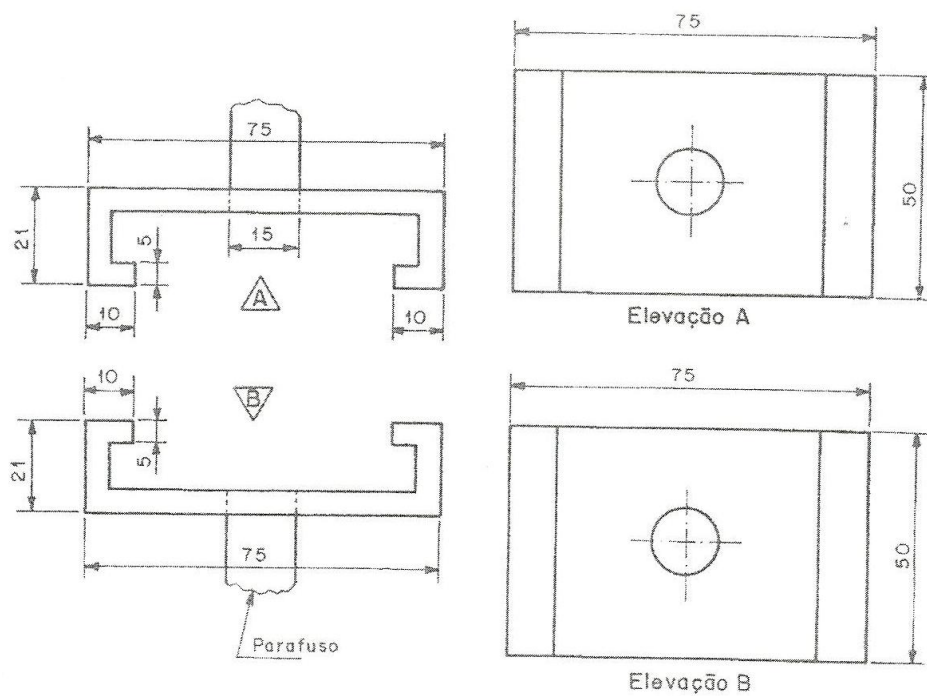


Figura M.1 - Dimensões do dispositivo para prender os blocos de tração

Anexo 14 – Gráfico da análise térmica da fibra do açai.



COPPE/UFRJ

Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ.

**Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia –
COPPE.**

Gráficos da Análise Térmica (Magnolia)

Equipamento Simultâneo DSC-TGA, modelo SDT Q-600, da TA Instruments

As condições experimentais empregadas na análise térmica foram:

Análise em: atmosfera inerte (N₂)

Fluxo máximo de 100 ml/min

Faixa de temperatura: 25°C até 800°C

Taxa de aquecimento de 10°C por minuto

Cadinho de platina, Massa em torno de 10 mg

Anexo 15 – Gráfico da análise térmica da fibra do açaí.

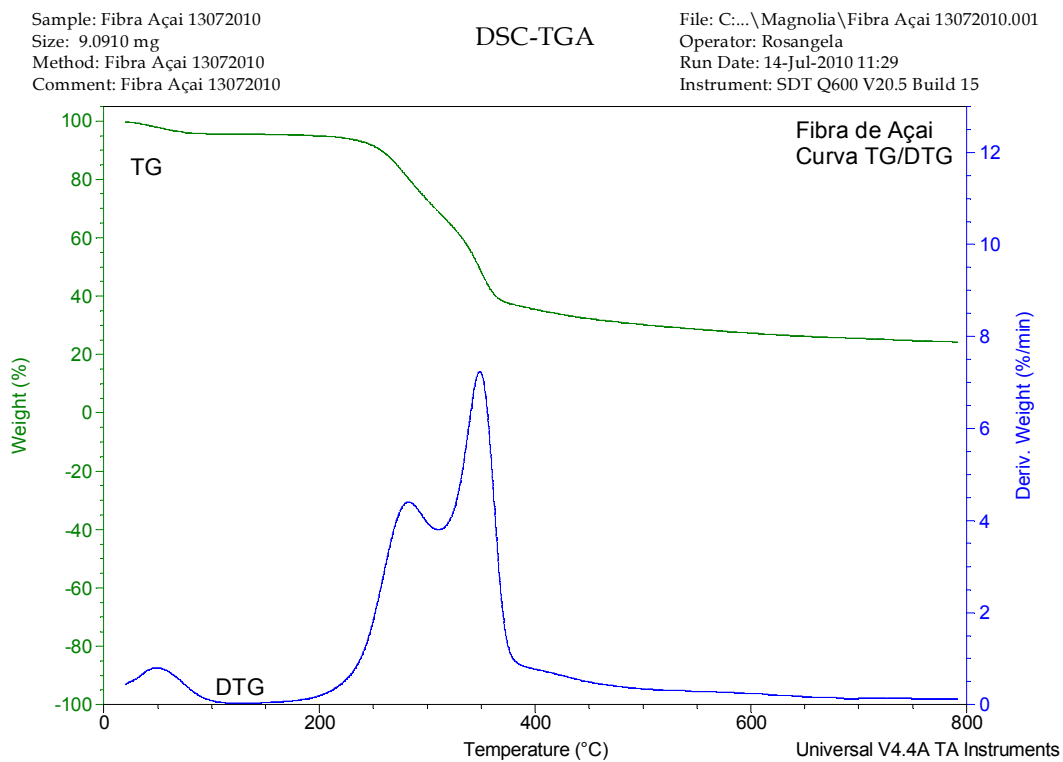


COPPE/UFRJ

Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ.

Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia –

COPPE.



Anexo 16 – Gráfico da análise térmica da fibra do açaí.

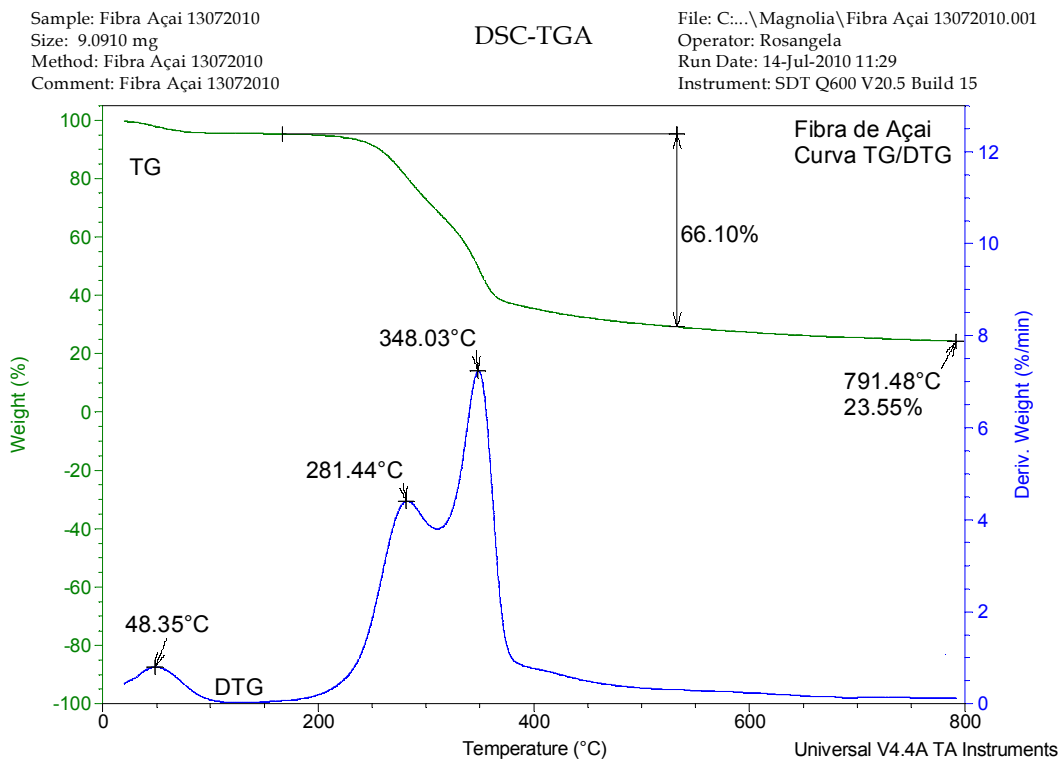


COPPE/UFRJ

Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ.

Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia –

COPPE.



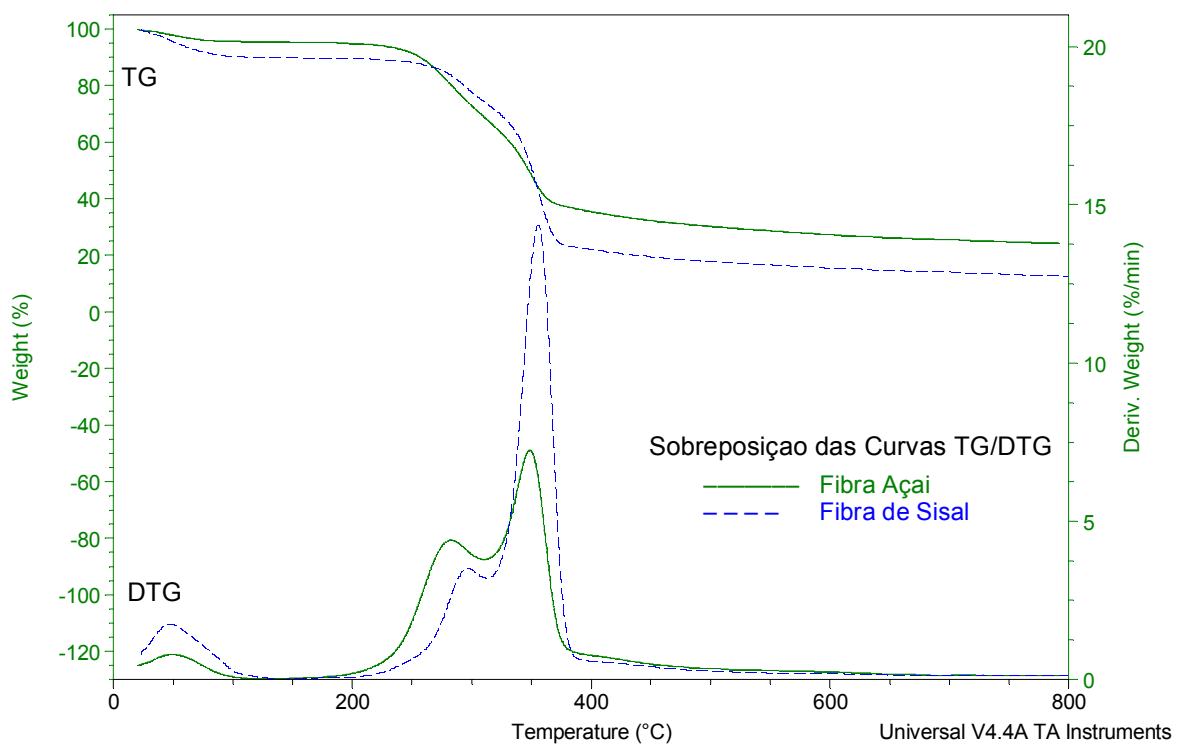
Anexo 17 – Gráfico da análise térmica da fibra do açaí sobreposta com a análise térmica da fibra do sisal.



COPPE/UFRJ

Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ.

Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia – COPPE.



Anexo 18 – Solubilidade em Etanol e Tolueno e Solubilidade em Etanol.

Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia – **INPA.**

Tabela 5 – Solubilidade em Etanol e Tolueno.

SOLUBILIDADE EM ÁLCOOL E ETANOL					
	Cartucho de celulose			Balão de fundo chato	
	Vazio	5 Kg amostra	Extrativo	Vazio	Extrativo
Amostra 1	5,52	10,52	10,15	120,71	120,81
Amostra 2	5,52	10,52	10,18	146,56	146,67

Tabela 6 – Solubilidade em Etanol.

SOLUBILIDADE EM ÁLCOOL					
	Cartucho de celulose			Balão de fundo chato	
	Vazio	5 Kg amostra	Extrativo	Vazio	Extrativo
Amostra 1	5,52	10,52	9,71	113,05	113,08
Amostra 2	5,52	10,52	9,72	120,39	120,42

Anexo 19 – Determinação de lignina.

Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia – **INPA**.

Tabela 7 – Determinação de lignina.

DETERMINAÇÃO DE LIGNINA				
	Peso do papel		Peso do filtro	
	Vazio	Com amostra	Vazio	Extrativo
Amostra 1	2,35	6,13	33,40	33,78
Amostra 2	2,35	6,13	33,97	33,36

Tabela 8 – Determinação de celulose.

DETERMINAÇÃO DE CELULOSE				
	Peso do papel		Peso do filtro	
	Vazio	Com amostra	Vazio	Extrativo
Amostra 1	2,35	6,13	29,47	29,76
Amostra 2	2,35	6,13	29,44	29,70

Anexo 20 – Determinação da análise química da fibra do açaí.

Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia – **INPA**.

Tabela 9 – Determinação da análise química da fibra do açaí.

Amostra	Umidade (%)	Extrativo Etanol - Tolueno (%)	Extrativo Etanol (%)	Lignina (%)	Celulose (%)
Fibra da semente do açaí	10,05	2,3	0,62	10,16	73,92

Anexo 21 - Ensaio de densidade do painel de fibra de açaí.

Universidade Estadual de São Paulo – USP (São Carlos)
Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeira – LaMEM.

Painel	Com	Lar	Esp		Mas	Densidade
1	(mm)	(mm)	(mm)	Vol (mm³)	(g)	(g/mm³)
CP 1.2	49,67	52,41	9,62	25.042,83	21	0,00083
CP 1.4	49,58	52,37	11,43	29678,04758	23,5	0,00079
Média						0,00081
Painel	Com	Lar	Esp		Mas	Densidade
2	(mm)	(mm)	(mm)	Vol (mm³)	(g)	(g/mm³)
CP 2.1	49,42	52,27	9,59	24772,72881	22	0,00088
CP 2.3	49,26	52,35	11,02	28417,94622	24,3	0,00085
Média						0,00087
Painel	Com	Lar	Esp		Mas	Densidade
3	(mm)	(mm)	(mm)	Vol (mm³)	(g)	(g/mm³)
CP 3.5	49,67	52,2	9,98	25875,88452	25,2	0,00097
CP 3.6	48,67	52,25	9,13	23217,65848	20,3	0,00087
Média						0,00092
Painel	Com	Lar	Esp		Mas	Densidade
4	(mm)	(mm)	(mm)	Vol (mm³)	(g)	(g/mm³)
CP 4.1	48,87	51,99	11,22	28507,22959	24,4	0,00085
CP 4.6	48,73	52,06	10,84	27499,82039	24,2	0,00088
Média						0,00086

Painel	Com	Lar	Esp		Mas	Densidade
5	(mm)	(mm)	(mm)	Vol (mm³)	(g)	(g/mm³)
CP 5.1	49,62	52,33	10,73	27861,67466	26,6	0,00095
CP 5.5	49,39	51,97	11,04	28337,45323	25,5	0,00089
Média						0,00092
Painel	Com	Lar	Esp		Mas	Densidade
6	(mm)	(mm)	(mm)	Vol (mm³)	(g)	(g/mm³)
CP 6.4	48,52	52,21	11,24	28473,49621	26	0,00091
CP 6.6	49,4	52,21	9,17	23651,02558	21,9	0,00092
Média						0,00091
Painel	Com	Lar	Esp		Mas	Densidade
7	(mm)	(mm)	(mm)	Vol (mm³)	(g)	(g/mm³)
CP 7.1	49,26	52,05	9,7	24870,6351	18,2	0,00073
CP 7.5	49,67	52,12	12,57	32541,22103	30,7	0,00094
Média						0,00083

Anexo 22 – Tabela do ensaio de Flexão Estática. Painel 1

Universidade Estadual de São Paulo – USP (São Carlos)

Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeira – LaMEM.

Painel 1

Painel de Fibra de Açai - 1300 gramas.

Data de produção: 24/08/2010 Data do teste de Flexão: 08/09/2010.

Cura: 72 horas de cura.

Quantidade de Resina - 1:1

C	e (cm)				F (MPa)	F (10%)	F (40%)	d (cm)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	LARGURA (cm)			
CP1	0,96	0,90	0,97	0,94	1,66	0,16	0,66	0,49	10,6	1511,3	5,21	5,20	5,17	5,20
CP2	1,04	1,02	1,12	1,06	2,22	0,22	0,89	0,66	11,2	1056,5	5,21	5,21	5,19	5,20
CP3	1,12	1,13	1,18	1,15	2,21	0,22	0,88	0,66	9,65	842,1	5,212	5,205	5,213	5,21
CP4	1,21	1,22	1,25	1,23	2,83	0,28	1,13	0,85	10,76	684,3	5,216	5,213	5,225	5,21
CP5	1,27	1,27	1,31	1,28	4,15	0,41	1,66	1,24	14,39	598,6	5,235	5,243	5,237	5,24
CP6	1,28	1,32	1,29	1,30	3,98	0,39	1,59	1,19	4,47	191,7	5,225	5,238	5,305	15,76
Média									10,21	814,1				

Anexo 23 – Tabela do ensaio de Flexão Estática. Painel 2.

Universidade Estadual de São Paulo – USP (São Carlos)

Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeira – LaMEM.

Painel 2

Data de produção: 24/08/2010 Data do teste de Flexão: 08/09/2010.

Cura: 72 horas de cura.

Quantidade de Resina - 1:1

C	e (cm)				F (MPa)	F (10%)	F (40%)	d (cm)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	LARGURA (cm)			
CP1	0,99	0,99	0,89	0,95	2,07	0,20	0,83	0,62	13,03	1457,1	5,22	5,21	5,21	5,22
CP2	1,04	1,09	1,07	1,07	2,00	0,20	0,80	0,60	10,08	1041,7	5,21	5,21	5,17	5,20
CP3	1,11	1,15	1,15	1,14	3,11	0,31	1,24	0,93	13,66	850,9	5,21	5,23	5,21	5,21
CP4	1,15	1,23	1,20	1,19	4,81	0,48	1,92	1,44	19,27	742,8	5,21	5,24	5,20	5,22
CP5	1,16	1,26	1,24	1,22	4,95	0,49	1,98	1,48	19,07	701,1	5,21	5,22	5,21	5,21
CP6	1,17	1,26	1,23	1,22	3,84	0,38	1,53	1,15	14,71	694,6	5,20	5,24	5,22	5,22
Média									14,97	914,7				

Anexo 24 – Tabela do ensaio de Flexão Estática. Painel 3.

Universidade Estadual de São Paulo – USP (São Carlos)

Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeira – LaMEM.

Painel 3

Data de produção: 24/08/2010 Data do teste de Flexão: 08/09/2010.

Cura: 72 horas de cura.

Quantidade de Resina - 1:1

C	e (cm)				F (MPa)	F (10%)	F (40%)	d (cm)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	LARGURA (cm)			
CP1	1,03	1,05	1,12	1,07	2,90	0,29	1,16	0,87	14,63	1044,8	5,22	5,20	5,18	5,20
CP2	1,01	1,08	1,15	1,10	3,63	0,36	1,45	1,09	17,30	961,5	5,22	5,21	5,19	5,20
CP3	1,04	1,08	1,15	1,09	3,73	0,37	1,49	1,12	18,01	980,3	5,21	5,22	5,21	5,21
CP4	1,02	1,03	1,02	1,02	2,92	0,29	1,17	0,88	16,06	1182,1	5,22	5,21	5,20	5,21
CP5	0,99	1,00	1,06	1,02	2,56	0,25	1,02	0,76	14,11	1197,5	5,22	5,21	5,18	5,21
CP6	0,97	0,91	0,97	0,95	2,35	0,23	0,94	0,70	14,91	1477,2	5,21	5,20	5,20	5,20
Média									15,84	1140,6				

Anexo 25 – Tabela do ensaio de Flexão Estática. Painel de 4.

Universidade Estadual de São Paulo – USP (São Carlos)

Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeira – LaMEM.

Painel 4

Data de produção: 24/08/2010 Data do teste de Flexão: 08/09/2010.

Cura: 72 horas de cura.

Quantidade de Resina - 1:1

C	e (cm)				F (MPa)	F (10%)	F (40%)	d (cm)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	LARGURA (cm)			
CP1	1,08	1,17	1,07	1,11	3,25	0,32	1,30	0,97	15,20	934,7	5,21	5,20	5,19	5,20
CP2	1,11	1,18	1,08	1,12	3,60	0,36	1,44	1,08	16,31	893,0	5,19	5,21	5,22	5,21
CP3	1,18	1,17	1,06	1,11	3,98	0,39	1,59	1,19	18,36	917,6	5,22	5,21	5,21	5,21
CP4	1,10	1,13	1,01	1,08	3,21	0,32	1,28	0,96	15,85	1010,6	5,16	5,19	5,21	5,19
CP5	1,06	1,08	0,96	1,04	3,01	0,30	1,20	0,90	16,05	1139,3	5,22	5,20	5,19	5,20
CP6	1	1,01	0,91	0,97	2,38	0,23	0,95	0,71	14,40	1371,1	5,21	5,20	5,20	5,20
Média									16,03	1044,4				

Anexo 26 – Tabela do ensaio de Flexão Estática. Painel 5.

Universidade Estadual de São Paulo – USP (São Carlos)

Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeira – LaMEM.

Painel 5

Data de produção: 24/08/2010 Data do teste de Flexão: 08/09/2010.

Cura: 72 horas de cura.

Quantidade de Resina - 1:1

C	e (cm)				F (MPa)	F (10%)	F (40%)	d (cm)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	LARGURA (cm)			
CP1	0,98	1,13	1,24	1,12	3,77	0,37	1,50	1,13	17,20	901,4	5,21	5,21	5,20	5,21
CP2	0,97	1,13	1,26	1,12	3,56	0,35	1,42	1,07	16,24	900,8	5,19	5,23	5,22	5,21
CP3	0,9	1,05	1,19	1,05	3,28	0,32	1,31	0,98	17,19	1106,0	5,18	5,21	5,21	5,20
CP4	0,87	1,02	1,15	1,01	2,49	0,24	0,99	0,74	13,88	1215,7	5,19	5,20	5,20	5,19
CP5	0,88	1,05	1,13	1,02	3,39	0,33	1,35	1,01	18,78	1203,3	5,18	5,18	5,19	5,18
CP6	0,91	1,01	1,09	1,01	3,32	0,33	1,32	0,99	18,79	1243,5	5,21	5,19	5,19	5,19
Média									17,01	1095,1				

Anexo 27 – Tabela do ensaio de Flexão Estática. Painel 6.

Universidade Estadual de São Paulo – USP (São Carlos)

Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeira – LaMEM.

Painel 6

Data de produção: 24/08/2010 Data do teste de Flexão: 08/09/2010.

Cura: 72 horas de cura.

Quantidade de Resina - 1:1

C	e (cm)				F (MPa)	F (10%)	F (40%)	d (cm)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	LARGURA (cm)			
CP1	1,13	1,24	1,19	1,19	4,43	0,44	1,77	1,32	17,95	756,3	5,22	5,23	5,21	5,22
CP2	1,15	1,27	1,23	1,22	4,91	0,49	1,96	1,47	18,87	697,5	5,22	5,22	5,21	5,22
CP3	1,17	1,28	1,26	1,24	4,15	0,415	1,66	1,24	15,41	663,2	5,21	5,23	5,23	5,23
CP4	0,99	1,05	1,03	1,02	3,39	0,33	1,35	1,01	18,50	1180,9	5,21	5,22	5,22	5,22
CP5	1,05	1,14	1,12	1,10	4,08	0,40	1,63	1,22	19,08	935,8	5,21	5,21	5,22	5,21
CP6	0,93	0,93	0,91	0,92	2,07	0,20	0,83	0,62	13,99	1618,1	5,21	5,20	5,19	5,20
Média									17,30	975,3				

Anexo 28 – Tabela do ensaio de Flexão Estática. Painel 7.

Universidade Estadual de São Paulo – USP (São Carlos)

Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeira – LaMEM.

Painel 7

Data de produção: 24/08/2010 Data do teste de Flexão: 08/09/2010.

Cura: 72 horas de cura.

Quantidade de Resina - 1:1

C	e (cm)				F (MPa)	F (10%)	F (40%)	d (cm)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	LARGURA (cm)			
CP1	0,84	0,87	0,85	0,85	1,86	0,18	0,74	0,56	14,66	2034,4	5,18	5,22	5,20	5,20
CP2	1,04	1,07	1,02	1,04	2,42	0,24	0,96	0,72	12,71	1112,5	5,22	5,20	5,18	5,20
CP3	1,14	1,18	1,09	1,14	3,53	0,35	1,41	1,05	15,63	863,0	5,22	5,20	5,20	5,21
CP4	1,2	1,26	1,15	1,20	4,56	0,45	1,82	1,37	18,10	729,8	5,22	5,20	5,19	5,20
CP5	1,24	1,30	1,25	1,27	4,32	0,43	1,73	1,29	15,43	623,5	5,21	5,21	5,20	5,21
CP6	1,26	1,34	1,26	1,29	4,60	0,46	1,84	1,38	15,96	596,7	5,20	5,18	5,19	5,19
Média									15,41	993,3				