



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

CAMPUS DE CURITIBA

DEPARTAMENTO DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

E DE MATERIAIS – PPGEM

NELSON POTENCIANO MARINHO

CARACTERÍSTICAS DAS FIBRAS DO BAMBU (*Dendrocalamus giganteus*) E POTENCIAL DE APLICAÇÃO EM PAINÉIS DE FIBRA DE MÉDIA DENSIDADE (MDF)

CURITIBA

2012

NELSON POTENCIANO MARINHO

CARACTERÍSTICAS DAS FIBRAS DO BAMBU (*Dendrocalamus giganteus*) E POTENCIAL DE APLICAÇÃO EM PAINÉIS DE FIBRA DE MÉDIA DENSIDADE (MDF)

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia, do programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Área de concentração Engenharia de Materiais, do Departamento de Pesquisa e Pós-Graduação, do Campus de Curitiba, da UTFPR.

Orientador:

Prof. Eduardo Mauro do Nascimento, Dr.

Co-orientadores:

Prof^a. Silvana Nisgoski, Dr^a.

Prof. Ivaldo De Domenico Valarelli, Dr.

CURITIBA

2012

TERMO DE APROVAÇÃO

NELSON POTENCIANO MARINHO

CARACTERÍSTICAS DAS FIBRAS DO BAMBU (*Dendrocalamus giganteus*) E POTENCIAL DE APLICAÇÃO EM PAINÉIS DE FIBRA DE MÉDIA DENSIDADE (MDF)

Esta Dissertação foi julgada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia, área de concentração em Engenharia de Materiais, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Prof. Giuseppe Pintaúde, Dr.
Coordenador do Programa

Banca Examinadora

Prof. Eduardo M. do Nascimento, Dr.
UTFPR/PPGEM – Orientador

Prof^a. Graciela I. Bolzon de Muñiz, PhD.
UFPR

Prof. Ossimar Maranhão Dr.
UTFPR /PPGEM

Prof. Eloy Fassi Casagrande Jr, PhD.
UTFPR/PPGTE

Curitiba, 18 de Maio de 2012.

Dedico esse trabalho a minha esposa pelo seu apoio incondicional, incentivo e paciência.

Aos meus filhos pelo companheirismo e solidariedade.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pela dádiva da vida, pela oportunidade e inspiração.

À minha família pela compreensão, incentivo e apoio.

Ao Prof. Dr. Eduardo Mauro do Nascimento pela orientação, estímulo, confiança e principalmente pela sua amizade.

Ao co-orientador Prof. Dr. Ivaldo De Domenico Valarelli da UNESP, campus de Bauru, pelas suas recomendações e colaboração.

À co-orientadora Prof^a. Dr^a. Silvana Nisgoski da UFPR pelo incentivo, sugestões e sua valiosa contribuição na condução das análises de microscopia e anatomia no Laboratório de Anatomia e Qualidade da Madeira – LANAQM, bem como os alunos Ramiro e Adriano, bolsistas de iniciação científica, na produção das lâminas histológicas e ensaios mecânicos.

À Prof^a. Dr^a. Graciela Inês Bolzon de Muñiz da Universidade Federal do Paraná, pessoa muito querida e estimada no meio acadêmico e científico, pelos seus precisos contatos, apoio, incentivo e auxílio nos momentos difíceis.

Aos Professores Dr. Umberto Klock e Dr. Alan Sulato da UFPR do Laboratório de Química da Madeira, Polpa e Papel pela sua generosidade na disponibilização dos equipamentos para o processamento das polpas. Além dos bolsistas Renan e Rafael pela colaboração nas análises químicas.

À Prof^a. Dr^a. Thais Helena da UFPR pelo uso dos equipamentos do laboratório de polímeros.

À empresa MOMENTIVE S.A pela doação da resina e assessoramento, em particular aos engenheiros químicos Mário de Andrade, Daniel Sacks e Fabrício Camboim.

Ao Departamento de Desenho Industrial (DADIN) da UTFPR pelo uso da marcenaria na produção do material para produção das amostras, bem como na confecção dos corpos de prova.

Ao professor Dr. César Augusto Taconeli do Laboratório de Estatística Aplicada pelo grande auxílio e orientações nas análises estatísticas.

Ao SENAI-CETMAM em especial ao professor Valdemar Fürbringer pelos conselhos e sugestões.

Ao professor Dr. José Manuel e pelos técnicos Clarisse e Leandro Keiji do Laboratório de Minerais e Rochas – LAMIR da UFPR pelas análises de microtomografia.

Aos técnicos Deonir e Fabio Caetano do Centro de Microscopia Eletrônica - CME da UFPR pelas análises em MEV e EDS.

Ao prof. Dr. Eder Tadeu Gomes Cavalheiro do Instituto de Química de São Carlos e a técnica do laboratório Ana Paula do Instituto de Química da USP de São Carlos pelas análises térmicas.

Aos amigos da UTFPR campus Curitiba, Prof^a. Livia Mari Assis, Prof. Eloy Fassi Casagrande Junior, Prof. Carlos Alberto Vargas, Prof. Celso Salamon, Prof. Nivaldo Soares pelos seus valorosos conselhos e contribuição relacionadas à condução de algumas atividades desta pesquisa.

A todos aquele que diretamente ou indiretamente contribuíram na realização desta pesquisa.

Ao PPGEM pelo acolhimento e ao Grupo de Materiais (GrMaTs) pelo uso dos equipamentos e apoio à minha pesquisa.

Ao CNPq pelo incentivo e auxílio financeiro.

“Antes de entrar numa batalha, é preciso acreditar naquilo pelo qual se está lutando”.

(Chuang Tzu)

MARINHO, Nelson Potenciano, **CARACTERÍSTICAS DAS FIBRAS DO BAMBU (*Dendrocalamus giganteus*) E POTENCIAL DE APLICAÇÃO EM PAINÉIS DE FIBRA DE MÉDIA DENSIDADE (MDF)** 2012, Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 141p.

RESUMO

O aumento da demanda por madeira e a redução da sua disponibilidade tem direcionado investigações para o aproveitamento de materiais alternativos, naturais e renováveis. Constituído por fibras de elevada resistência mecânica e uma das maiores taxas de crescimento, o bambu surge como uma alternativa promissora para o uso industrial. Os painéis de fibra de média densidade (MDF - *Medium Density Fiberboard*) são tecnologias recentes que procuram maximizar o aproveitamento e valorização das madeiras. Neste contexto, a presente pesquisa teve como objetivo investigar as características anatômicas e químicas das fibras do bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus* e, na forma de painéis de MDF, avaliar as suas propriedades físico-mecânicas como: densidade, teor de umidade, inchamento em espessura, absorção de água, flexão estática e a tração perpendicular à superfície, segundo as normas ABNT e EN. A composição química foi obtida por meio de análises em EDS (Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy) e visualizada suas concentrações por meio de imagens do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) sendo o principal elemento o silício. Para a produção das fibras foi empregado o método quimotermomecânico com 4 diferentes tipos de tratamentos, a fim de compará-los entre si. Na composição dos painéis foi utilizada a resina Uréia Formaldeído (UF) em percentuais de 10%, com 2,5% de catalisador e 2% de parafina. O maior rendimento bruto de polpação e o número Kappa mais alto foram encontrados no painel T-1 com 79.3% e 177.5, respectivamente. Nas avaliações das propriedades físico-mecânicas os resultados das análises estatísticas indicaram as melhores relações de desempenho com o painel T-3. Para a melhor compreensão do comportamento mecânico foram realizadas análises micrográficas em MEV e Microtomografia nas regiões de fraturas. As análises térmicas (TG) apresentaram fibras resistentes com estabilidade térmica em faixa de temperatura de até 350°C. Os resultados desta pesquisa apontam para um potencial tecnológico de painéis de MDF produzidos a partir das fibras do bambu, desde que tenham os processos apropriados.

Palavras-Chave: Bambu. Painéis de Fibra de Média Densidade. Propriedades Anatômicas, Químicas e Físico-mecânicas. Análises Microestruturais e Termogravimétricas.

MARINHO, Nelson Potenciano, **CHARACTERISTICS OF BAMBOO FIBER (*Dendrocalamus giganteus*) AND POTENTIAL APPLICATION IN PANELS OF MEDIUM DENSITY FIBERBOARD (MDF)**, 141p. Dissertation (Masters in Engineering) – Post-graduate in Mechanical Engineering and Materials. Federal University of Technology Paraná, Curitiba, 2012.

ABSTRACT

The increased demand for wood and the reduce on its availability is directing the investigations for alternative, natural and renewable materials use. Formed by fibers with high mechanical resistance and with the highest grow rate, bamboo emerges as a promising alternative for industrial purpose. The panels of medium density fiberboard (MDF) are technologies that aim to maximize use and appreciation of wood. In this context this study had the objective of investigate anatomical and chemical characteristics of bamboo fiber from *Dendrocalamus giganteus*, and in form of MDF panel, evaluate its physical-mechanical properties, such density, moisture content, thickness swelling, water absorption static bending and tension perpendicular to surface, according with ABTN and EN rules. The chemical composition was evaluated by Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDS) and illustrated by Scanning Electron Microscope (SEM) being the silicon the main component. For fiber production was applied chemical-termomechanical process with four different treatments with the objective of compare it. In panel composition was used Urea Formaldehyde resin (UF) in 10% of resin, 2.5% of catalyst and 2% of paraffin. The highest yield of pulp and highest Kappa number were obtained on panel T-1 with 79.3% and 177.5, respectively. On physical and mechanical properties evaluation, the results of statistical analysis indicate the best performance in T-3 panel. For better comprehension of mechanical behavior, scanning electron microphotography and microtomography in fracture regions were obtained. Thermal analyses (TG) showed resistant fibers with thermal stability in temperature range up 350°C. The results of this research showed the technological potential of MDF panels produced with bamboo fibers.

Keywords: Bamboo. Medium Density Fiberboard. Anatomical, Chemical and Physical-Mechanical Properties. Microstructural and Thermogravimetric Analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 – Fluxograma do processo de produção dos painéis de MDF.	33
Figura 2.2 – Tipos de elementos empregados na fabricação de painéis de bambu	35
Mapa 2.1 – Distribuição geográfica de espécie de bambu da tribo <i>Bambuseae</i> dos continentes Africano e Americano	38
Mapa 2.2 – Mapeamento da ocorrência e mortalidade de florestas abertas com bambu nas regiões da Amazônia, Acre, Peru	39
Figura 2.3 – Partes da planta do bambu	40
Figura 2.4 – Grupo Paquimorfo ou Simpodial (Entoucerante).....	41
Mapa 2.3 – Mapeamento da distribuição da espécie <i>Dendrocalamus giganteus</i> no sul da Ásia.....	42
Figura 2.5 – Imagens obtidas pelo microscópio óptico da seção transversal de um feixe fibrovascular	43
Figura 2.6 – Gradiente de concentração de feixes de fibras na parede do colmo do bambu da espécie <i>Dendrocalamus giganteus</i>	44
Figura 2.7 – Tipos de feixes fibrovasculares (FF) Tipo III (<i>Broken waist</i>) (A) da espécie <i>Oxytenanthera albociliata</i> ; Tipo IV (<i>Double broken</i>) (B) da espécie <i>Bambusa polymorpha</i>	45
Figura 2.8 – Espessamento das paredes das fibras do bambu <i>Phyllostachys viridiglaucescens</i> 1 ano de idade (A) e de 12 anos de idade (B) .	47
Figura 2.9 – Multicamadas da parede da fibra deslignificada	47
Figura 2.10 – Fibras deslignificadas com várias lamelas grandes e pequenas do <i>Phyllostachys viridiglaucescens</i>	48
Figura 2.11 – Modelo de estrutura polilamelada indicando o ângulo e suas respectivas camadas (A) e estrutura de multicamadas de paredes de fibras – microfibrilas da espécie <i>Oxytenanthera albociliata</i> (B)	49
Figura 2.12 – Variação do espessamento das paredes das fibras do <i>Phyllostachys pubescens</i>	51

Figura 2.13 – Plano de fratura nas paredes das fibras do <i>Dendrocalamus latiflorus</i> na região da lamela média. Fratura plana (A) e fratura em fibras com lamela espessa e estreita (B)	54
Figura 2.14 – Fratura de face enrugada nas paredes das fibras da espécie <i>Dendrocalamus latiflorus</i>	55
Figura 2.15 – DTG do bambu em um ambiente de pirólise.....	61
Figura 3.16 – Fluxograma das atividades experimentais	62
Figura 3.17 – Touceira de bambu da espécie <i>Dendrocalamus giganteus</i> do laboratório de experimentação em bambus do Departamento de Engenharia Mecânica da UNESP – Bauru-SP	63
Figura 3.18 – Corte dos colmos em anéis em serra circular (destopadeira) para a produção de cavacos	65
Figura 3.19 – Cavacos analisados e utilizados na produção de polpa de bambu para manufatura de amostras de MDF	66
Figura 3.20 – Digestor rotativo	67
Figura 3.21 – Refinador Bauer em atividade.....	67
Figura 3.22 – Câmara de secagem com ar forçado	69
Figura 3.23 – Moinho de facas rotativas e as fibras após serem processadas	70
Figura 3.24 – Pulverização da emulsão de parafina em misturador rotativo ...	71
Figura 3.25 – Fluxo de atividades para encolagem das fibras: pesagem dos componentes (A); pesagem da massa de fibra (B); aplicação de jato de ar (C); pulverização dos componentes nas fibras (D).....	74
Figura 3.26 – Caixa formadora (A); Colchão de fibras pré-prensado (B)	75
Figura 3.27 – Prensa hidráulica utilizada na prensagem.....	75
Figura 3.28 – Painel de MDF (A); Localização dos corpos de prova onde foram retirados no painel (B): F.E (flexão estática); I.E (inchamento em espessura); P.D (perfil de densidade); A.I (adesão interna) e D (densidade).....	77
Figura 3.29 – Pontos de medição no corpo de prova.....	79
Figura 3.30 – Medidor de perfil de densidade por raios-x (IMAL EPX300)	83
Figura 3.31 – Equipamentos utilizados nos ensaios físico-mecânicos.....	83
Figura 3.32 – MEV de bancada para as análises da microestrutura (Hitachi TM -1000).....	85
Figura 3.33 – Microtomógrafo de raios-x (Sky Scan 1172)	85

Figura 3.34 – Analisador termogravimétrico SDT - Simultaneous DSC and TGA (T.A INSTRUMENTS mod.Q600).....	87
Figura 4.35 – Feixe fibrovascular tipo IV (<i>Double-broken</i>) da seção transversal do <i>Dendrocalamus giganteus</i> com 5 anos de idade	88
Figura 4.36 – Resumo comparativo dos valores encontrados para dimensões das fibras do <i>Dendrocalamus giganteus</i>	91
Figura 4.37 – Corte transversal da fibra do <i>Dendrocalamus giganteus</i> com 5 anos de idade apresentando algumas camadas de paredes celulares.	92
Figura 4.38 – Resumo das análises químicas realizadas com o <i>Dendrocalamus giganteus</i> em diferentes regiões	94
Figura 4.39 – Elementos inorgânicos detectados em microanálises de EDS em uma amostra de bambu com 5 anos de idade	95
Figura 4.40 – Mapeamento em cores com a localização dos elementos inorgânicos detectados nas microanálises em EDS sobre uma imagem de MEV da parede da seção transversal de um colmo de <i>Dendrocalamus giganteus</i> com 5 anos de idade.....	96
Gráfico 4.01 – Número Kappa versus Taxa de Rendimento Bruto nos diversos tipos de tratamentos	97
Figura 4.41 – Imagens de MEV da parede da fibra com a presença das multicamadas de microfibrilas expostas (A) e aspecto geral das fibras após serem submetidas ao processo termomecânico.....	99
Figura 4.42 – Aspecto visual das fibras após o desfibramento em diferentes condições: Tratamento T-1 (A) e T-4 (B).....	101
Figura 4.43 – Imagem de MEV do aspecto geral das fibras de bambu após o desfibramento quimotermomecânico.....	102
Figura 4.44 – Efeito do tratamento quimotermomecânico sobre a lamela média e nas multicamadas de microfibrilas da parede externa da fibra do <i>Dendrocalamus giganteus</i>	102
Gráfico 4.02 – Valor médio do perfil de densidade no tratamento T-1	105
Gráfico 4.03 – Valor médio do perfil de densidade no tratamento T-2	105
Gráfico 4.04 – Valor médio do perfil de densidade no tratamento T-3	106
Gráfico 4.05 – Valor médio do perfil de densidade no tratamento T-4	106

Figura 4.45 – Imagem de MEV das regiões de fratura nas fibras de bambu após os ensaios mecânicos de tração: Fibras desalinhas (A); Fratura frágil (<i>Debonding</i>) (B)	112
Figura 4.46 – Imagem de MEV das regiões de fraturas nas fibras de bambu após os ensaios de flexão: Fratura de fibra (A); Pontoações das fibras (B)	113
Figura 4.47 – Imagem de MEV das regiões de fratura em painéis de pinus após os ensaios mecânicos de flexão: Fibras alinhadas e adensadas (A); Elevada conformação entre as fibras (B)	114
Figura 4.48 – Imagem de MEV das regiões de fraturas nas fibras de pinus após ensaios mecânicos de tração: Ruptura e o entrelaçamento das fibras (A); Adesão entre fibras e suas pontoações (B)	115
Figura 4.49 – Varredura de Microtomografia de Raios-X (posição 1-X-A) e sua respectiva planificação	116
Figura 4.50 – Varredura de Microtomografia de Raios-X (posição 2-Y-B) e sua respectiva planificação	116
Figura 4.51 – Varredura de Microtomografia de Raios-X (posição 3-Z-C) e sua respectiva planificação	117
Figura 4.52 – Análise termogravimétrica: Sobreposição das curvas de perda de massa (A); Derivadas DTG das fibras do bambu nos diferentes tratamentos	118

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Variáveis para o processamento termomecânico para o pinus ...	29
Tabela 2.2 – Dimensões das fibras da espécie <i>Dendrocalamus giganteus</i>	46
Tabela 2.3 – Teor médio de umidade em diferentes partes do colmo do <i>Dendrocalamus giganteus</i>	50
Tabela 2.4 – Diferentes valores de massa específica aparente do <i>Dendrocalamus giganteus</i>	51
Tabela 2.5 – Propriedades mecânicas de tração, compressão, flexão e cisalhamento do <i>Dendrocalamus giganteus</i> na forma de laminado colado	53
Tabela 2.6 – Variação da composição química do bambu da espécie <i>Phyllostachys pubescens</i> em diferentes idades	57
Tabela 2.7 – Composição química do bambu da espécie <i>Dendrocalamus giganteus</i> de diferentes regiões	58
Tabela 3.8 – Parâmetros para obtenção de fibras	68
Tabela 3.9 – Parâmetros do processo quimotermomecânico	68
Tabela 3.10 – Componentes adicionados às fibras de bambu para a encolagem	74
Tabela 3.11 – Ciclo de prensagem.....	76
Tabela 3.12 – Ensaio, números de corpos de prova e dimensões	77
Tabela 3.13 – Requisitos para chapas tipo <i>standard</i> para uso geral em condições secas para MDF cru.....	78
Tabela 4.14 – Porcentagem de tecidos nas diferentes idades	89
Tabela 4.15 – Dimensões médias das fibras de acordo com a idade	90
Tabela 4.16 – Análise química do bambu da espécie <i>Dendrocalamus giganteus</i> da região de Bauru (São Paulo – Brasil) em idade de 2 a 6 anos	93
Tabela 4.17 – Valores médios e desvio padrão da densidade de massa dos painéis de MDF nos diferentes tipos de tratamentos	103
Tabela 4.18 – Perfil de densidade média obtido por Densitometria de Raios-X	104

Tabela 4.19 – Média dos valores obtidos nos teores de umidade nos diversos tipos de tratamentos.....	104
Tabela 4.20 – Valores médios de absorção de água e inchamento nos períodos de 2 horas e 24 horas nos painéis de MDF de bambu.....	108
Tabela 4.21 – Resultados do MOE e MOR em flexão estática	110
Tabela 4.22 – Média dos valores obtidos nos ensaios de tração perpendicular superficial nos painéis de bambu nos diversos tratamentos ...	111

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 3.1 – Rendimento bruto da polpação	69
Equação 3.2 – Dosagem de emulsão de parafina	71
Equação 3.3 – Quantidade de resina Uréia Formaldeído (UF)	72
Equação 3.4 – Dosagem do catalisador.....	72
Equação 3.5 – Balanceamento do teor de umidade.....	73
Equação 3.6 – Cálculo da densidade de massa	79
Equação 3.7 – Cálculo do teor de umidade	80
Equação 3.8 – Percentual de inchamento em espessura	80
Equação 3.9 – Absorção de água	80
Equação 3.10 – Cálculo do Módulo de Elasticidade (MOE).....	81
Equação 3.11 – Cálculo do Módulo de Ruptura (MOR)	81
Equação 3.12 – Cálculo da resistência à tração perpendicular (TP)	82
Equação 3.13 – Número Kappa	86
Equação 3.14 – Cálculo do volume de permanganato de potássio.....	86

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CME	Centro de Microscopia Eletrônica
DTG	<i>Derivative Thermogravimetric</i>
EDS	<i>Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy</i>
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
IAWA	<i>International Association of Wood Anatomists</i>
INBAR	<i>International Network Bamboo and Rattan</i>
LANAQM	Laboratório de Anatomia e Qualidade da Madeira
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i>
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
MOE	Módulo de Elasticidade
MOR	Módulo de Ruptura
TAPPI	<i>Technical Association of the Pulp and Paper Industry</i>
TG	Termogravimetria
UF	Uréia Formaldeído
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UNESP	Universidade do Estado de São Paulo
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LISTA DE SIMBOLOS

cm	Centímetro
°C	Grau Célsius
ha	Hectare
h	Hora
NaOH	Hidróxido de Sódio
l/kg	Litros por quilograma
>	Maior
≥	Maior igual
±	Mais ou menos
MPa	Megapascal
<	Menor
≤	Menor igual
m	Metro
m ³	Metro cúbico
m ²	Metro quadrado
mm	Milímetro
g/cm ³	Metros por centímetro cúbico
µm	Mícron
N	Newton
N ₂	Nitrogênio
N/mm ²	Newton por milímetro quadrado
Pa	Pascal
pH	Potencial de Hidrogênio Iônico
%	Porcentagem
bar	Pressão
Kg	Quilograma
Kgf	Quilograma força
Kgf/cm ²	Quilograma força por centímetro quadrado
Kg/m ³	Quilograma por metro cúbico

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	<i>ix</i>
LISTA DE TABELAS	<i>xiii</i>
LISTA DE EQUAÇÕES	<i>xv</i>
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	<i>xvi</i>
LISTA DE SÍMBOLOS	<i>xvii</i>
1 INTRODUÇÃO	20
1.1 OBJETIVOS	23
1.2 ESTRUTURA DA PESQUISA	24
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	26
2.1 RELEVÂNCIA DO TEMA	26
2.2 PAINÉIS DE FIBRAS DE MÉDIA DENSIDADE (MDF)	28
2.2.1 Processo de polpação.....	28
2.2.2 Processo de fabricação do MDF	30
2.3 ADESIVOS.....	33
2.4 PAINÉIS DE BAMBU	34
2.5 BAMBU	37
2.6 <i>Dendrocalamus giganteus</i> (Wallich ex. Munro).....	41
2.7 ANATOMIA GERAL DO COLMO	43
2.7.1 Feixes vasculares	43
2.7.2 Fibras.....	45
2.8 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DOS COLMOS DE BAMBU DA ESPÉCIE <i>Dendrocalamus giganteus</i>	49
2.8.1 Teor de umidade	50
2.8.2 Densidade de massa	50
2.8.3 Variação dimensional.....	52
2.8.4 Resistência à tração, compressão, flexão e cisalhamento.....	52
2.9 COMPOSIÇÃO QUÍMICAS.....	55

2.10	ANÁLISE EM MEV, EDS E MICROTOMOGRÁFIA	58
2.11	ANÁLISE TÉRMICA.....	59
3	MATERIAL E MÉTODOS	62
3.1	FLUXOGRAMA DAS ATIVIDADES EXPERIMENTAIS	62
3.2	PROCEDÊNCIA DAS AMOSTRAS	63
3.3	ANÁLISES ANATÔMICAS DOS COLMOS EM DIFERENTES IDADES.....	63
3.3.1	Análises histológicas.....	64
3.3.2	Medições de fibras.....	64
3.4	ANÁLISES QUÍMICAS EM DIFERENTES IDADES.....	65
3.5	PRODUÇÃO DE CAVACOS	65
3.6	DEFIBRAMENTO	66
3.7	CÁLCULO DO RENDIMENTO BRUTO	68
3.8	SECAGEM DAS FIBRAS	69
3.9	INDIVIDUALIZAÇÃO DAS FIBRAS	70
3.10	BALANCEAMENTO DOS COMPONENTES PARA ENCOLAGEM DAS FIBRAS.....	70
3.10.1	Dosagem da emulsão de parafina	70
3.10.2	Determinação da quantidade de resina Uréia Formaldeído	71
3.10.3	Dosagem do catalisador	72
3.10.4	Balanceamento do teor de umidade	73
3.10.5	Solução para a encolagem das fibras de bambu.....	73
3.11	PRODUÇÃO DOS PAINÉIS.....	74
3.12	CICLO DE Prensagem	75
3.13	AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS.....	76
3.13.1	Ensaio para determinação da densidade de massa	78
3.13.2	Ensaio para determinação do teor de umidade	79
3.13.3	Ensaio para determinação de inchamento e absorção de água.....	80
3.13.4	Ensaio para a determinação da resistência à flexão estática .	81
3.13.5	Ensaio de resistência à tração perpendicular ao plano do painel	82
3.13.6	Perfil de densidade	82

3.13.7	Equipamento utilizado nos ensaios mecânicos.....	83
3.14	ANÁLISES ESTATÍSTICA.....	84
3.15	ANÁLISE DAS FRATURAS EM MEV E MICROTOMOGRAFIAS.....	84
3.16	ANÁLISE QUÍMICA POR EDS.....	85
3.17	ANÁLISE DO NÚMERO KAPPA.....	86
3.18	ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA.....	86
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	88
4.1	ANÁLISES ANATÔMICAS	88
4.1.1	Análises histológicas.....	88
4.1.2	Medições de fibras.....	89
4.2	ANÁLISES QUÍMICAS DOS COLMOS EM DIFERENTES IDADES	93
4.2.1	Análise dos elementos inorgânicos por EDS	95
4.2.2	Número Kappa <i>versus</i> o Rendimento Bruto	97
4.3	CONSIDERAÇÕES SOBRE O PROCESSO TERMOMECÂNICO E QUIMOTERMOMECÂNICO para produção das fibras de bambu	98
4.4	ANÁLISES DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DOS PAINÉIS DE MDF DE BAMBU	103
4.4.1	Propriedades físicas	103
4.4.1.1	Densidade de massa.....	103
4.4.1.2	Perfil de densidade por Densitometria de Raios-x.....	104
4.4.1.3	Teor de umidade	107
4.4.1.4	Inchamento em espessura e absorção de água.....	107
4.4.2	Propriedades mecânicas	109
4.4.2.1	Flexão estática	109
4.4.2.2	Tração perpendicular superficial	110
4.4.3	Análises em MEV e microtomografia das regiões de fratura	112
4.4.4	Análise termogravimétrica	117
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	120
5.1	Conclusões.....	120
5.2	Recomendações	121

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 123

ANEXOS 138

1 INTRODUÇÃO

A história da indústria da madeira é marcada pelo aumento do seu consumo e pelo processo contínuo de seu ajustamento em face às mudanças de suprimentos de recursos florestais sempre crescentes em mercados competitivos (APAWOOD, 2005). Um dos principais fatores que tem afetado a demanda global por produtos de madeira é o crescimento da população mundial. Conforme estimativa da *Food and Agriculture Organization of the United Nations-FAO* (2009) o crescimento populacional deverá atingir 7,5 bilhões em 2020 e para 2030 a estimativa é de 8,2 bilhões de pessoas. Sobre a oferta de Produtos Florestais Não Madeiráveis (PFNM) e a oportunidade de seu aproveitamento para desenvolvimento de painéis alternativos para construção civil, Cai e Winandy (2005) comentam que segundo o relatório do *The World Bank*, nos períodos de 1970 a 2004, a população triplicou em relação à 50 anos atrás, ou seja, 78% a mais nesse período alcançando a cifra de 6,4 bilhões em 2005, em contrapartida o aumento do consumo de matéria prima bruta, para o mesmo período, chegou a 300%.

Assim a escassez no fornecimento de madeira e a conseqüente elevação do seu preço tem motivado o desenvolvimento de novas tecnologias e pesquisas por materiais alternativos capazes de ajudar a suprir esse déficit.

Em decorrência do aumento constante de consumo de madeira reflorestada (Pinus e Eucalipto), as indústrias de painéis tem investido em alternativas que possam minimizar o problema do setor. De acordo com a *Sunds Defibrator* (1993), principal fabricante de equipamentos para indústria de painéis, o setor já vem se adequando a esta realidade e cerca de 7% das indústrias de painéis estão utilizando bagaço de cana de açúcar e talos de algodão e 3% outros tipos de matéria prima diferente das madeiras de coníferas e folhosas.

Para ajudar a amenizar este problema uma das soluções tem sido procurar materiais alternativos com características e propriedades capazes de atender as necessidades do mercado madeireiro. Youngquist *et al.* (1993) relatam uma diversidade de materiais lignocelulosicos disponíveis em diversos lugares do mundo capazes de compor com a madeira ou substituí-la na

produção de painéis de diversos tipos, capazes de atender as necessidades do mercado com qualidade.

O Bambu se apresenta como uma alternativa viável de fonte renovável e sustentável, sendo, de acordo com Xuhe (2003), uma planta de origem tropical e subtropical, abundante em todo o mundo e ocorre naturalmente em todos os continentes, constituindo-se de importante fonte de renda e promoção social para populações de baixa renda em países subdesenvolvidos e em desenvolvimento.

Devido ao rápido crescimento, o bambu se apresenta como material de potencial econômico de utilização, pois completa o seu ciclo em poucos meses e atinge resistência máxima em poucos anos. Beraldo e Azzini (2004) explicam que esse rápido desenvolvimento vegetativo viabiliza colheitas com ciclos curtos, de dois a quatro anos com elevados níveis de produção.

Diversas vantagens podem ser relacionadas com o cultivo do bambu, dentre as mais relevantes pode-se destacar: rapidez no desenvolvimento (UEDA, 1987); capacidade de propagação e regeneração (KIGOMO, 2007); maior produtividade por hectare se comparado ao pinus e eucalipto (OSTAPIV, 2007); baixo custo de manejo e investimento em capital (REUBENS, 2010); mínimos gastos energéticos no seu processamento (HIGUCHI, 1981); resistência, pois consegue se desenvolver em solos de baixa fertilidade e climas adversos (REUBENS, 2010); não necessita do replantio, pois na mesma touceira produz novos colmos (KIGOMO, 2007); possui variedades que podem ser aproveitadas comercialmente pelo porte e espessura do colmo, como é o caso da espécie *Dendrocalamus giganteus* (PEREIRA, 2006); propriedades mecânicas e qualidade de fibra superior às diversas espécies de madeira incluindo o pinus e o eucalipto (KUSAK, 1999), podendo ser utilizado estruturalmente (JANSSEN, 1981); importante regenerador ambiental que pode ser consorciado com outras espécies arbóreas para reflorestamento (PAULI, 1998); potencial para fabricação de diversos produtos, incluindo uma variedade de tipos de painéis em substituição à madeira (HSIUNG, 1988).

A ocupação global das diferentes espécies de bambu, em 2005, estava em torno de 36 milhões de hectares (ha), correspondendo a 2,1% das florestas

mundiais, sendo que a Ásia possui a maior concentração com 24 milhões ha e o Brasil, 447.698 ha (FAO, 2007).

De acordo com a FAO (2007) a Ásia é o maior produtor de bambu com 65% das reservas mundiais sendo que a Índia e a China detêm 70% dessa matéria prima.

Apesar ser conhecido milenarmente e até fazer parte da cultura dos povos asiáticos, a indústria de transformação do bambu começou seu desenvolvimento nas décadas 50 e 60 com o Japão e Taiwan (China), mas a sua expansão internacional se deu nos últimos 20 anos, decorrente do aumento de preço da madeira devido à sua escassez (QISHENG, 2003).

De acordo com Filgueiras e Gonçalves (2004) o Brasil é o país que detém a maior diversidade de espécies e áreas de florestas de bambu da América. Dentre as 19 espécies prioritárias recomendadas por Rao e Ramanatha Rao (1998) para o cultivo comercial, o *Dendrocalamus giganteus* é uma das espécies que está perfeitamente adaptada às condições de solo e clima do Brasil e apresenta um potencial agrícola para produção de matéria prima para manufatura de diversos produtos incluindo a produção de painéis (PEREIRA; GARBINO, 2003).

Apesar de amplas possibilidades, ainda é baixo o nível de utilização do bambu no Brasil, em virtude da falta de conhecimento tecnológico e científico especificamente desenvolvido nesta área, além de visão estratégica de exploração econômica racional (BERALDO; AZZINI, 2004). Uma tentativa de aplicação industrial das fibras de bambu foi na área de papel e celulose através da empresa ITAPAGÉ S.A – Celulose, Papéis e Artefatos, a terceira no ranking brasileiro na produção de celulose de forma integrada, que possuía uma área de 100 mil hectares da espécie *Bambusa vulgaris* para fabricação de papel cartão especial. Segundo Sousa (2009), a empresa pertencente ao Grupo Industrial João Santos teria encerrado as atividades.

Contudo a crescente escassez da madeira tem contribuído para aumentar a valorização do bambu como material fibroso para produção de painéis com uso de novas tecnologias. Informações e literatura a respeito do processamento do bambu para obtenção de fibras, dentro dos mesmos parâmetros das indústrias de painéis de fibra de média densidade (*Mediun*

Density Fiberboard - MDF), são escassas e isoladas, apenas a níveis experimentais, pois se trata de um tema ainda recente.

Beraldo e Azzini (2004) classificaram o *Dendrocalamus giganteus*, quanto ao comprimento de fibra, como intermediário entre as principais espécies (*pinus* e o *eucalipto*), utilizadas para a produção de painéis MDF isso aumenta a perspectiva de torná-lo uma fonte em potencial de material fibroso para a manufatura de tais produtos.

Os painéis MDF surgiram justamente para atender a uma demanda gerada pela diminuição da oferta e pelo encarecimento da madeira maciça (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES, 2008). Manufaturado por fibras de madeira encoladas com resinas termofixas e consolidado por meio de prensagem a quente, seu consumo tem se destacado pelas suas excepcionais características e qualidades como: homogeneidade, estabilidade dimensional; excelente capacidade de usinagem e torneamento, entalhes e perfuração; permite vários tipos de acabamento. De acordo com Maloney (2003) esse produto é uma síntese das mais avançadas tecnologia na produção de painéis.

Entre os diversos produtos do mercado de painéis, o MDF tem se destacado na produção e consumo em todo o mundo, apresentando, no Brasil, no período de 2000 a 2007 um crescimento de 392,7% na produção e 422% no consumo (Sociedade Brasileira de Silvicultura-SBS, 2008).

O contexto atual da escassez mundial de madeira para manufatura de produtos com valor agregado, e o aproveitamento e a valorização do bambu e suas propriedades por meio da utilização de técnicas modernas de processamento dos painéis MDF constitui a principal motivação desse trabalho.

1.1 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo estudar a anatomia e a composição químicas do bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus* e na forma de painéis de fibra de média densidade (MDF) a suas propriedades físico-mecânicas, visando conhecer o seu potencial a fim de propor essa espécie como uma possível alternativa para colaborar no suprimento de matéria prima para este setor.

Os objetivos específicos foram:

- ✓ Determinar as características anatômicas e químicas dos colmos do *Dendrocalamus giganteus*;
- ✓ Verificar quais os processos e parâmetros mais apropriados para o desfibramento do bambu;
- ✓ Produzir amostras de MDF com diferentes tipos de tratamentos;
- ✓ Investigar as propriedades físicas e mecânicas das amostras;
- ✓ Analisar os dados obtidos e compará-los de acordo com os parâmetros adotados pelas normas técnicas brasileiras (ABNT-NBR 15316) para “Chapas de fibras de média densidade” a base de madeira;
- ✓ Analisar a microestrutura das amostras após ensaios mecânicos;
- ✓ Avaliar a estabilidade térmica das fibras.

1.2 ESTRUTURA DA PESQUISA

O presente trabalho está organizado em 5 capítulos, divididos em tópicos e sub-tópicos. O capítulo 1 “INTRODUÇÃO” apresenta uma visão geral sobre o problema do aumento do consumo da madeira nas últimas décadas, e como consequência, a diminuição dos recursos florestais em todo o mundo e propõe a utilização do bambu como alternativa para colaborar no fornecimento de matéria prima para o setor industrial na produção de MDF. Em seguida, são apresentados o objetivo geral e os específicos.

No capítulo 2 é feita uma “REVISÃO BIBLIOGRÁFICA” apresentando dados relevantes sobre o tema, tais como: o crescimento do setor de painéis de MDF e a redução do fornecimento de matéria prima decorrente ao crescimento do setor industrial madeireiro, principalmente o de painéis. Abordam informações relativas à produção dos painéis de MDF, como por exemplo, o processo de obtenção de fibras, etapas de fabricação e os insumos utilizados. Também inclui uma revisão dos painéis de bambu desenvolvidos por alguns países da Ásia para fins comerciais. Sobre o bambu gigante é abordado sobre gêneros e espécies no Brasil e no mundo, aspectos relacionados à planta, origens do *Dendrocalamus giganteus* e o seu potencial econômico. O estudo da anatomia do *Dendrocalamus giganteus*, abrange informações sobre os feixes vasculares e as fibras, além das propriedades físicas e mecânicas

dos colmos tais como: o teor de umidade; densidade de massa; variação dimensional; resistência à tração, compressão, flexão e cisalhamento; propriedades químicas e térmicas

No capítulo 3 em “MATERIAIS E MÉTODOS” primeiramente é apresentado um fluxograma da parte experimental e os dados sobre as amostras utilizadas. Em seguida são descritas análises histológicas e medições das fibras, além da composição química (teor de extrativos) em colmos de bambu com idade de 2 a 6 anos. Para a produção das amostras foram descritos pormenorizadamente as seguintes etapas: a produção dos cavacos com bambu de 5 anos de idade; processos de desfibramento utilizado e os equipamentos envolvidos na produção das fibras para a fabricação dos painéis de MDF bem como a preparação do adesivo utilizado na encolagem das fibras. Na sequência foram esboçados passo a passo as etapas de fabricação das amostras. E por último são delineadas sobre as propriedades físico-mecânicas, análises químicas dos componentes inorgânicos por EDS, avaliação do número Kappa, análises micrográficas das fraturas em MEV e termogravimétrica das fibras nos 4 tipos diferentes de tratamentos.

No capítulo 4 - “RESULTADOS E DISCUSSÕES” são apresentados os resultados obtidos nas análises anatômicas (histológicas e medições das fibras), composição química dos bambus “*in natura*” (percentuais dos extrativos solúveis e dos elementos inorgânicos por meio de análises de EDS), número kappa nas diferentes variáveis no tratamento quimotermomecânicos e seus respectivos rendimentos. Também foram feitas algumas considerações a respeito dos processos termomecânicos e quimotermomecânico para obtenção de fibras. Na sequência foram expostos os resultados realizados nos ensaios físico-mecânicos, imagens de MEV e micrografias das fraturas dos painéis. Por último é relatado sobre as análises termogravimétricas, processo que envolve a medida da variação da perda de massa expressa por meio de gráficos, nas diversas variáveis do processo quimotermomecânico.

O capítulo 5 – “CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES” são sintetizadas informações obtidas em todos os ensaios expondo considerações sobre esses resultados alcançados com sugestões e recomendações para a ampliação e continuidade do presente estudos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 RELEVÂNCIA DO TEMA

A madeira é um dos recursos mais antigos utilizado pelo homem na sua atividade diária (KIRK-OTHMER, 1998). Contudo, o processo de industrialização entre o final do século XIX e XX teve como consequência uma diminuição da madeira de boa qualidade e um acúmulo de resíduos gerados do seu processamento tais como serragem, cavacos de picadores, refilos de lâminas, e roletes que eram jogados fora ou no máximo utilizados como combustíveis. Bonduelle *et al.*(2002) citam que nos Estados Unidos na década de 50, de cada quatro árvores abatidas, o equivalente a menos de uma chegava ao consumidor na forma de utilidade, todo o resto se perdia. Novas tecnologias foram sendo desenvolvidas com o intuito de minimizar o desperdício e gradativamente esse material foi sendo reaproveitado por meio da sua reconstituição no fabrico de painéis.

O painel de Fibra de Média Densidade (MDF) surgiu na década de 60 propondo inovações tecnológicas na sua manufatura como uma forma de agregar valor à madeira de baixa qualidade, aproveitando toda a madeira maciça, eliminando defeitos naturais tais como anisotropia, nós, presença de medulas, desalinhamento da grã e melhorando o desempenho em relação aos outros tipos de painéis existentes no mercado (MALONEY, 2003). Acompanhando as tendências mundiais, as indústrias de painéis brasileiras tiveram um crescimento significativo nos últimos anos. De acordo com o estudo setorial do BNDES em 2008 sobre os “Painéis de madeira no Brasil – panorama e perspectivas”, entre 1995 e 2005, o setor de modo geral, teve um aumento de 9,5%, superando as expectativas de projeções de crescimento, e como consequência, um aumento de demanda por madeira refloresta (pinus e eucalipto). Entre o segmento de painéis, as indústrias de MDF tiveram a maior taxa de crescimento, com um incremento de 52,7% ao ano para o período de 1995 a 2005 (BNDES, 2008). Torquato (2008) analisando a qualidade dos painéis de MDF de algumas empresas da região sul, atribuiu satisfatório desempenho à crescente aceitação do produto nos mercados interno e

externo, resultado da busca de alternativas à madeira maciça, ampliação de plantas industriais e modernização do setor.

O reflexo desse crescimento gerou uma demanda por madeira reflorestada, acima da capacidade de fornecimento do setor de base florestal. Conforme estudo setorial do BNDES (2009) o Brasil manteve durante 18 anos estagnado a sua área de floresta plantada entre o período de 1990 a 2008. De acordo com a SBS (2008) as áreas de florestas naturais correspondem a 56,1% de todo o território brasileiro e as plantadas ocupam apenas 7%, o restante 43,2%, está destinado ao uso da agricultura, pecuária, áreas urbanas, infra-estruturas, etc. Assim, o pequeno percentual de florestas plantadas tem refletido em pressões sobre a exploração de madeira das florestas nativas sem controle ou fiscalização. De acordo com Pereira *et al* (2010) *apud* no relatório técnico do Serviço Florestal Brasileiro e Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (2011), as estimativas de madeira em toras oriundas de fonte ilegais na Amazônia em 2009 estavam em torno de 36% cerca 4,7 milhões m³.

Zehui (2003) explica que, nos últimos anos, as áreas florestais de bambu no mundo tem aumentado a um ritmo de 3% ao ano, ao contrário das coberturas florestais mundiais que tem diminuído drasticamente. Na China, país que mais cultiva essa planta, a área total é de 7,2 milhões ha, sendo 4,2 milhões ha de florestas plantadas e 3,0 milhões ha de florestas naturais, povoados em altas montanhas e encostas.

Por meio dessa visão estratégica e econômica a China se tornou o maior fabricante de painéis à base de bambu. Rao e Sastry (1999) explicam que são aproximadamente 200 fábricas produzindo 100.000 m³ de painéis de vários tipos. Ganapathy *et al.* (1999) calculam que em torno de 1 milhão de m³ de madeira estão sendo poupadas anualmente.

Atualmente, a demanda mundial de produtos de bambu é estimada em mais de USD 11 bilhões por anos, acima dos USD 7 bilhões que era em 2005 e para 2018, com o aumento da penetração dos produtos de bambu nos mercados de madeira processada, está projetado um crescimento de USD 15 a 20 bilhões por ano (PROSPERITY INITIATIVE, 2008). De acordo com a (INBAR, 1999), principal entidade internacional ligada ao desenvolvimento e fomento do bambu, são 2,5 bilhões de pessoas em todo o mundo que atualmente dependem economicamente deste material.

2.2 PAINÉIS DE FIBRAS DE MÉDIA DENSIDADE (MDF)

O termo “painéis de fibras”, segundo Youngquist (1999) é genérico para um grupo de material homogêneo que é feito a partir do enfiamento de fibras lignocelulósicas consolidadas sob calor e pressão para uma densidade variável que inclui as chapas de Fibra Dura (*hardboard*), painéis de média densidade (*Medium Density Fiberboard*) e as placas isolantes (*insulation board*).

Segundo a *Wood Panel Industries Federation* – WPIF (2008) anexo 2-E, os painéis de fibras são classificados, para fins comerciais, de acordo com a sua densidade:

- a) HDF (*High Density Fiberboard*): densidade $\geq 800 \text{ kg/m}^3$;
- b) *Standard*: densidade > 650 e $< 800 \text{ Kg/m}^3$;
- c) *Light*: densidade $\leq 650 \text{ Kg/m}^3$;
- d) *Ultra Light*: densidade $\leq 550 \text{ Kg/m}^3$.

O MDF é definido pela WPIF (2008) anexo 2-E, como sendo um painel formado através de um processo a seco, onde o teor de umidade é menor que 20% na etapa de formação, sendo tipicamente composto por 82% de fibras (predominantemente de madeira de baixa densidade), 10% de resina, 7% de água e em torno de 1% de parafina no estado sólido com uma densidade maior ou igual a 450 Kg/m^3 .

2.2.1 Processo de polpação

A polpação é a técnica utilizada para separação dos componentes macromoleculares que compõem os materiais lignocelulósicos. Esses processos podem ser químicos, físicos ou mecânicos ainda pela combinação de alguns deles, isso dependerá do grau de separação exigidos dos seus componentes ou pela finalidade proposta (KOKTA; AHMED, 1992). No processo de polpação ocorre uma inter-relação entre as variáveis de temperatura máxima de cozimento, tempo de cozimento e a quantidade mínima de reagentes para rompimento da lamela média e a remoção de parte da lignina com o mínimo de prejuízo na qualidade e no rendimento das fibras.

Entretanto, Pimenta (2005) afirma ser possível a obtenção de polpa sem a remoção significativa da lignina, como é observado nos processos mecânicos de polpação, onde a separação das fibras da madeira é realizada pela ação de forças de cisalhamento, proporcionando um elevado rendimento.

O desenvolvimento dos painéis de fibras esteve sempre ligado às pesquisas de novas técnicas e equipamentos para produção de polpa de celulose e papel. Os primeiros equipamentos para produção de polpa termomecânica forneceram meios para o desenvolvimento dos primeiros painéis de fibras duras e chapas isolantes por via úmida (QUIRARTE, 1991).

Atualmente o processo de polpação termomecânico para produção de fibras para painéis MDF envolve um pré-tratamento com calor e pressão, objetivando reduzir o consumo de energia e melhorar a qualidade das fibras (KOLLMANN, *et al.*, 1975). De acordo com Iwakiri (2005) podem ser empregados métodos de impregnação com água ou por aquecimento a vapor, com ou sem a combinação de um cozimento químico suave, como por exemplo, hidróxido de sódio (NaOH). As vantagens desse tratamento são rendimentos superiores, na faixa de 90 a 93%, e a obtenção de uma polpa mais homogênea com as paredes das fibras pouco danificadas, fibras mais flexíveis com melhores propriedades de feltragem (entrelaçamento) produzindo chapas mais resistentes.

A Tabela 2.1 mostra dois parâmetros diferentes com variações de temperatura, pressão e tempo de cozimento para produção industrial de polpa termomecânica proposto por Iwakiri (2005).

Tabelas 2.1 - Variáveis para processamento termomecânico para o pínus

PARÂMETRO	VARIÁVEIS		
	Temperatura (°C)	Pressão (Kgf/cm ²)	Tempos de cozimento (s)
1º	150 a 180	5,0	1800
2º	170 a 180	7 a 11,5	20 a 60

Fonte: Adaptado de IWAKIRI (2005) ⁽¹⁾

¹ Todas as Tabelas e Figuras sem a respectiva indicação explícita da fonte foram produzidas pelo autor da dissertação.

Em estudos realizados sobre a influência da taxa de álcali ativo e da temperatura na polpação do *Bambusa vulgaris* var. *vulgaris* com 5,5 anos de idade, Gomide *et al.* (1982) obtiveram melhores resultados na taxa de deslignificação em temperaturas e índices de álcali mais altos, ou seja, 170°C na temperatura de cozimento e 13% de álcali ativo em 100 minutos de cozimento, contudo o rendimento foi desfavorável, em torno de 40%, influenciado por esses fatores.

De acordo com Correia (2011) a deslignificação ou grau de cozimento indica até que ponto é possível individualizar as fibras retirando percentuais de lignina. O número Kappa é um indicador do teor residual de lignina presente na polpa celulósica e pode ser aplicado a todos os tipos de processos de polpação. Pimenta (2005) explica que é comum analisar a sua relação com a taxa de rendimento bruto, seu indicador pode demonstrar a severidade do cozimento, taxa de remoção da lignina e a preservação de carboidratos. Polpa não branqueáveis, ou seja, com altas concentrações de lignina, são comumente destinadas à produção de papelão e tem número kappa entre 70 a 120.

Dentre os diversos fatores analisados para determinação do número Kappa incluem-se tempo de cozimento, concentração da carga de álcali ativo e temperatura. Sua definição está em obter o volume de solução de permanganato de potássio (KMnO₄) 0,1N em mililitros consumidos por uma grama de celulose absolutamente seca, sob condições específicas (TAPPI T236 om, 1999).

2.2.2 Processo de fabricação do MDF

A produção de MDF surgiu em 1965 com a primeira empresa Miller Hofft Company of Richmond em New York, Estados Unidos fundada pelo empresário Harry Raddin que deu o nome ao produto baseando-se na descrição do processo, contudo, somente em 1967 foi que as iniciais MDF passaram a identificar o termo *Medium Density Fiberboard* (MALONEY, 1993). Entretanto, a produção em larga escala na Europa foi a partir de 1973 com a empresa Ribnitz-Damgarten, Alemanha (ALVITE *et al.*, 2002). No Brasil, a primeira

planta industrial para fabricação de MDF foi da empresa Duratex S.A implantada na cidade de Agudos, estado de São Paulo, que iniciou o seu funcionamento em Setembro de 1997 (REMADE, 2003).

O processo de fabricação dos painéis de MDF é um dos mais moderno do setor, pois sintetiza o conhecimento acumulado pelas indústrias de madeira reconstituída. A sua produção envolve uma série de etapas monitoradas, refletindo num produto de alta qualidade e desempenho. As etapas de fabricação segundo Maloney (2003) são resumidas a seguir:

- **Descasque dos toretes** – é a operação de retirada da casca e outros contaminantes como a terra, pedregulho, até mesmo metais, além de materiais inorgânicos indesejáveis. Pode ser realizado por equipamentos com sistemas hidráulicos ou mecânicos.
- **Geração de cavacos** – transformação de toretes limpos em elementos menores como os cavacos, flakers ou partículas. Há uma diversidade de equipamentos para essa tarefa, podendo ser divididos em moinho de corte, de martelo, de impacto e de atrito.
- **Crivagem** - consiste na separação dos cavacos finos (≤ 8 mm) dos maiores (> 55 mm) (ALMEIDA, C. de O.R, 2006). Iwakiri (2005) explica que isso é feito por meio de um sistema de peneiras de diversas granulometrias.
- **Lavagem dos cavacos** – etapa essencial para a retirada das impurezas trazidas do pátio de armazenamento. As empresas também possuem detectores magnéticos de materiais metálicos para colaborar nessa etapa.
- **Pré-tratamento dos cavacos** - esses processos podem ser hidráulico, térmico ou químico, com ou sem pressurização, onde os cavacos devem conter uma umidade entre 40 e 60% (em peso seco). O princípio básico do pré-tratamento é a separação das fibras pela mudança do estado vítreo para o estado plástico da lignina, uma vez que a mesma exerce um papel ligante entre as paredes, facilitando a operação de refino e preservando a integridade das fibras.

- **Processo de desfibramento** - é a transformação dos cavacos em fibras, feito através de uma ação combinada de corte, cisalhamento mecânico e fricção por meio dos discos ranhurados dos refinadores.
- **Aplicação de resina, aditivos e parafina** – feita por meio de válvulas aspersoras, tipo *spray*, instaladas dentro da tubulação pneumática de transporte (*blowline system*) em fluxo contínuo.
- **Secagem** – pode ser realizada por sistema de duplo estágio (longos tubos que a fibra percorre através do ar quente e seco) ou por sistema de jato direto e indireto de calor. Posteriormente são enviadas para o “tanque pulmão”.
- **Formação do colchão de fibra** – sistema formado por uma longa esteira dotada de um sistema de sucção que mantém as fibras unidas formando um colchão. O entrelaçamento das fibras é feito por cilindros dentados que nivelam e seccionam o colchão retirando o material excedente.
- **Pré-prensagem** – É a diminuição do volume em altura do colchão por meio da passagem por rolos sem aplicação de calor, o intuito é retirar o ar e aumentar a área de contato para melhorar a transferência de calor.
- **Prensagem** – Pode ser feita por dois tipos de prensas, as estáticas de pratos múltiplos ou as contínuas. Seu aquecimento (140°C a 220°C) é feito por meio de vapor, óleo ou alta frequência.
- **Pré- corte** – É o seccionamento das bordas laterais e transversais em equipamento denominado *Cross sawn*.
- **Resfriamento** – após a prensagem, os painéis são seccionados e seguem para estações de resfriamento, equipamento denominado como estação estrela, onde completa a cura da resina e evita variações de temperatura.
- **Corte e acabamento** – após o período de estabilização e cura os painéis seguem para setores de corte e acabamento em lixadeiras calibradoras.

A Figura 2.1 ilustra as etapas do processo de produção do MDF.

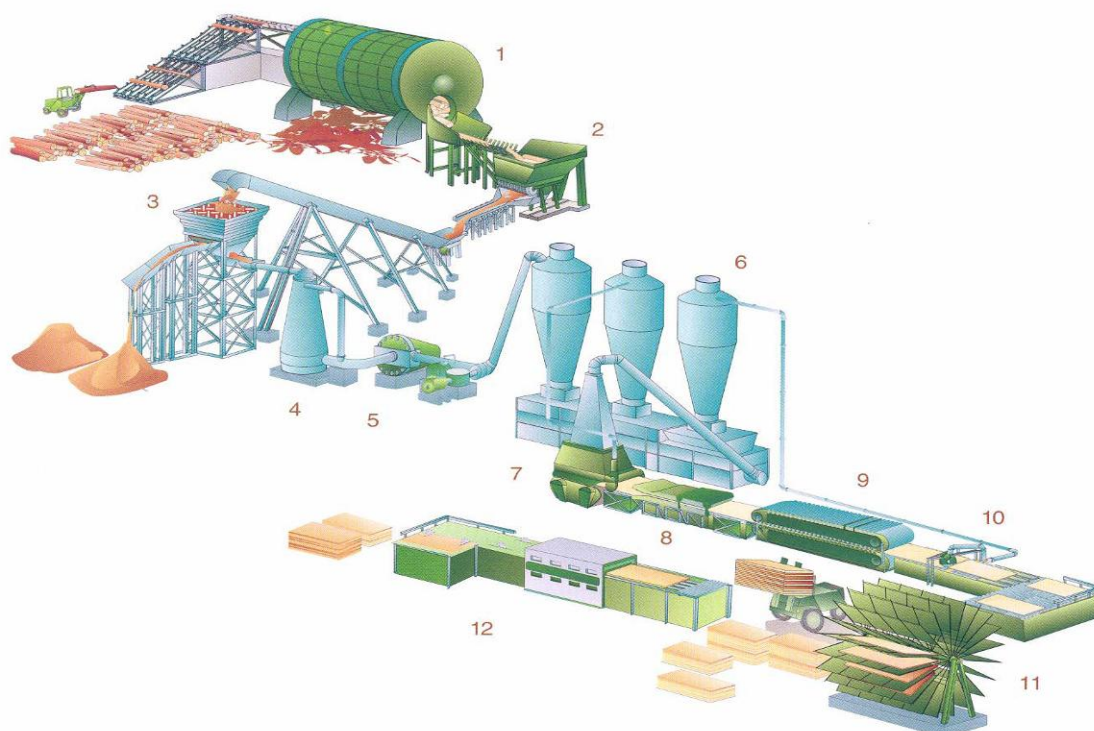


Figura 2.1 - Fluxograma do processo de produção dos painéis de MDF.

- 1) descasque dos toretes; 2) geração de cavacos; 3) crivagem e lavagem dos cavacos; 4) pré-tratamento dos cavacos; 5) processo de desfibramento ; 6) aplicação de resina, aditivos, parafina e secagem; 7) formação do colchão de fibras; 8) pré-prensagem;
- 9) prensagem; 10) pré-corte; 11) resfriamento; 12) acabamento.

Fonte: GARCIA-ESTEBAN *et al* (2002).

2.3 ADESIVOS

Composto formado pela reação de moléculas simples com grupos funcionais, os polímeros orgânicos naturais ou de origem sintética são os principais ingredientes químicos em todas as formulações para a colagem de madeira (VICK, 1999). Os adesivos sintéticos termofixos ou termoendurecíveis são definidos como aqueles que possuem capacidade de solidificar por meio de reações químicas e físicas irreversíveis ativadas por elevadas temperaturas ou catalisadores, tornando-os rígidos e insolúveis através de reação de policondensação (MARRA, 1992). Formam o grupo dos polímeros reticulados que pode atingir elevada força, resistência à umidade e rigidez suficiente para

suportar, por um longo período, intensa força estática sem se deformar (FRIHART; HUNT, 2010). Youngquist (1999) explica que devido às suas diversas vantagens é a classe de adesivos mais utilizados pelas indústrias de painéis à base de madeira reconstituída. Segundo Frihart e Hunt (2010) o Fenol-Formaldeído (FF), o Resorcinol-Formaldeído (RF), a Melamina-Formaldeído (MF), a Uréia-Formaldeído (UF), *Hot melt*, o Isocianato e os adesivos de epóxi são exemplos típicos de polímeros termofixos mais comuns existentes no mercado para colagem de madeira.

Segundo Frihart e Hunt (2010) a UF foi o primeiro adesivo para madeira à base de polímero sintético produzido comercialmente na década de 30. Conner (1996) explica que atualmente mais de 70% dos produtos florestais de madeira utilizam essa resina em todo o mundo. Sua composição é baseada, principalmente, na uréia e no formaldeído.

As principais vantagens da resina UF consideradas pela indústria madeireira são: baixo custo, facilidade de manuseio com uma ampla variedade de condições de cura, solubilidade em água, resistência à microorganismos, à abrasão, dureza, excelentes propriedades térmicas e após a cura não apresenta coloração (CONNER, 1996).

Quanto as desvantagem, Almeida (2006) explica que após a cura, suas moléculas podem ser hidrolisáveis sob a ação da água, devido às fracas ligações entre o azoto da uréia e do carbono das pontes de metileno, especialmente a elevadas temperaturas. Outro aspecto negativo é a liberação de formaldeído, substância tóxica e carcinogênica, condenado pela Organização Mundial de Saúde - OMS. Em painéis MDF expostos a locais úmidos, especialmente em temperatura entre 40°C e 60°C, é susceptível a perda de resistência mecânica, inchamento e/ou deformação sendo classificado apenas para uso interno (IWAKIRI, 2005).

2.4 PAINÉIS DE BAMBU

A primeira produção de painel de bambu, em caráter experimental, foi na China na década de 40, durante a Segunda Guerra Mundial. Era um painel do tipo “esteira de bambu” colado com adesivo à base de caseína, um material alternativo na substituição de painéis compensados para os interiores das

aeronaves. Na mesma época, a Índia iniciou pesquisa de desenvolvimento na área de resina para ser aplicada a esse material. Décadas mais tarde as tecnologias para produção de painéis foram disponibilizadas para diversos países da Ásia como a China, Indonésia, Laos, Malásia, Filipinas, Taiwan, Tailândia e Vietnam (GANAPATHY *et al.*, 1999). Desses esforços em conjunto, a produção de uma série de painéis tornou-se possível. Desde então, cerca de 20 diferentes tipos de painéis de bambu com diversas combinações elaboradas com lâminas, ripas, tiras e partículas já foram testados e alguns já estão sendo produzidos em toda a Ásia (FAO, 2007)

Os painéis derivados dos colmos de bambu podem ser classificados de acordo com o processo de fabricação, uso e as aplicações a que se destinam (MOIZÉS, 2007). O tamanho e o formato dos seus elementos constituintes (as lascas, as lâminas, as ripas, as partículas, as fibras, os flocos, os filamentos, dentre outros), sozinhos ou combinados, influenciam profundamente as diversas características físicas, mecânicas e estruturais das suas propriedades (QISHENG, 2003). A Figura 2.2 proposta por Moizes (2007) mostra de forma didática, uma variedade de formatos básicos de elementos obtidos dos colmos de bambu, por meio de diferentes tipos de processos para a fabricação de painéis.



Figura 2.2 - Tipos de elementos empregados na fabricação de painéis de bambu.

Fonte: MOIZÉS (2007).

Após uma revisão pormenorizada Ganapathy *et al.* (1999) propõe um glossário simplificado de alguns nomes comumente usados por países asiáticos e a respectiva tradução pelo autor desse trabalho para melhor entendimento:

- *Bamboo mat board* / Painel de esteira de bambu;
- *Corrugated roofing sheet* / Folhas para telhas onduladas;
- *Parallel gluelam* / Lâminas coladas em paralelo;
- *Parallel curved gluelam* / Lâminas curvadas em paralelo;
- *Bamboo curtain board* / Painéis de cortinas de bambu;
- *Bamboo strip board* / Painéis de tiras de bambu;
- *Bamboo lath board* / Painéis de ripas de bambu;
- *Bamboo zephyr* / Placas de bambu “**Zephyr**”²
- *Bamboo net board* / Placas rede de bambu
- *Bamboo moulded products* / Produtos moldados de bambu;
- *Playbamboo* / Painel de bambu compensado;
- *Bamboo Particleboard* / Painel de partículas aglomeradas de bambu;
- *Bamboo fiberboard* / Painel de Fibra de bambu;
- *Bamboo laminated Glued* / Painel de bambu laminado colado;
- *Bamboo laminated plybamboo* / Painel de bambu colado contraplacado;
- *Bamboo mat e bamboo curtain board* / Painel de esteira e cortina de bambu;
- *Bamboo mat and bamboo particleboard* / Painel de esteira e partículas de bambu;
- *Bamboo mat Wood veneer board* / Painel de esteira folheada com lâmina de madeira;
- *Bamboo mat/curtain with Wood veneer* / Painel de esteira e cortina de bambu com lâminas de madeira;
- *Bamboo mat overlaid particleboard* / Painel de esteira de bambu revestido com partículas;
- *Bamboo mat overlaid rice husk board* / Painel de esteira bambu revestido com casca de arroz;
- *Bamboo strip, bamboo particle and Wood veneer* / Painel de tiras e partículas de bambu e lâminas de madeira;
- *Cement-bonded bamboo particleboard* / Painel de partículas aglomeradas colado com cimento;

² Placa de bambu *Zephyr* – Produto feito a partir do esmagamento dos colmos sob pressão em camadas e prensado a quente (*Jeang-Kwan Roh & Jong-Bum Ra*, 2009).

- *Gypsum-bonded particleboard* / Painel de partículas colado com gesso
- *Bamboo particle plaster board* / Painel de placas de gesso e partículas de bambu;
- *Oriented Strand Board – OSB* / Painel de lâminas orientadas³;
- *Arc-shaped decorative board* / Painel decorativo moldado em arco;
- *Bamboo fiber reinforced plastic* / Painel de bambu reforçado com plásticos.

Ganapathy *et al.* (1999) salienta que há alguns equívocos relacionados às terminologias utilizadas livremente para nomear os painéis de bambu, termos como por exemplo, lascas (*sliver*), tiras (*strip*), lâminas (*strand*) e ripas (*lath*) que são comumente utilizados para os mesmos elementos derivado do colmo.

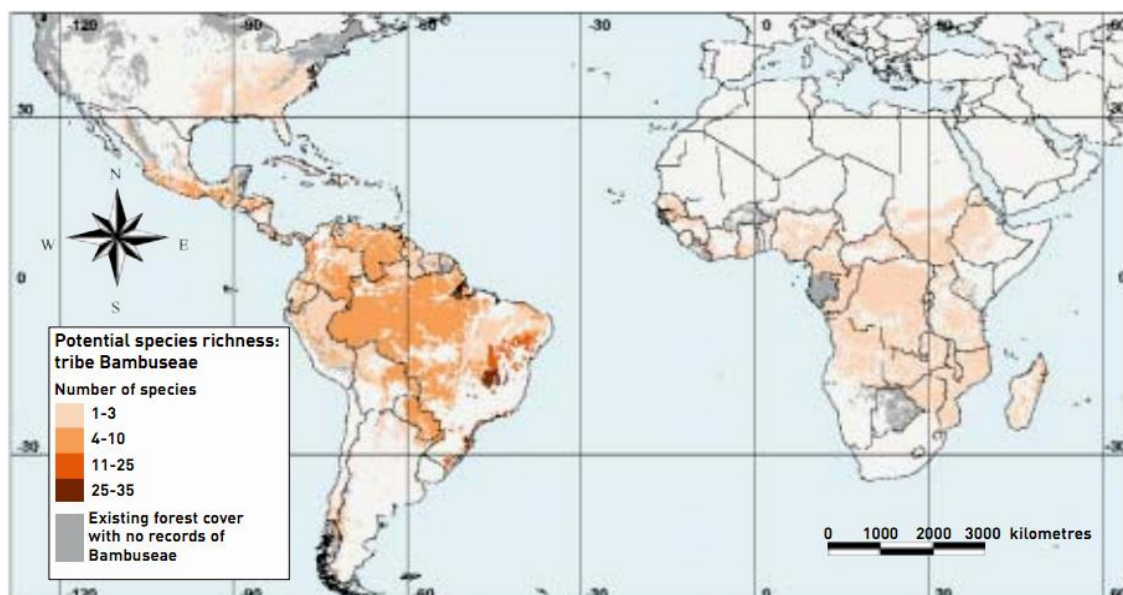
São numerosos os tipos de painéis de bambu, entretanto, nem todos estão disponíveis no mercado para serem comercializados, alguns se encontram em fase experimental, frutos da investigação de alguns organismos internacionais e centros de pesquisa e desenvolvimento voltado ao bambu (GANAPATHY *et al.*, 1996).

2.5 BAMBU

Os bambus pertencem à família *Poaceae* e subfamília *Bambusoideae*, que está dividida em duas grandes tribos: bambus herbáceos e os lenhosos (FILGUEIRAS; GONÇALVES, 2004). No mundo existem aproximadamente 90 gêneros e cerca de 1200 espécies de bambu (LONDOÑO, 2004). Na América são 41 gêneros e 473 espécies (Tai-hui, 1985), sendo que o Brasil possui a maior diversidade e endemismo entre os países da América com aproximadamente 234 espécies, das quais 155 são lignificadas e 75 herbáceos (FILGUEIRAS; GONÇALVES, 2004). De acordo com Burman e Filgueiras (1993) os bambus brasileiros pertencem à tribo *Bambuseae*, considerada a mais importante da subfamília pela sua utilidade prática e

³ OSB (*Oriented Strand Board*) é um painel estrutural produzido com pequenas lâminas de formato retangular (*strands*) encoladas com resinas fenólicas, orientadas na mesma direção, consolidadas por meio da prensagem a quente (MARRA, 1992).

aplicação econômica, podem ser divididos em 21 gêneros, dos quais 9 são considerados endêmicos. De acordo com Murakami (2007) os estados da Bahia, Minas Gerais, São Paulo, Paraná e Santa Catarina, possuem a maior diversidade de espécie de bambu. Wen (1983; 1985) *apud* Bystriakova *et al.* (2003) esclarece que os bambus ainda não tem sido objeto de estudos biogeográficos detalhados, contudo alguns estudos sugerem que os primeiros ancestrais dos bambus lenhosos evoluiu no hemisfério sul no período pós cretáceo. O Mapa 2.1 apresenta a distribuição geográfica por número de espécies de bambu dos continentes africano e americano, nele pode ser observado que as maiores diversidades de bambus lenhosos estão no Brasil.

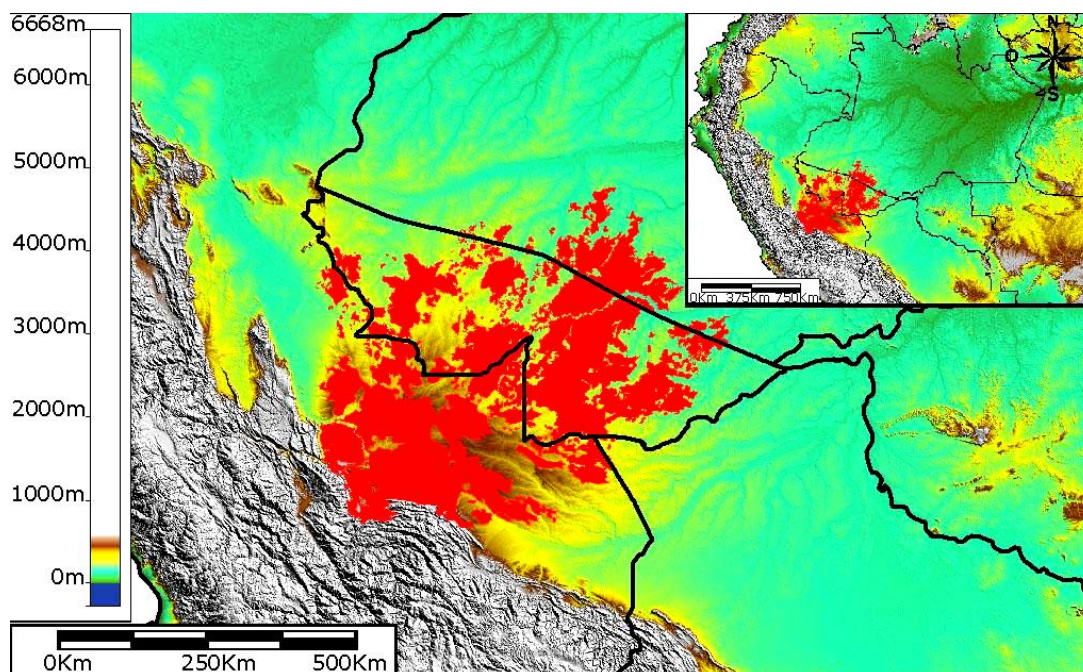


Mapa 2.1 – Distribuição geográfica de espécies de bambu da tribo *bambuseae* dos continentes africano e americano

Fonte: BYSTRIAKOVA *et al.* (2003).

Bruce Nelson (1994) *apud* Silveira (2005), através da análise de imagens de satélite *Landsat* TM do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) obtidas entre 7 – 11° latitude S e 66 - 74° longitude W, calcularam uma área de ocupação contínua com florestas de bambus endêmicos de 121.000 Km² no sudoeste da Amazônia. Análises adicionais feitas por Bruce Nelson e Kalliola estimaram em 180.000 km² cobertos por este tipo de floresta no Brasil, Peru (Mapa 2.2), que juntos perfazem a maior

extensão contínua de bambus nativos de todo mundo (FREITAS JUNIOR; SILVEIRA, 2009). No Acre, a espécies *Guadua weberbaueri* Pilger e *Guadua sacocarpa* Londoño & Peterson são de maior ocorrência, enquanto que *Guadua superba* Huber e o *Guadua angustifolia* Kunth apresentam uma distribuição mais restrita (SILVEIRA, 2005). Nas regiões amazônicas os gêneros mais presentes são *Guadua*, *Elytostachys* e *Arthrostylidium* (JUDZIEWICZ *et al.*, 1999).



Mapa 2.2 – Mapeamento da ocorrência e mortalidade de florestas abertas com bambu nas regiões da Amazônia, Acre, Peru.

Fonte: FREITAS JUNIOR e SILVEIRA (2009).

Os gêneros mais cultivados no Brasil são: *Bambusa*, *Dendrocalamus* e *Phyllostachys*, todos de origem asiática, trazidos pelos primeiros imigrantes e devido à boa adaptação ao clima tropical brasileiro, foram disseminados por todo o país (TEIXEIRA, 2006).

A planta do bambu (Figura 2.3) é constituída por diversas partes, na superior, sobre o solo, encontram-se os colmos, os ramos, os entrenós, as folhas, os nós, as bainhas e os brotos e na parte inferior, em baixo do solo, estão os rizomas, os brotos do rizoma e as raízes (KIGOMO, 2007).

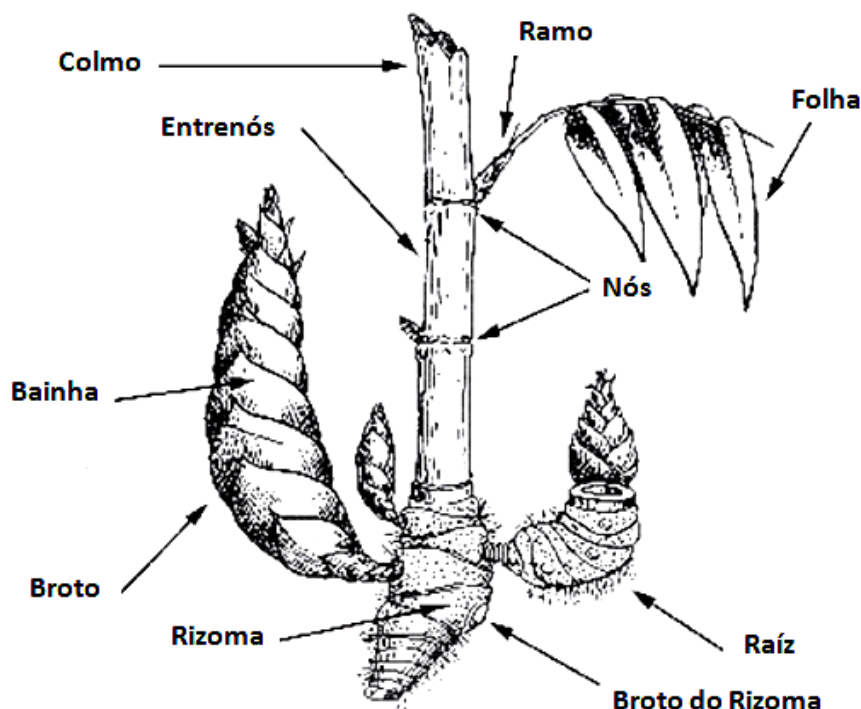


Figura 2.3 - Partes da planta do bambu

Fonte: adaptado de KIGOMO (2007).

Os colmos são geralmente cilíndricos, com distintas partes constituídas pelos nós e entrenós, podendo apresentar interior vazio (YUMING; CHAOMAO, 2010). Ao contrário das árvores, os bambus não tem crescimento secundário em seu “tronco”, seu ciclo ocorre através do sistema de rizoma que se desenvolve e amadurece, originando novos brotos (KIGOMO, 2007). De acordo com Yuming e Chaomao (2010), de modo geral, os bambus podem ser classificados em tipos de acordo com o hábito de crescimento dos rizomas, sendo paquimorfo ou simpodial (entoucerante); monopodial ou leptomorfo (alastrantes); antipodial (híbrido da mistura dos dois sistemas anteriores).

A espécie *Dendrocalamus giganteus*, objeto do presente estudo, pertence ao grupo paquimorfo ou simpodial. Seus rizomas são mais curtos, grossos e sólidos; possui gemas laterais que crescem horizontalmente em curtas distâncias formando um novo ápice na periferia, acarretando um agrupamento em forma de touceira, que pode conter de 30 a 100 colmos. Os novos brotos emergem durante a estação da chuva. A Figura 2.4 apresenta o aspecto geral da planta e como se agrupa formando as touceiras.



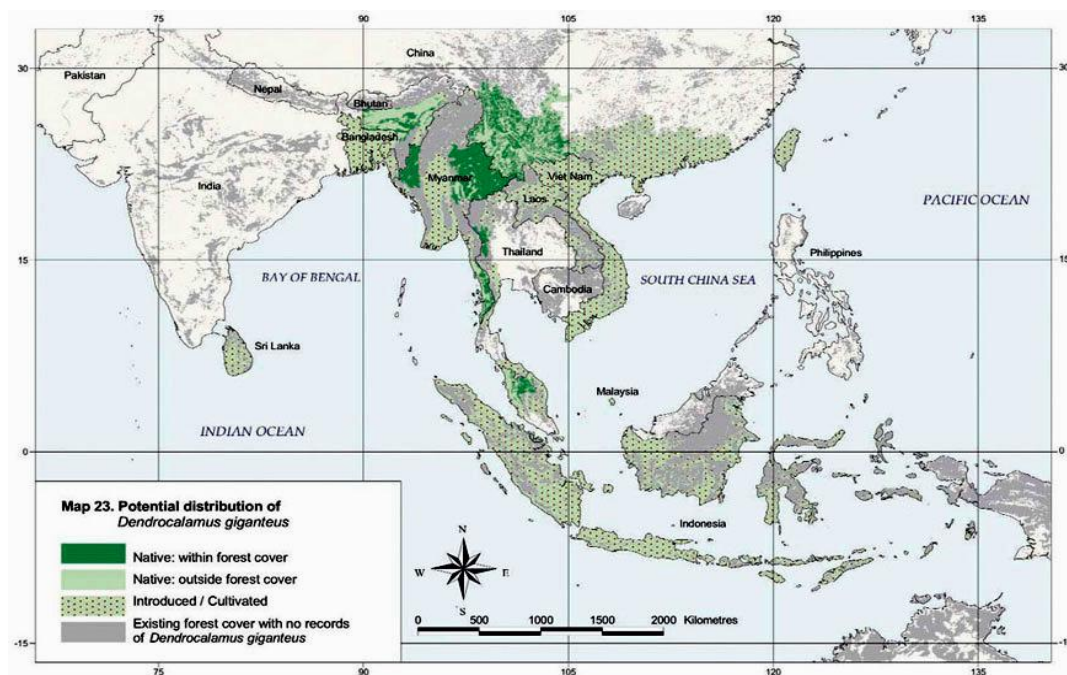
Figura 2.4 - Grupo paquimorfo ou simpodial (entouceirante)

Fonte: KIGOMO (2007).

2.6 *Dendrocalamus giganteus* (Wallich ex. Munro)

A espécie *Dendrocalamus giganteus* (Wallich ex Munro) é considerada uma planta nativa do sul de Mianmar e noroeste da Tailândia. Em épocas passadas foi introduzida em lugares como Índia, principalmente a Noroeste e a Oeste de Bengala, Sri Lanka, Bangladesh, Nepal, Tailândia, sul da China, Vietnam, Indonésia, península da Malásia, Filipinas (MONTIEL; SÂNCHEZ, 2006). O Mapa 2.3 apresenta dados atualizados da distribuição geográfica do bambu *Dendrocalamus giganteus* na Ásia.

No Brasil a maior incidência do bambu gigante é nas regiões do sul e sudeste onde se adaptou ao clima e solo (JUDZIEWICZ *et al.*, 1999).



Mapa 2.3 – Mapeamento da distribuição da espécie *Dendrocalamus giganteus* no sul da Ásia

Fonte: *BAMBOO BIODIVERSITY-UNEP-WCMC/INBAR* (2004).

Lin (1968) classificou o *Dendrocalamus giganteus* como espécie de grande porte por possuir altura entre 20 e 30m, diâmetro do colmo entre 20 e 30 cm, comprimento internodal de 30 a 45 cm e espessura de parede variando entre 1 e 3 cm, ideal para o processo de manufatura de lâminas para painéis, polpa e papel, utensílios domésticos e alimento. De acordo com Nascimento (1990), essa espécie pode atingir até 36 m de altura e 25 cm de diâmetro.

Analisando a velocidade média de crescimento dessa espécie, Azzini *et al.* (1989) obtiveram 22,0 cm/dia. Nomura *et al.*, (1986) ressaltam que o tempo máximo de desenvolvimento dessa espécie em altura está entre 80 a 110 dias.

De acordo com Ventania (2006) a produtividade de uma touceira do *Dendrocalamus giganteus* com 100 m² pode chegar até 600 colmos (varas) de até 20 m de altura.

Assim, este excepcional vigor vegetativo gera vários benefícios ambientais como uma aptidão para o reflorestamento, recuperação de áreas degradadas e o fornecimento de matéria prima para a indústria, tendo em vista as pressões ambientais em torno das florestas nativas para extração de madeira.

2.7 ANATOMIA GERAL DO COLMO

Do ponto de vista anatômico, as paredes do bambu dividem-se em: epiderme (camada externa); derme (próximo a camada externa); tecido base (camada intermediária); feixes vasculares e parede da cavidade (parede da medula) (YUMING; CHAOMAO, 2010). Sua constituição é formada por 50% de parênquima, 40% de fibras e 10% de tecidos, vasos e tubos perfurados (LIESE; GROSSER, 1972).

2.7.1 Feixes vasculares

A estrutura anatômica na seção transversal do colmo é apresentada por numerosos feixes fibrovasculares envolvidos por um tecido parenquimático fundamental constituído por: vasos, elementos crivados com células companheiras e cordões de esclerênquima formando os feixes fibrovasculares; e fibras, formando as bainhas das fibras (TOMAZELLO FILHO; AZZINI, 1987). A Figura 2.5 apresenta imagens de um conjunto de feixe vascular obtidas do microscópio óptico Olympus BX-51M do laboratório do grupo de materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

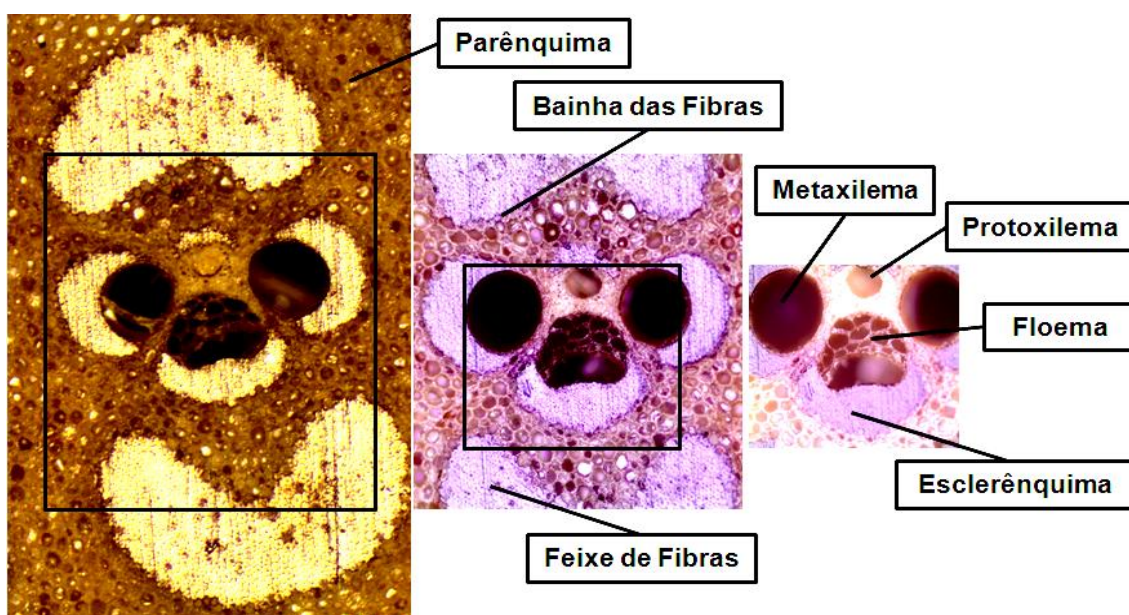


Figura 2.5 – Imagens obtidas pelo microscópio óptico da seção transversal de um feixe fibrovascular.

Os feixes vasculares, no sentido transversal, são maiores em diâmetro e em menor número nas camadas mais internas, tornando-se menores e mais numerosos nas camadas mais externas (Figura 2.6). Já no sentido longitudinal, o número desses elementos vasculares decresce da base para o ápice dos colmos (TOMAZELLO FILHO; AZZINI, 1987).

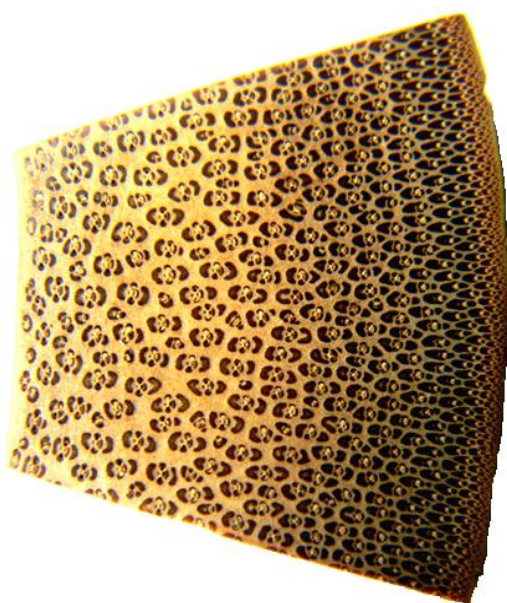


Figura 2.6 - Gradiente de concentração de feixes de fibras na parede do colmo do bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus*.

Com relação à forma, disposição do tecido esclerenquimático, bainhas das fibras, tipos de estruturas de feixes fibrovasculares e suas variações, Grosser e Liese (1974) realizaram diversos estudos em 52 espécies e 14 gêneros de bambus. Após análises das formas e tamanho, as espécies foram agrupadas em quatro tipos básicos, a saber: Tipo I (*Open*); Tipo II (*Tight waist*); Tipo III (*Broken-waist*); Tipo IV (*Double broken-waist*). Seguindo essa metodologia Seethalakshmi *et al.*, (1998), classificou o gênero *Dendrocalamus* com feixes fibrovasculares distribuídos de acordo com o grupo IV (*Double Broken*).

Nogueira (2008) descreve o feixe vascular tipo IV (*Dobre Broken*) (Figura 2.7-A) como sendo uma estrutura composta de três partes sendo um feixe central rodeado com pequena bainha esclerenquimática e fibras isoladas localizadas no floema e do lado do protoxilema. Contudo observa-se que o

Tipo IV ocorre com mais freqüência na base e é acompanhado do tipo III (GROSSER; ZAMUCO, 1973). O tipo III (*Broken-waist*) (Figura 2.7-B) é descrito por Liese (1998) como uma estrutura composta por duas partes, sendo: um feixe vascular central com bainha esclerenquimática e um feixe de fibras separado localizado no lado interno do feixe vascular central. A bainha de fibras do protoxilema é normalmente menor do que os outros. Esse tipo de feixe fibrovascular está presente em gêneros como *Dendrocalamus*, *Melocalamus*, *Gigantochloa*, *Thyrsostachys*, etc.

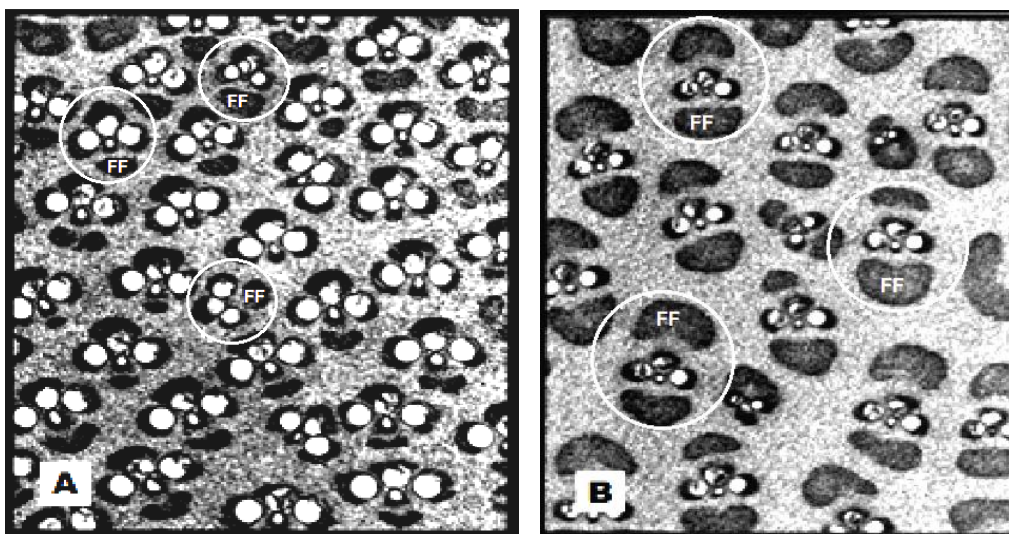


Figura 2.7 - Tipos de feixes fibrovasculares (FF): Tipo III (*broken waist*) (A) da espécie *Oxytenanthera albociliata*; Tipo IV (*double broken*) (B) da espécie *Bambusa polymorpha*,

Fonte: LIESE (1998).

2.7.2 Fibras

As fibras são as principais responsáveis pela resistência mecânica, constituem 40 a 50% do tecido, contribuem com 60 a 70% do peso total do colmo, podendo ocorrer variações entre os gêneros e espécies (GROSSER; LIESE, 1974).

Suas características individuais diferem-nas em comprimento e espessura, e pela posição que ocupam dentro do feixe no colmo (LIESE, 1998). Salgado *et al.*(1994) e Azzini e Beraldo (2000) estudando

espécies de bambu de grande porte observaram diferentes valores médios para o comprimento, largura e espessura da parede das fibras do *Dendrocalamus giganteus*. A Tabela 2.2 apresenta os valores obtidos por esses autores.

Tabela 2.2 - Dimensões das fibras da espécie *Dendrocalamus giganteus*

Comprimento (mm)	Largura (μm)	Espessura da parede (μm)	Autores/Ano
3,08	19,10	5,66	SALGADO <i>et al.</i> (1994)
2,86	19,70	7,71	AZZINI e BERALDO (2000)
3,25	19,80	5,00	SEETHALAKSHMI <i>et al.</i> (1998)
3,49	17,68	2,5 a 7,5	LWIN <i>et al.</i> (2000)

Beraldo e Azzini (2004) inferem que o comprimento das fibras de bambu ocupa uma posição intermediária entre as fibras do eucalipto (1 mm) e do pinus (3 a 4 mm) principais espécies utilizadas para a produção de painéis MDF.

Em relação às fibras, tem sido observado que o aumento do espessamento das paredes celulares está diretamente relacionado com deposição de camadas lamelares. Liese (1998) realizou estudos com a espécie *Phyllostachys viridiglaucescens* e verificou que nas paredes de colmos de 1 ano de idade apresentou 3 lamelas na base, cerca de 2,6 μm de espessura (figura 2.8-A), enquanto que nos colmos de 12 anos foi verificado um total de 8 lamelas com cerca de 8 μm de espessura (Figura 2.8-B). Estudos realizados por Liese e Weiner (1996) demonstram que o espessamento das paredes das células das fibras não ocorre apenas no período de maturação, mas também em anos posteriores.

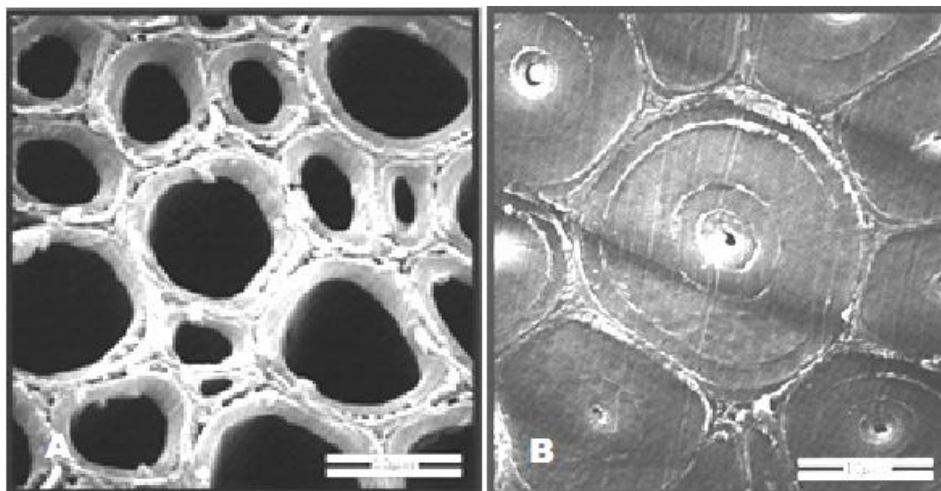


Figura 2.8 - Espessamento das paredes das fibras da espécie *Phyllostachys viridiglaucescens* de 1 ano de idade (A) e de 12 anos de idade(B)

Fonte: LIESE (1998).

A estrutura fina das fibras do bambu é de especial interesse, pois representa a força de sustentação para o colmo. Segundo Liese (1998) diversas investigações detalhadas sobre as camadas constituintes da parede celular das fibras (Figura 2.9) têm revelado diferentes resultados sobre o número de lamelas. O grau de lamelarização pode ser completamente diferente para as fibras, isso depende da sua localização dentro da bainha ou feixe de fibras, podendo se diferenciar consideravelmente dentro de uma mesma seção transversal (LIESE, 1998).

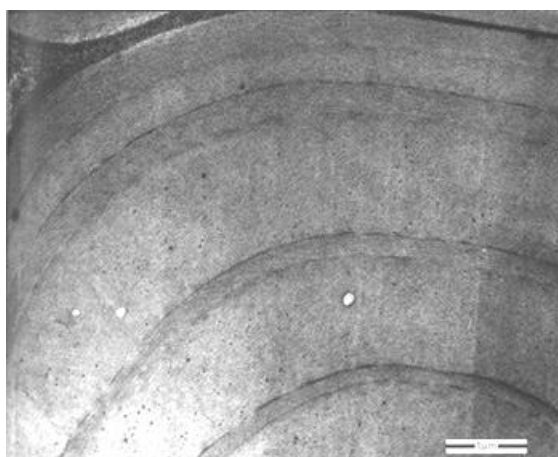


Figura 2.9 - Multicamadas da parede da fibra deslignificada

Fonte: LIESE (1998).

Estudos de microscopia eletrônica realizada por Parameswaran e Liese (1976) revelaram detalhes nos cortes transversais, onde as paredes das fibras são caracterizadas por uma alteração irregular de lamelas largas e estreitas, apresentando diferentes graus de lignificação, sendo as lamelas estreitas com contraste mais denso e as largas com contraste mais suave, o que indica um maior teor de lignina nas paredes mais antigas (Figura 2.10).

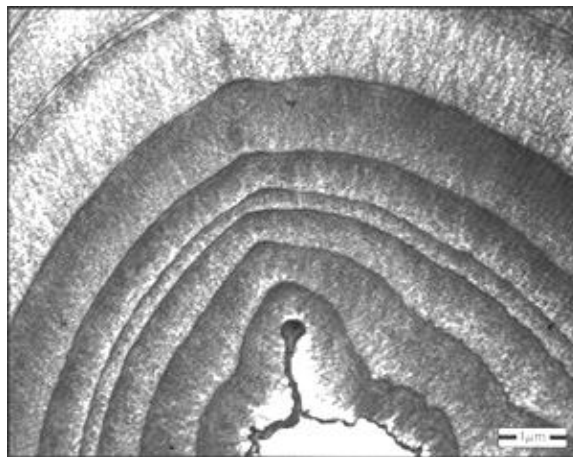


Figura 2.10 - Fibras deslignificadas com várias lamelas grandes e pequenas do *Phyllostachys viridiglaucescens*

Fonte: LIESE (1998).

As diferentes camadas lamelares dentro de uma fibra de bambu com paredes espessas foram primeiramente apresentadas por Tono e Ono, em 1962, e posteriormente por Parameswaran e Liese em 1976 (Liese, 1998). A Figura 2.11-A apresenta uma ilustração do modelo da estrutura polilamelada de uma fibra de bambu com parede espessas e com os respectivos ângulos microfibrilares e a Figura 2.11-B mostra a estrutura de multicamadas (microfibrilas) que reveste as paredes (lamelas) da fibra. Assim o “l” refere-se ao sentido longitudinal e “t” para orientações transversais das microfibrilas entre as lamelas, “ML” lamela média e “P” parede das fibras

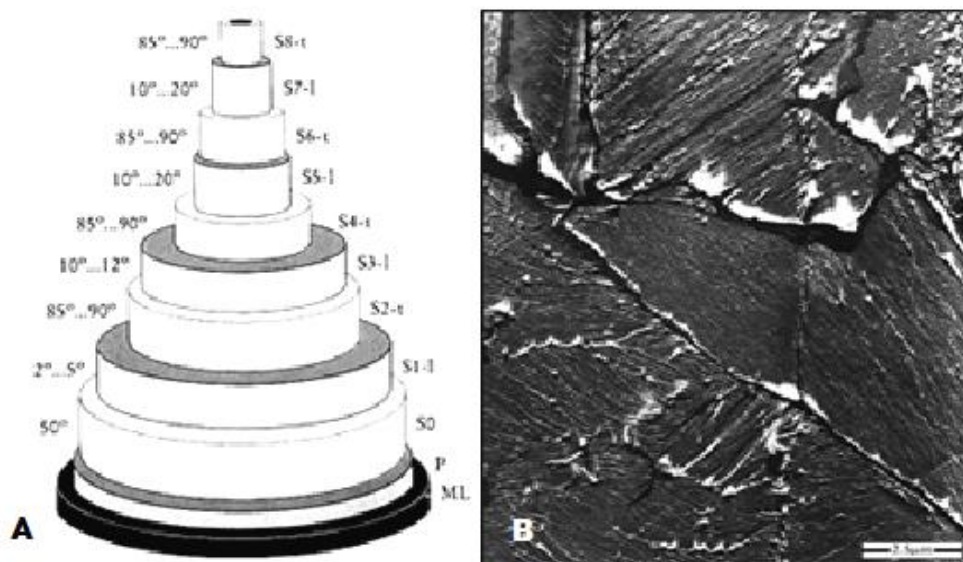


Figura 2.11 - Modelo de estrutura polilamelada indicando o ângulo e suas respectivas camadas (A) e estrutura de multicamadas de paredes de fibras - microfibrilas da espécie *Oxytenanthera albociliata* (B)

Fonte: LIESE (1998).

As microfibrilas com suas diversas orientações estão presentes, especialmente nas paredes das fibras da região da parte externa dos colmos. Essas microestruturas contribuem para a elevada elasticidade das fibras e dos colmos, ela também influencia no aparecimento de fraturas nos colmos após a quebra (LIESE, 2003).

2.8 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DOS COLMOS DE BAMBU DA ESPÉCIE *Dendrocalamus giganteus*

A estrutura anatômica dos colmos está diretamente relacionada com as propriedades mecânicas. Recentes estudos têm demonstrado que durante a maturação ocorrem diversas modificações (LIESE; WEINER, 1996). Portanto, o envelhecimento do colmo influencia certas propriedades, tanto as físicas como as mecânicas, e conseqüentemente afeta o processamento e a utilização.

2.8.1 Teor de umidade

Os teores de umidade nos bambus “*in natura*” variam verticalmente desde a porção basal até o topo e das camadas da parede interna para a externa. Li (2004) explica que nos períodos de maturação, sua variação na vertical é cerca de 82% para o topo e 110% para a base, no sentido horizontal, nas camadas mais profundas de suas paredes (parte interna), pode alcançar 155% e nas camadas periféricas (parte externa) 70%. Lopes *et al.* (2000) avaliando o teor de umidade em espécies de bambu gigante obtiveram diferentes valores para o *Dendrocalamus giganteus* em diferentes regiões. A Tabela 2.3 apresenta os resultados médios do teor de umidade ao ar e saturada em água.

Tabela 2.3 - Teor médio de umidade em diferentes partes do colmo do *Dendrocalamus giganteus*

ESPÉCIE	REGIÃO DO COLMO	UMIDADE SATURADA EM ÁGUA (%)	UMIDADE AO AR (%)
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	Base	56,96	13,45
	Meio	37,59	13,17
	Topo	34,78	15,67

Fonte: LOPES *et al.* (2000).

2.8.2 Densidade de massa

A densidade de massa é uma característica física relevante nos colmos do bambu, normalmente varia entre 0,50 a 0,90 g/cm³ (ZHOU, 1981). Entretanto, depende da região da parede do colmo onde está sendo analisada, ou seja, nas internas é menor e vai aumentando progressivamente à medida que se aproxima da região externa. Mesmo sendo da mesma espécie a densidade não é igual, alguns autores justificam essas discrepâncias pelas condições edafoclimáticas, ou seja, disponibilidade de nutriente no solo, temperatura, clima, dentre outras. A Tabela 2.4 resume resultados encontrados

por alguns autores nos ensaios de densidade de massa da espécie *Dendrocalamus giganteus* em diferentes lugares.

Tabela 2.4 - Diferentes valores de massa específica aparente do *Dendrocalamus giganteus*

DENSIDADE DE MASSA (g/cm ³)	AUTORES / ANO
0,68 a 0,76	PAES <i>et al.</i> (2009)
0,58 a 0,79	RIVERO (2003)
0,80	GHAVAMI E SOLORZANO (1995)

De acordo com Pereira e Beraldo (2007) o bambu com idade de 1 a 5 anos tende a aumentar a densidade numa relação direta com a idade, depois que atinge a maturidade (seis anos de idade) a variação do seu volume é quase insignificante, contudo, depois de oito anos tende a declinar. Conforme Chun (2003) no período da maturidade há um espessamento das paredes celular das fibras diminuindo os espaços internos (diâmetro do lume) e conseqüentemente aumento da densidade. A Figura 2.12 mostra a evolução do espessamento das paredes das fibras com o aumento da idade.

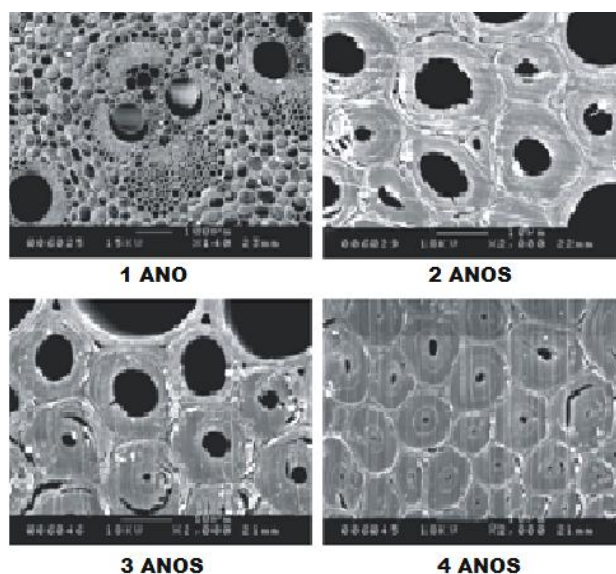


Figura 2.12 - Variação do espessamento das paredes das fibras da espécie *Phyllostachys pubescens*

Fonte: CHUN (2003)

2.8.3 Variação dimensional

O conhecimento da estabilidade dimensional é importante para os produtos à base de madeira para evitar as deformações indesejáveis. O bambu apresenta variações dimensionais acentuadas quando está sujeito a um teor de umidade abaixo do ponto de saturação das fibras ao ar, em torno de 20% (PEREIRA; BERALDO, 2007). Liese (1987) explica que a higroscopicidade dos extrativos presentes nas células de parênquima se constitui na principal responsável pela absorção de água. Pereira e Beraldo (2007) estudando a estabilidade dimensional para o *Dendrocalamus giganteus* com três anos e meio de idade em ripas (sem nó), próximo da região externa, obteve uma variação volumétrica média de 9,0%. Beraldo e Azzini (2004) também estudando a mesma espécie obtiveram resultados um pouco superiores de 12,6%.

2.8.4 Resistência à tração, compressão, flexão e cisalhamento

O bambu é um material anisotrópico (Pereira e Beraldo, 2007), ou seja, seu comportamento depende do eixo considerado das diferentes direções principais. Hidalgo-Lopez (1974) comenta que cada espécie apresenta características mecânicas, físicas e anatômicas próprias, contudo, as diferenças dependem de fatores ligados às condições ambientais, idade da planta e das partes dos colmos que estão sendo avaliados.

A Tabela 2.5 sintetiza alguns resultados de propriedades mecânicas obtidos por pesquisadores do *Dendrocalamus giganteus* na forma de bambu laminado colado (BLC) em diversos ensaios mecânicos.

Tabela 2.5 - Propriedades mecânicas de tração, compressão, flexão e cisalhamento do *Dendrocalamus giganteus* na forma de laminado colado.

ESPÉCIE	TRAÇÃO (MPa)	COMPRESSÃO (MPa)	FLEXÃO (MPa)	CISALHAMENTO (MPa)	AUTORES/ANO
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	135,33	63,74	122,58	44,13	Sartori e Cardoso Jr. (1997)
	143,70	65,50	98,90	—	Pereira e Beraldo (2007)
	195,00	55,00	166,00	10,00	Gonçalves et al.(2000)

As propriedades físicas e mecânicas de um colmo de bambu, relacionadas com a estrutura anatômica, apresentam variações acentuadas entre os colmos da mesma espécie e isso está associado a alguns fatores como: quantidade, comprimento, diâmetro das fibras e espessura de parede celular, e também na distribuição dos feixes de fibras dentro da parede do colmo (LIESE, 2003). Em relação ao módulo de elasticidade (MOE) e a resistência à compressão, Liese (1998) explica que o comprimento das fibras tem uma correlação positiva. A espessura da parede da fibra, segundo Abd.Latif (1993), correlaciona-se também positivamente com a resistência à compressão paralela, a tensão no limite proporcional e módulo de elasticidade (MOE), mas negativamente com o módulo de ruptura (MOR).

Nesse sentido Arce-Villalobos (1994) afirma que o alinhamento axial das células das fibras leva o material a apresentar suas melhores propriedades de resistência paralela à grã.

Estudos sobre os tipos de fraturas das fibras frente a esforços tem demonstrado as correlações entre propriedades mecânicas e os espessamentos das paredes. Liese (1998) analisando as fraturas nas fibras do bambu esclarece que as mesmas ao serem rompidas mostram fragmentação do tipo em cruz, que podem ser divididas em face plana, lisa ou com a face enrugada. A fratura de face plana ocorre predominantemente em zonas amplas lamelares e um pouco menos nas regiões com lamelas estreitas. A Figura 2.13 -A mostra uma fratura plana e a Figura 2.13-B apresenta uma

fratura com separação de lamelas largas e estreitas, ambas na região na lamela média.

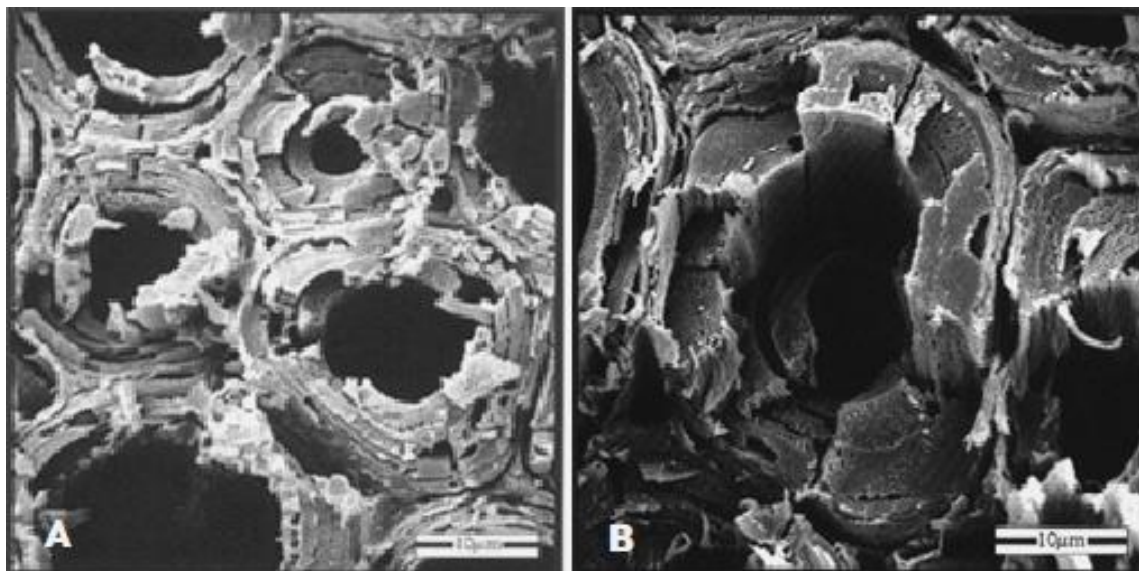


Figura 2.13 - Plano de fratura nas paredes das fibras do *Dendrocalamus latiflorus* na região da lamela média. Fratura plana (A) e fratura em fibra com lamela espessa e estreita(B).

Fonte: LIESE (1998).

Com base na estrutura fina das paredes das fibras polilamelares combinadas com a lignificação das paredes do parênquima, Liese (1998) afirma ser possível obter resistência à tração extremamente elevada, da ordem de 3.800 MPa , na região periférica da parede do colmo, ou seja, na parte mais densa.

As fraturas de face enrugada aparecem ocasionalmente mostrando tendências para o arranjo espiral das fibras (LIESE, 1998). A Figura 2.14 mostra uma fratura de face enrugada nas paredes de fibras polilamelares com tendência para o arranjo em espiral com fibrilas quebradas.

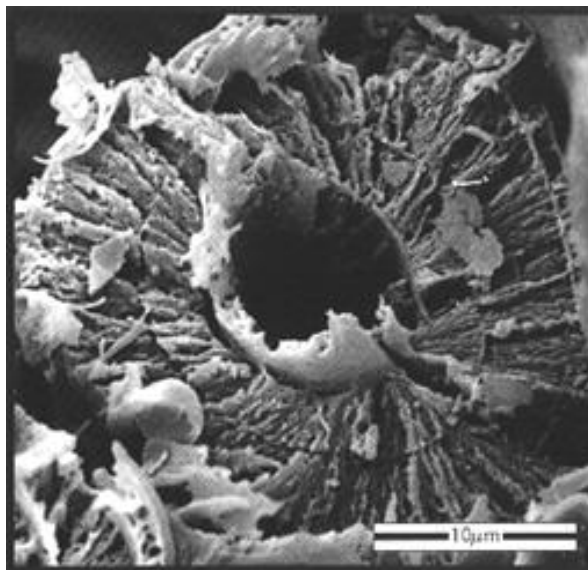


Figura 2.14 - Fratura de face enrugada nas paredes das fibras da espécie *Dendrocalamus latiflorus*.

Fonte: LIESE (1998)

2.9 COMPOSIÇÃO QUÍMICAS

De acordo com Higuchi (1990) a composição química do bambu se assemelha à da madeira, com exceção dos extratos alcalinos, cinzas e sílica que são maiores. Em geral, os principais constituintes químicos macromoleculares dos colmos são celulose ($\pm 55\%$), lignina ($\pm 25\%$) e hemicelulose (pentoses) ($\pm 20\%$), em menor escala, resinas, tanino (ácido tânico), as ceras e os sais orgânicos (LIESE, 1990).

A lignina é uma macromolécula fenólica amorfa concentrada na lamela média composta, bem como na parede primária. Durante o desenvolvimento celular, é incorporada como o último componente das paredes celulares combinada com a matriz de celulose e hemicelulose, interpenetrando nas fibrilas, conferindo-lhes rigidez, gerando uma estrutura resistente (LIESE, 1998).

Abreu *et al.* (1999) esclarece que é um polímero de alto peso molecular, formado por unidades fenilpropanóides (cumarílica, guaiacílica e siringílica), que após a polimerização na parede celular, tornam-se menos complexas e resistentes. Lybeer (2006) afirma que nos bambus é constituída a partir do 3-

fenil- ρ -propano e unidades de ρ -cumaril, coniferil e alcoóis sinápílicos interligados através de vias biossintéticas. De acordo com Han e Rowell (1997) as ligninas estão intensamente associadas com a hemicelulose, e em alguns casos, formam carboidratos complexos que são resistentes à hidrólise, mesmo sob condições de polpação.

A distribuição e as modificações de sua estrutura variam em diferentes regiões anatômicas incluindo nos tecidos parenquimáticos, ela aumenta sensivelmente no período de maturação nos colmos e anos posteriores diminuindo gradativamente (MURPHY; ALVIN, 1997)

O teor de cinzas é a determinação da quantidade de substâncias inorgânicas, totalizando nos bambus em torno de 0,8 a 9,7%, com maiores concentrações na região nodal, sendo a sílica um dos principais constituintes com valores entre 1,5 a 6,4%, localizada, em sua grande maioria, nas células da epiderme (LYBEER, 2006). Tamolang *et al.*(1980) e Chen *et al.*(1987) *apud* Liese (1998) explicam que além do silício esta região é composta por outros elementos como cobre, zinco, ferro, potássio, cálcio, magnésio, manganês, alumínio, etc., e sua presença na epiderme afeta o corte e as propriedades de polpação. Portanto, a seleção de espécies com menores teores de sílica se torna mais proveitosa para a manufatura de produtos industriais (LIESE, 2003). Estudos realizados por Chen *et al.*(1985) indicam que as cinzas variam significativamente entre os colmos de 1 a 7 anos. Durante o envelhecimento foi observada uma diminuição nos teores de cobre, zinco, fósforo, ferro e potássio e um aumento nos teores de cálcio, magnésio e manganês.

A Tabela 2.6 apresenta dados extraídos das análises químicas realizadas por QISHENG *et al.*(2001) com o bambu *Phyllostachys pubescens*, nela é possível observar a variação da composição química em diferentes idades.

Tabela 2.6 - Variação da composição química do bambu da espécie *Phyllostachys pubescens* em diferentes idades

COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%)	IDADES			
	6 meses	1 ano	3 anos	7 anos
Teor de cinzas	1,77	1,13	0,69	0,52
Extrativos em água quente	5,41	8,13	7,10	7,14
Extrativos em água fria	3,26	6,31	5,11	5,17
Extrato em NaOH	27,34	29,34	26,91	26,83
Extrativos em álcool benzeno	1,60	3,67	3,88	4,78
Lignina	26,36	34,77	26,20	26,75

Fonte: QISHENG *et al.*(2001)

Nos bambus os teores de substâncias solúveis (resinas, ácidos graxos, óleos essenciais, tanino, etc.), de cinzas e de lignina são menores nos nós em relação aos entrenós (PEREIRA; BERALDO, 2007).

Tanto o bambu como a madeira sofre variações na sua composição química decorrente ao tipo de clima, solo e nutrientes disponíveis. A Tabela 2.7 mostra a composição química do *Dendrocalamus giganteus* analisado em diferentes lugares, sendo o primeiro da região de Madagascar (África) e o segundo da região de Wabo (Mianmar/Ásia).

Tabela 2.7 - Composição química do bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus* de diferentes regiões.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%)	REGIÕES	
	Madagascar África ⁽¹⁾	Wabo/Mianmar Ásia ⁽²⁾
Teor de cinzas	2,9	1,9
Teor de sílica	0,4	0,7
Extrativos solúveis em água quente	5,1	16,6
Extrativos solúveis em NaOH	24,4	28,4
Extrativos solúveis em álcool benzeno	6,5	7,4
Lignina	25,3	17,8

Fonte: PROTA - PLANT RESOURCES OF TROPICAL AFRICA (2010)⁽¹⁾; LWIN *et al.* (2000)⁽²⁾.

Diversos autores na literatura relacionam a durabilidade dos colmos do bambu com a sua composição química e a estrutura anatômica (LIESE, 2003; HIDALGO-LOPEZ, 2003). Além dos componentes químicos mencionados anteriormente, as células de parênquima – tecido que envolve os feixes fibrovasculares, contém substâncias como amido, proteínas e carboidratos solúveis, essenciais para a manutenção da planta (MOHANAN, 1997). Entretanto, esses mesmos elementos são atrativos para insetos, brocas e fungos, que utilizam como alimento e proporcionam o seu desenvolvimento (MATOSKI, 2005). Um elevado teor de umidade nos colmos de bambu também facilita e acelera o ataque de diversos tipos de fungos.

2.10 ANÁLISE EM MEV, EDS E MICROTOMOGRÁFIA

A microanálise consiste em avaliar as imagens da microestrutura de diferentes materiais e entender as suas correlações, diagnosticar os defeitos durante a sua formação, analisar os comportamentos e suas propriedades características. O Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) é um instrumento versátil e de fácil interpretação para análise de materiais sólidos. A elevada profundidade de foco (aparência tridimensional das imagens) e a possibilidade

de combinar análise microestrutural com a microanálise química permitindo fazer avaliações da topografia de superfície, composição química, cristalografias além dos diversos comportamentos como: fraturas, deformações, microfissuras, trincas, falhas de adesão, interações, ruptura da interface fibra matriz, delaminações, entre outros.

A microanálise por EDS (*Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy*) é uma importante e poderosa ferramenta de análise não destrutiva que permite identificar e quantificar elementos orgânicos e inorgânicos. O EDS é um detector de energia dispersiva de Raios-X emitidos pelas amostras. O equipamento é acoplado ao MEV e por seu intermédio é possível obter um mapa microcomposicional e associar as imagens de MEV com detalhamento das concentrações. Segundo Maliska (2011) é possível determinar a composição química de elementos de regiões de até 1µm de diâmetro e quantificar de 1 a 2% destes componentes presentes na amostra.

De acordo com Lasso *et al.*(2008) a microtomografia é uma técnica que permite a visualização de seções transversais (cortes internos) de um objeto de forma não destrutiva. É a divisão virtual em “fatias” nas quais são mapeados parâmetros físicos como a densidade e a porosidade de cada região interna do objeto, apresentados na forma de imagens bidimensionais, podendo ser transformados em objetos virtuais em 3D (reconstrução das imagens dos cortes tomográficos), por meio de algoritmos computacionais. Seu princípio de funcionamento baseia-se nas propriedades dos materiais em absorverem radiação de forma diferenciada, dependendo da composição química e a densidade. Dentre as suas diversas aplicações está o estudo e caracterização de polímeros com fibras naturais.

2.11 ANÁLISE TÉRMICA

As análises térmicas são um grupo de técnicas nas quais as propriedades físicas e químicas de uma determinada substância, ou de seus produtos de reação, são monitoradas em função do tempo e temperatura, enquanto a temperatura da amostra, sob uma atmosfera específica, é submetida a um programa de tratamento térmico. Fenômenos como a estabilidade térmica dos elementos, composição e estabilidade de compostos

intermediários, composição dos resíduos (Oliveira, 2007), variações de massa, temperaturas de fusão, cristalinização ou decomposição podem ser detectadas pelo aquecimento controlado. Dentre as inúmeras aplicações existentes na termogravimetria (TG) destacam-se algumas que podem ser úteis para este estudo, tais como:

- Decomposição térmica de materiais orgânicos e inorgânicos;
- Determinação de umidade e o teor de cinzas;
- Análise da higroscopicidade.

Um aumento da resolução da curva da TG pode ser obtida na forma diferencial (d massa / d tempo), sendo possível mostrar pequenas variações, além das temperaturas do início e do fim de cada evento térmico (os picos). Tal análise é conhecida por análise termogravimétrica diferencial - DTG (*Derivative thermogravimetric*) (ORÉFICE *et al.*, 2006).

De acordo com Chen e Kuo (2010) os eventos térmicos dos componentes lignocelulósicos apresentam-se em faixas de temperaturas características. Em geral seus maiores constituintes são celulose, hemicelulose e lignina. A decomposição térmica das estruturas lignocelulósicas pode ser identificada e quantificada por meio das curvas de TG/DTG.

Como uma das características principais dos materiais lignocelulósicos é a absorção da água dispersa no ar em forma de vapor para manter o teor de umidade de equilíbrio (TUE), a retirada da água de adesão ou higroscópica do interior das paredes celulares é mais difícil. Somente com elevação da temperatura a partir de 50°C é que se observa o início da liberação desta umidade retida. O próximo evento térmico característico apresenta a perda de massa dos extrativos solúveis em água como ceras, ácidos graxos, resinas, óleos essenciais tanino dentre outros em faixas de temperaturas entre 120 até 250°C.

De acordo com Chen e Kuo (2010) a perda de massa da hemicelulose ocorre em temperaturas mais altas entre 150 e 350°C, na celulose, sua decomposição está entre as faixas de 275 a 350°C e a lignina é caracterizada pela decomposição gradual em temperaturas entre 250 e 500°C.

Oliveira (2007) observa que não há uma divisão distinta da degradação térmica de cada elemento (hemicelulose, celulose e lignina) dos materiais

lignocelulósicos, visto que cada um destes elementos está ligado quimicamente. Contudo, a estabilidade térmica⁴ leva em consideração o comportamento e as características individuais de cada elemento. A lignina, por ser um dos componentes mais estáveis, degrada entre 250 e 500 °C com maior intensidade entre as faixas de 310 a 420 °C, assim sua curva de TG/DTG é mais suave se comparado com a celulose que se degrada termicamente mais rápido em temperaturas entre 325 a 375 °C (MARTINS, 1980).

Oliveira (2007) identificou picos em 217°C, 270°C e 327°C para hemicelulose, celulose e lignina respectivamente. Para Rowel *et al.*(2005) os picos de degradação térmica para as mesmos componentes foram de 225°C, 325°C e 370°C.

Chen e Kuo (2010) avaliando o impacto simultâneo na estrutura de quatro materiais lignocelulósicos por meio de análise termogravimetria, obtiveram perda de massa da hemicelulose do bambu em 275°C, celulose em 308°C e para a lignina uma decomposição térmica gradual na faixa de 380 a 470°C, conforme pode ser observado na Figura 2.15.

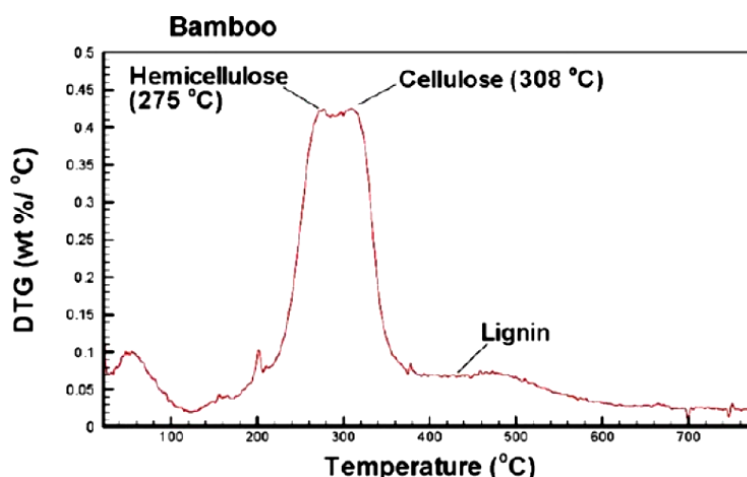


Figura 2.15 – DTG do bambu em um ambiente de pirólise.

Fonte: CHEN e KUO (2010)

No entendimento de Oliveira (2007) entre as faixas de 300°C a 375°C a maioria dos polímeros carboidratados se degrada restando apenas a lignina, contudo essa afirmação é questionada por alguns autores na literatura.

⁴ Estabilidade térmica é definida como a capacidade de uma substância manter suas propriedades pouco alteradas quando submetidas à variação de temperatura (OLIVEIRA, 2007).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 FLUXOGRAMA DAS ATIVIDADES EXPERIMENTAIS

A Figura 3.16 apresenta um fluxograma das atividades desenvolvidas na presente pesquisa.

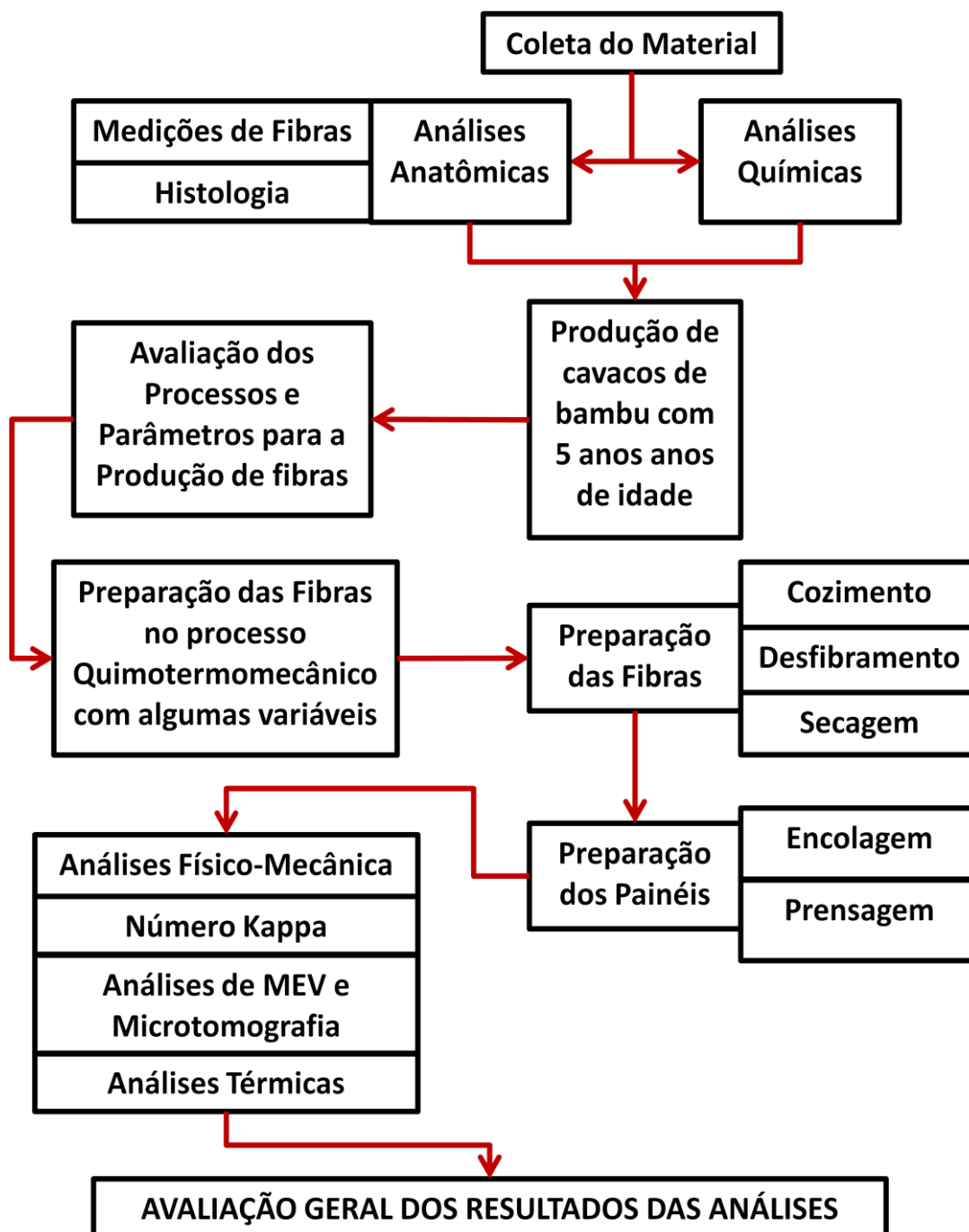


Figura 3.16 - Fluxograma das atividades experimentais

3.2 PROCEDÊNCIA DAS AMOSTRAS

Neste trabalho foram utilizados bambus da espécie *Dendrocalamus giganteus* (Figura 3.17) coletado do Laboratório de Experimentação em Bambu do Departamento de Engenharia Mecânica da UNESP-Bauru. Para as análises da estrutura anatômica e da composição química dos colmos, foram selecionadas amostras da região da base com idades de 2 a 6 anos, de uma mesma touceira, com aproximadamente 2 metros de altura da base coletados no mês de Março de 2009. Para a produção das fibras foram usados bambus com 5 anos de idade, com aproximadamente 2 metros de altura da região da base colhidos no mês de agosto de 2010 do mesmo local.



Figura 3.17 - Touceira de bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus* do laboratório de experimentação em bambus do Departamento de Engenharia Mecânica da UNESP-Bauru-SP.

Fonte: Moizés (2006)

3.3 ANÁLISES ANATÔMICAS DOS COLMOS EM DIFERENTES IDADES

As análises anatômicas dos colmos foram realizadas no Laboratório de Anatomia e Qualidade da Madeira - LANAQM, da Universidade Federal do Paraná - UFPR, em Curitiba. Em condições de laboratório foram cortados 20

corpos de prova orientados nos 3 planos (radial, tangencial e transversal) medindo (2 x 2 x 2 cm) na posição dos entrenós, de cada idade dos colmos de bambu, para a confecção de lâminas histológicas e maceração.

3.3.1 Análises histológicas

Para as análises histológicas, 10 amostras foram cozidas em água, fixadas em micrótomo de deslize e cortadas seções finas (30 μm de espessura) com navalha de aço. As seções foram coradas com safrablau, desidratadas em série alcoólica ascendente e montadas as lâminas permanentes. Para ilustração, foram obtidas fotomicrografias através do software OLYMPUS MicroSuite™ Basic. A porcentagem de elementos constituintes foi determinada pela medição de 100 pontos aleatórios, calculando-se a ocorrência de cada tecido, em cada idade, conforme as recomendações de Muñiz e Coradin (1991) adaptadas da IAWA (1989).

3.3.2 Medições de fibras

Para a mensuração das fibras, amostras dos 10 corpos de prova de colmos de bambu foram transferidas para tubos de ensaio com solução de peróxido de hidrogênio e ácido acético 1:1 e, em seguida para estufa (60°C) por 24h, conforme descrito por Franklin (1975) e modificado por Kraus e Arduin (1997). As células do colmo dissociadas foram lavadas em água destilada, coradas com safranina, desidratadas em série alcoólica e transferidas para lâminas histológicas permanentes, para a mensuração das fibras de cada idade. Foram feitas 30 medidas em microscópio OLYMPUS através do software MicroSuite™ Basic das seguintes características: comprimento, largura e diâmetro do lume das fibras em cada idade e calculada a espessura da parede, conforme as normas de Muñiz e Coradin (1991) adaptadas da IAWA (1989).

Para verificar a influência da idade na diferenciação das características analisadas, utilizou-se o método estatístico de comparação de médias o teste de Tukey, com 95% de probabilidade.

3.4 ANÁLISES QUÍMICAS EM DIFERENTES IDADES

As análises químicas foram conduzidas no Laboratório de Química da Madeira da UFPR. Foram feitas análises com os entrenós utilizando as normas e procedimentos da TAPPI (1994) para: Extrativos em Água Quente, Extrativos em Água Fria, Extrativos em NaOH, Extrativos em Etanol Tolueno, Extrativos Totais, Teor de Cinzas, Teor de Lignina.

3.5 PRODUÇÃO DE CAVACOS

Foi feita uma seleção inicial de bambus com aproximadamente 5 anos de idade que possuíam paredes espessas e regularidade geométrica (retos) para possibilitar o seccionamento da serra circular (Figura 3.18).



Figura 3.18 - Corte dos colmos em anéis com serra circular (destopadeira) para a produção de cavacos

Foram cortados anéis medindo aproximadamente 12 centímetros os quais permaneceram em estufa de laboratório com ventilação forçada a 50 ± 2 °C durante 48h e igual período para o esfriamento e a estabilidade da umidade em torno de 20%. A redução dos anéis em cavacos foi feita pelo seccionamento com elemento cortante (cutelo) no sentido axial (sentido das fibras). A largura dos cavacos foi aproximadamente de 3 cm, ou seja, correspondente à espessura da parede do colmo. A espessura dos cavacos variou entre 2 a 4 mm. Para a redução do comprimento para 4 cm

aproximadamente, utilizou-se de uma serra fita. A Figura 3.19 mostra o aspecto físico dos cavacos utilizados para produção de polpa de bambu utilizada na manufatura das amostras de MDF.



Figura 3.19 - Cavacos analisados e utilizados na produção de polpa de bambu para manufatura de amostras de MDF.

3.6 DESFIBRAMENTO

Para obter as melhores condições para o desfibramento dos cavacos, foram avaliados dois processos de desfibramento, o termomecânico e o quimotermomecânico com variáveis de tempo e temperatura de cozimento e percentuais de NaOH, visando obter o máximo rendimento e menor degradação das fibras. A escolha se deu por meio de análises de micrografias de MEV das melhores condições físicas das fibras após serem secas e individualizadas. As imagens foram realizadas no CME da UFPR, em MEV de bancada marca JEOL mod. JSM 6360 LV.

Ambos os processos envolveram um pré-tratamento com calor e pressão de vapor saturado utilizando um hidromódulo⁵ (água) de 1,5 l/kg de cavacos de base seca. O objetivo é reduzir o esforço mecânico no desfibrador e facilitar a separação das fibras. O equipamento utilizado para os cozimentos foi um digestor rotativo laboratorial marca “REGMED” modelo AU/E – 20 (tipo

⁵ Hidromódulo é a razão entre a quantidade de matéria prima e a quantidade de meio de extração, também conhecido como razão líquido-madeira.

autoclave) aquecido por resistência elétrica dotado de controle de temperatura por painel digital e pressão por manômetro (Figura 3.20).



Figura 3.20 - Digestor rotativo.

O desfibramento se deu por meio de um refinador de discos laboratorial tipo Bauer marca REGMED modelo MD-3000, trabalhando em alta consistência de massa, ou seja, desfibrando em “bateladas” de aproximadamente 2 kg de cavacos cozidos que corresponde a 1 kg de cavaco em base seca, imersos em 40 litros de água a uma temperatura média de 55°C em intervalos médio de 15 minutos de operação de desfibramento (Figura 3.21).



Figura 3.21 – Refinador Bauer em atividade.

Após a etapa de desfibramento, a polpa foi extraída do refinador e lavada em água corrente para retirada dos álcalis residuais e centrifugada para retirada do excesso de água.

A Tabela 3.8 apresenta os processos e os parâmetros investigados para obtenção de fibras para a produção dos painéis.

Tabela 3.8 – Parâmetros para obtenção de fibras.

VARIÁVEIS	TIPOS DE PROCESSOS	
	TERMOMECÂNICO	QUIMOTERMOMECÂNICO
Tempo de cozimento (min)	10 a 60	10 a 60
Temperatura de cozimento (°C)	140 a 180	140 a 180
Tempo de refino (min)	15	15
NaOH (%) ⁽¹⁾	—	2-4 e 8

NOTA: ⁽¹⁾ O cálculo do percentual de NaOH foi baseado no peso seco do cavaco.

O melhor resultado apresentado neste estudo para a produção das fibras foi com o tratamento T-1 no processo quimotermomecânico (Tabela 3.9). A partir deste parâmetro foram elaborados 3 tratamentos, representados por T-2, T-3 e T-4, os quais foram submetidos a 3 conjuntos de fatores com o intuito de verificar as suas influências nas diferentes propriedades nos painéis, conforme Tabela 3.9.

Tabelas 3.9 – Parâmetros do processo quimotermomecânico

Tipo de Tratamento	FATORES		
	Tempo de cozimento (min)	Temperatura de cozimento (°C)	NaOH (%)
T1	20	140	4
T2	40	160	4
T3	40	160	8
T4	60	140	8

3.7 CÁLCULO DO RENDIMENTO BRUTO

O rendimento bruto expressa a relação entre a massa de fibras após a polpação e a massa dos cavacos utilizada, que pode ser calculado pela equação 3.1

$$\%Rb = \frac{M_p}{M_c} \times 100 \quad (3.1)$$

onde: (%) Rb = rendimento bruto da polpa

M_p = Massa da polpa anidra (g)

M_c = Massa do cavaco base seca (g)

3.8 SECAGEM DAS FIBRAS

A secagem completa das fibras concretizou-se em uma câmara com ar forçado marca MARCONI mod. MA-037 a uma temperatura de 70°C, por um período de 48h, em que a umidade passou de aproximadamente 55% para 6% (Figura 3.22).



Figura 3.22 – Câmara de secagem com ar forçado.

3.9 INDIVIDUALIZAÇÃO DAS FIBRAS

Os grumos de fibras formados na secagem foram separados utilizando um moinho de facas rotativas (Figura 3.23) marca RONE mod. KRB1533 para individualizar as fibras.

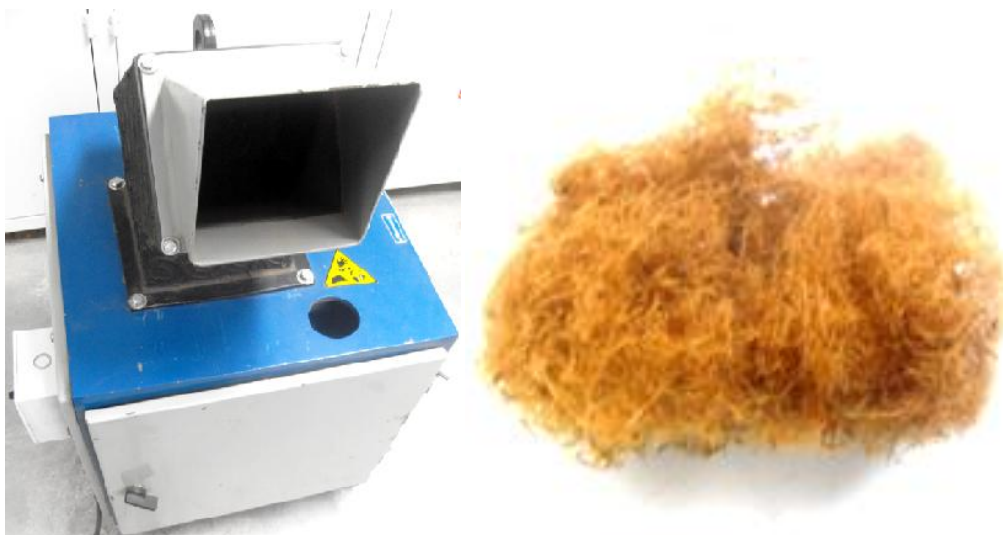


Figura 3.23 – Moinho de facas rotativas e as fibras após serem processadas.

3.10 BALANCEAMENTO DOS COMPONENTES PARA ENCOLAGEM DAS FIBRAS

O balanceamento dos componentes para encolagem das fibras constitui-se na operação de mistura de substâncias como emulsão de parafina, água (caso necessário), aditivos e a resina segundo o percentual solicitado em proporções variáveis. Neste trabalho foi adaptada a metodologia prescrita por Eleotério (2000).

3.10.1 Dosagem da emulsão de parafina

Com o objetivo de reduzir a higroscopicidade das fibras de bambu, foram pulverizados 2% de sólidos de emulsão de parafina em relação ao peso anidro das fibras por um misturador rotativo (Figura 3.24), protótipo funcional desenvolvido pelo autor.



Figura 3.24 – Pulverização da emulsão de parafina em misturador rotativo

A emulsão de parafina utilizada foi doada pela empresa Brasceras S/A, e segundo as suas especificações (anexo A), o teor de sólidos está entre 58 a 62%, sendo que para efeito de cálculo, foi adotado 60% correspondente à média desses valores. Através da equação 3.2 é possível calcular a dosagem de emulsão de parafina nas fibras.

$$MEP = MF \times (1 - TU) \times TEP \times \frac{1}{TSEP} \quad (3.2)$$

onde: MEP = massa de emulsão de parafina a ser adicionada às fibras (g)

MF = massa de fibras úmida (decimal) (g)

TU = teor de umidade (fibras a 3% de umidade) (decimal) (%)

TEP = teor de emulsão de parafina desejado (decimal) (g)

TSEP = teor de sólidos da emulsão de parafina (decimal) (%)

3.10.2 Determinação da quantidade de resina Uréia Formaldeído (UF)

Considerando um teor de sólidos médio de 66,0% presente na resina de nome comercial de Cascamite MDF 8081 da empresa Hexion Química Ind. Com. Ltda, conforme especificações (anexo A), foi adicionado um percentual

de 10% de resina nas fibras. Por meio da equação 3.3 a seguir, é possível determinar a quantidade de resina UF.

$$MR = MF \times (1 - TU) \times TR \times \frac{1}{TSR} \quad (3.3)$$

onde: MR = massa de resina a ser adicionada às fibras (g)

MF = massa de fibras úmidas (g)

TU = teor de umidade (base úmida) (decimal)

TR = teor de resina desejado (decimal)

TSR = teor de sólidos da resina (decimal)

3.10.3 Dosagem do catalisador

Para colaborar na aceleração do processo de cura foi adicionado catalisador – sulfato de amônia de uso comercial com teor de sólidos de 20%, em percentuais de 2,5% de sólidos de catalisador em relação ao teor de sólidos da resina, ou seja, 66,0%. A equação 3.4 apresenta o cálculo da quantidade de aditivo a ser adicionado na solução para a encolagem das fibras.

$$MC = MR \times TSR \times TC \times \frac{1}{TSC} \quad (3.4)$$

onde: MC = massa do catalisador a ser adicionado à resina (g)

MR = massa de resina a ser adicionada às fibras (g)

TSR = teor de sólidos da resina (decimal) (%)

TC = teor de catalisador desejado (decimal) (%)

TSC = teor de sólidos do catalisador (decimal) (%)

3.10.4 Balanceamento do teor de umidade

Para que o colchão de fibras atinja patamares de umidade desejado⁶ é preciso fazer o balanceamento acrescentando água às fibras, caso haja necessidade. A umidade é diretamente proporcional aos teores de sólidos dos componentes da mistura (resina, emulsão de parafina). Por meio da equação 3.5 pode ser calculada a quantidade de água para balanceamento do teor de umidade:

$$TUC = \frac{MF \times TU + MR \times (1 - TSR) + MEP \times (1 - TSEP) + M(H_2O)}{MF + MR + MEP + M(H_2O)} \quad (3.5)$$

onde: TUC = teor de umidade desejado para o colchão (decimal)

MF = massa de fibras úmidas (g)

TU = teor de umidade das fibras (fibras 3% de umidade) (%)

MR = massa da resina a ser adicionada às fibras (g)

TSR = teor de sólidos da resina (decimal)

MEP = massa da emulsão de parafina a ser adicionada às fibras (g)

TSEP = teor de sólidos da emulsão de parafina (decimal)

M(H₂O) = massa de água a ser adicionada (g)

3.10.5 Solução para a encolagem das fibras de bambu

A Tabela 3.10 apresenta a composição dos elementos da solução a ser pulverizada em 952,00g de massa de fibras de bambu a 8% de umidade, 10% de umidade no colchão de fibras e 10% de teor de resina uréia formaldeído para amostras medindo 350 x 350 x 9 mm (largura, comprimento e espessura), correspondendo a uma densidade máxima admitida para um painel tipo *standard*.

⁶ O controle de umidade do colchão auxilia na redução da pressão específica e no aumento da velocidade de transferência de calor para o centro do colchão, sua vaporização no momento da prensagem torna as fibras mais plásticas. Contudo, teor de umidade mais alto tem como desvantagem um aumento do tempo de prensagem. Cada material tem um teor de umidade característico que concilia a boa transferência de calor sem influenciar negativamente na cura da resina (KELLY, 1977).

Tabela 3.10 - Componentes adicionados às fibras de bambu para a encolagem

MASSA DE FIBRA (g)	DOSAGEM DE RESINA (g)	DOSAGEM DO CATALISADOR (g)	QUANTIDADE DE ÁGUA (g)	DOSAGEM DE PARAFINA (g)
952,00	145,00	12,00	35,0	28,00

3.11 PRODUÇÃO DOS PAINÉIS

A Figura 3.25(A, B, C e D) ilustra a seqüência de etapas de preparação e aplicação da resina nas fibras de bambu.

Inicialmente foram pesados em uma balança digital de precisão marca Digimed modelo DG-5000 os componentes da solução a ser pulverizada nas fibras (Fig.3.25-A) e sua respectiva massa (Fig.3.25-B). Na seqüência foi aplicado jato de ar por meio de um soprador marca Bosch modelo GBL 800E para manter as fibras individualizadas (sem grumos) (Fig.3.25-C). Em seguida foi homogeneizada manualmente a solução para a encolagem das fibras e pulverizado através do orifício localizado na tampa do misturador rotativo (Fig. 3.25-D). A aspensão foi feita por meio de uma pistola pneumática modelo Arprex com bico de injeção de 2.5 mm, dispositivo específico para pulverização de materiais de média e alta viscosidade como resinas e colas.



Figura 3.25 – Fluxo de atividades para encolagem das fibras: pesagem dos componentes (A); pesagem da massa de fibra (B); aplicação de jato de ar (C); pulverização dos componentes na fibra (D)

Após a aplicação da resina, as fibras encoladas foram transferidas para outro recipiente. Para desagregar os grumos mecanicamente, utilizou-se de

uma bateadeira. Posteriormente foram espalhadas manualmente dentro de uma caixa formadora de laboratório, sem tampa e sem fundo, com dimensões de 35 x 35 x 35 cm, que corresponde à largura, comprimento e altura (Fig.3.26-A). O colchão de fibras foi então pré-compactado manualmente para a redução do volume em altura, facilitando assim a sua entrada entre os pratos da prensa, além de aumento da área de contato e para melhor transferência de calor entre as fibras (Fig. 3.26-B).

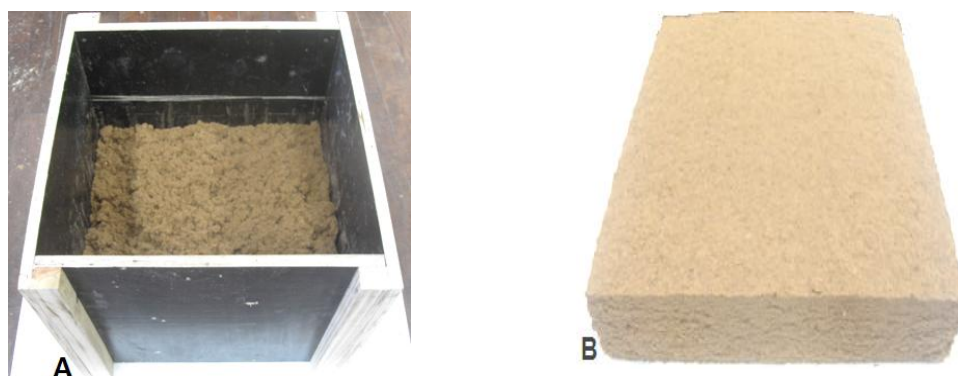


Figura 3.26 – Caixa formadora (A); Colchão de fibras pré-prensado (B).

3.12 CICLO DE PRENSAGEM

A prensagem foi realizada no laboratório de painéis da empresa MOMENTIVE S.A. Para essa atividade foi utilizada uma prensa hidráulica marca PHI com capacidade de até 60 toneladas dotada de aquecimento elétrico, acionada por pistão hidráulico, totalmente automatizado e programável, conforme Figura 3.27.



Figura 3.27 – Prensa hidráulica utilizada na prensagem

A espessura dos painéis foi determinada por um limitador (perfil quadrado de alumínio) medindo 9 x 9 x 500 mm correspondendo a largura, espessura e comprimento, colocados eqüidistante entre a amostra (colchão de fibras) na parte inferior dos pratos da prensa. Antes da prensagem, foram colocadas placas de alumínio de 1,5 mm de espessura com dimensões de 400 x 400 mm para evitar o contato direto do material com o calor dos pratos da prensa. O ciclo de prensagem ocorreu em quatro fases, conforme demonstrado na Tabela 3.11.

Tabela 3.11 – Ciclo de prensagem

FASES	PRESSÃO (Kgf/cm ²)	TEMPO (s)	TEMPERATURA (°C)
1 ^a	40	35	
2 ^a	10	90	150
3 ^a	5	90	
4 ^a	3	120	

Finalizada a prensagem, as amostras foram colocadas em câmara climatizada a uma temperatura de 20°C e umidade relativa do ar a 65% controlada até atingirem peso constante durante 30 dias.

Como a utilização de fibra de bambu para produção de MDF é algo recente e ainda está em fase inicial de pesquisa, são escassas as informações relacionadas ao seu comportamento, parâmetros e procedimentos para a sua encolagem. Sendo assim, a metodologia utilizada no ciclo de prensagem foi baseada em experimentações anteriores do autor, além de informações apresentadas pelo fabricante da resina sobre tempo e temperatura de cura da resina.

3.13 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS

Após a aclimação dos painéis, foram retirados corpos de prova na Marcenaria do Departamento de Desenho Industrial da UTFPR para execução dos ensaios físico-mecânicos. A Figura 3.28 apresenta o painel de MDF (A) e a

posição onde foram retirados os corpos de prova para os diferentes tipos de ensaios (B).

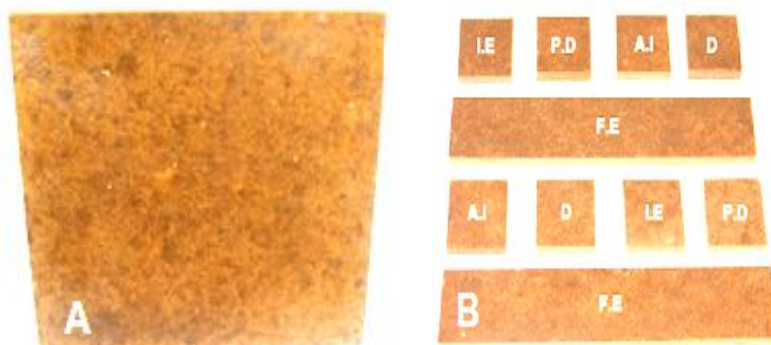


Figura 3.28 – Painel de MDF (A); Localização dos corpos de prova onde foram retirados do painel (B): F.E (flexão estática); I.E (inchamento em espessura); P.D (perfil de densidade); A.I (adesão interna) e D (densidade).

Os procedimento e parâmetros adotados para a execução dos ensaios físicos e mecânicos, bem como números de corpos de prova e suas respectivas dimensões (Tabela 3.12) foram estabelecidos de acordo com a norma NBR 15316-2 (2006).

Tabela 3.12- Ensaio, número de corpos de prova e dimensões

ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS	Número de Corpo de Prova p/ Painel	Total de Corpo de Prova p/ Ensaio	Dimensões (mm)
Densidade de Massa	8	32	50 x 50
Teor de umidade	8	32	
Inchamento e absorção de água em 2 e 24h	8	32	
Resistência à tração superficial perpendicular (Adesão interna)	8	32	
Módulo de Elasticidade (MOE)	4	32	230 x 50 ⁽¹⁾
Módulo de Resistência a Ruptura (MOR)			

Fonte: NBR-15316 PARTE 3: REQUISITOS (2006).

NOTA:⁽¹⁾ A norma estabelece que o corpo de prova para ensaios de (MOE e MOR) deverão ser 20 vezes a espessura da amostra acrescido de 50 mm. A espessura dos painéis para avaliação mecânica desta pesquisa foi de 9 mm.

Para avaliação das propriedades físicas e mecânicas a NBR estabelece indicadores de desempenho baseado em faixas de espessura e condições de uso a que serão submetidos os painéis de MDF. Para avaliação dos requisitos, foi estabelecido para esse estudo, chapas *Standard* de uso geral em condições secas de padrão comercial com espessura entre 9 e 12 mm, especificamente para móveis e interiores. A Tabela 3.13 apresenta os indicadores de desempenho extraídos da NBR-15316 parte 2: Requisitos.

Tabela 3.13 - Requisitos para chapas tipo *standard* para uso geral em condições secas para MDF cru

PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS	Unidade	Espessura nominal (mm) >9,0 a 12,0
		Requisitos
Densidade de massa	Kg/m ³	> 650 e < 800
Teor de Umidade	%	7,0 ± 1,5
Inchamento em 2 e 24 horas	%	15 (Máximo)
Absorção de Água em 24h ⁽¹⁾	%	35% (máximo) ⁽¹⁾
Resistência a tração superficial perpendicular (Adesão interna)	N/mm	0,60 (Mínimo)
Módulo de Elasticidade (MOE)	N/mm	2.500 (Mínimo) ⁽²⁾
Módulo de Ruptura (MOR)	N/mm	22 (Mínimo) ⁽²⁾

Fonte: NBR-15316 PARTE 2: REQUISITOS (2006).

NOTA: ⁽¹⁾ Parâmetros extraídos da European Standard EN 317 (1993); ⁽²⁾ Valores extraídos do mesmo ensaio de flexão estática.

3.13.1 Ensaios para determinação da densidade de massa

A densidade de massa é medida pela relação entre o quociente da massa pelo volume em corpos de prova após a sua estabilização em câmara climatizadora à 20°C e 65% de umidade. Após a pesagem em balança digital

analítica, foram determinadas as medidas de largura e comprimento com paquímetro digital com resolução de 0,01 mm. A espessura foi determinada por micrômetro digital em 5 pontos no corpo de prova (Figura 3.29) com precisão de 0,01 mm, sendo um no centro e os demais nos cantos das amostras.

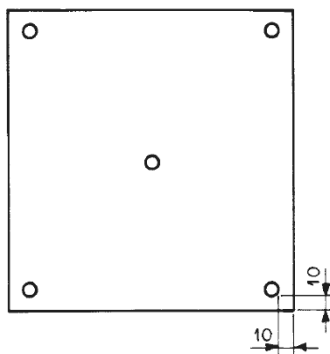


Figura 3.29 – Pontos de medição no corpo de prova.

Fonte: NBR-15316 PARTE 3: MÉTODOS DE ENSAIO.

NOTA: As medidas dos pontos das extremidades da figura são em milímetros

A determinação da densidade foi feita através da equação 3.6.

$$D = \frac{M}{V} \times 10^6 \quad (3.6)$$

sendo:

$$V = L \times C \times E$$

onde: D = densidade do CP (kg/m^3)

M = massa do CP (g)

V = volume do CP (mm^3)

L = largura do CP (mm)

C = comprimento do CP (mm)

E = espessura do CP (mm)

3.13.2 Ensaio para determinação do teor de umidade

O ensaio consiste em determinar a quantidade de água contida um corpo de prova (Pu) submetido à uma temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ até a sua massa se tornar estável (Ps). Após a devida identificação e pesagem em

balança analítica os corpos de prova foram secos em estufa até a sua massa se tornar constante e novamente pesados.

Sua determinação foi calculada através da equação 3.7.

$$TU = \frac{PU - PS}{PS} \times 100 \quad (3.7)$$

onde: TU = teor de umidade (%)

Pu = peso úmido

Ps = peso seco

3.13.3 Ensaio para determinação de inchamento em espessura e absorção de água

As determinações de inchamento em espessura e absorção de água são realizadas após a imersão em água destilada com pH 7 ± 1 , submersos a 25 ± 5 mm de profundidade da superfície a uma temperatura de $20 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 2h e $24h \pm 36$ min. Para a sua determinação os corpos de prova foram pesados em balança analítica e medidos a sua espessura em micrometros digital, com resolução de 0,001 mm, antes e depois da imersão em água.

O inchamento em espessura e a absorção de água foram calculados utilizando as equações 3.8 e 3.9 respectivamente.

$$I = \frac{E_1 - E_0}{E_0} \times 100 \quad (3.8)$$

$$A = \frac{M_1 + M_0}{M_0} \times 100 \quad (3.9)$$

onde: I = inchamento em espessura (%) onde: A = absorção de água (%)

E_1 = espessura final (mm)

M_1 = massa final (g)

E_0 = espessura inicial (mm)

M_0 = massa inicial (g)

3.13.4 Ensaio para a determinação da resistência à flexão estática

Utilizando corpo de prova medindo 20 vezes a sua espessura nominal em comprimento mais 50 mm e largura de 50 ± 1 mm, foram calculados os módulos de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) ambos extraídos no mesmo ensaio de flexão estática. As medições das dimensões dos corpos de prova foram obtidas por paquímetro digital. Para realização deste ensaio, os corpos de prova foram colocados sobre dois apoios da máquina universal de ensaio, sendo que o comprimento do vão é de 20 vezes a espessura do corpo de prova. O incremento na célula de carga foi ajustado para atingir a força máxima em 60 ± 30 segundos no centro do corpo de prova.

Para o cálculo do módulo de elasticidade (MOE), foi utilizada a região linear da curva de leitura da força aplicada *versus* a deformação, através da equação 3.0.

(3.10)

$$MOE = \frac{P_1 \times D^3}{d \times 4 \times B \times E^3}$$

onde: MOE = módulo de elasticidade (MPa)

P_1 = carga no limite proporcional lida no indicador de cargas (N)

D = distância entre os apoios do aparelho (mm)

d = deflexão, em milímetros, correspondente à carga P_1

B = largura do corpo de prova (mm)

E = espessura média tomada em 3 pontos do corpo de prova (mm)

Para o cálculo do módulo de ruptura (MOR) foi utilizado à equação 3.11.

(3.11)

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

onde: MOR = módulo de ruptura (MPa)

P = carga de ruptura lida no indicador de carga (N)

D = distância entre apoios do aparelho (mm)

B = largura do corpo de prova (mm)

E = espessura média tomada em três pontos do corpo de prova (mm)

3.13.5 Ensaio de resistência à tração perpendicular ao plano do painel

O ensaio de resistência à tração perpendicular ao plano do painel ou também conhecido como ensaio de adesão interna, foi realizado com corpo de prova quadrado onde suas faces, coladas em suportes de madeiras, foram tracionadas em direções opostas até romperem-se na região interna. Antes da realização dos ensaios foram medidas as suas áreas (comprimento e largura) com paquímetro digital para o cálculo da força aplicada. O rompimento do corpo de prova foi programado no equipamento para o intervalo de 60 ± 30 segundos. A resistência à tração perpendicular à superfície pode ser calculada pela equação 3.12.

(3.12)

$$TP = \frac{P}{S}$$

onde: TP = resistência à tração perpendicular (MPa)

P = carga de ruptura (N)

S = área da superfície do corpo de prova (mm^2)

3.13.6 Perfil de Densidade

O perfil de densidade com Densitômetro de Raios-X é um método de avaliação rápida, não destrutiva e com precisão acurada. Este ensaio tem como objetivo determinar a variação da densidade na espessura ao longo da amostra. O equipamento é composto de uma fonte de raios-x e um receptor, entre os quais a amostra é posicionada (fixada) por meio de um suporte que se move com uma mecânica de alta precisão, garantindo posicionamento e deslocamento infinitesimalmente exato (IMAL, 2008). O referido ensaio foi realizado com o equipamento *X-ray Density Profile Analyzer* modelo DPX300, Figura 3.30.



Figura 3.30 – Medidor de perfil de densidade por raios-x – (IMAL DPX300)

Fonte: IMAL.IT (2008)

3.13.7 Equipamentos utilizados nos ensaios físico-mecânicos

Os ensaios mecânicos foram realizados em Máquina de Ensaio Universal, marca “EMIC”, modelo DL2000, eletromecânica e microprocessada com capacidade de 2.000 Kgf (20KN) do Laboratório de Anatomia e Qualidade da Madeira - LANAQM da UFPR, atendendo as normas ABNT NBR 15316 parte:3 (2006). Para as medições dos corpos de prova foram utilizados o paquímetro digital marca “Mitutoyo” mod. CD-6B e o micrômetro eletrônico digital marca “Cosa” mod.211-101 e para a pesagem utilizou-se a balança analítica marca *Ohaus Analytical Plus* (Figura 3.31).



Figura 3.31 – Equipamentos utilizados nos ensaios físico-mecânicos.

3.14 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

A metodologia utilizada na análise estatística da parte experimental visou avaliar os diversos tratamentos nos ensaios físico-mecânico e suas correlações, cujas médias foram comparadas por meio de análise de variância e, quando detectada diferença, procedeu-se com a execução do teste de comparações múltiplas de Tukey, a fim de identificar diferenças entre pares de tratamentos (PIMENTEL-GOMES, 2000).

Os pressupostos necessários para a validade da análise de variância foram conferidos por análise gráfica dos resíduos e pela realização dos testes de Shapiro Wilks e de Bartlett, respectivamente, pela checagem dos pressupostos de normalidade e homocedasticidade (MONTGOMERY, 2001).

Nas situações em que tais pressupostos não foram atendidos, optou-se pela realização do teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, seguido, caso detectada a diferença entre tratamentos, pela realização de teste não paramétrico de comparações múltiplas (CAMPOS, 1983). Em todos os testes, as conclusões foram extraídas considerando um nível de significância $\alpha=5\%$.

O programa utilizado para a realização das análises estatísticas foi o software livre *“The R Project for statistical computing”*, disponibilizado sob os termos da GNU *General Public Licence da Free Software Foundation* na plataforma de código aberto.

3.15 ANÁLISE DAS FRATURAS EM MEV E MICROTOMOGRAFIA

Para análise das microestruturas das fibras e as interações após a formação dos painéis, bem como o seu desempenho posterior aos ensaios mecânicos, o presente estudo utilizou um MEV marca Hitachi modelo TM-1000, conforme Figura 3.32.



Figura 3.32 – MEV de bancada para as análises da microestrutura (Hitachi TM-1000).

Fonte: hhtc.ca (2011)

Outro equipamento utilizado para análises e diagnóstico de desempenho foi o microtomógrafo computadorizado marca SkyScan, modelo 1172 (Figura 3.33).



Figura 3.33 – Microtomografo de Raios-X marca (Sky Scan 1172).

Fonte: Embrapa Instrumentação (2003)

3.16 ANÁLISE QUÍMICA POR EDS

Para as análises dos componentes químicos elementares das paredes do colmo, foi utilizado o EDS *Swift ED 3000 X-Ray Microanalysis System* acoplado a um MEV de bancada marca HITACHI modelo TM-3000.

3.17 ANÁLISE DO NÚMERO KAPPA

O número Kappa é uma variável pré-estabelecida pelo processo industrial o qual exerce influência sobre o rendimento do processo e as propriedades da polpa celulósica (ALMEIDA, 2003). As análises foram conduzidas no Laboratório de Química da Madeira e Polpa e Papel da UFPR. O objetivo dessa análise foi medir o grau de deslignificação ou grau de cozimento que é determinado pela oxidação da lignina residual da polpa pelo permanganato de potássio (KMnO_4) em meio ácido e titulação com tiosulfato de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$). A partir do volume consumido de tiosulfato de sódio é possível calcular o valor do número Kappa por meio da aplicação das seguintes equações:

$$K = \frac{\rho \times f}{W} \quad (3.13)$$

$$\rho = \frac{(b - a)N}{0,1} \quad (3.14)$$

Onde: K = Número Kappa

f = Fator de correção do consumo de permanganato a 50% (vide tabela nos anexos para valor de ρ)

w = Peso seco em gramas

ρ = Volume em (mL) de KMnO_4 a 0,1N que reagiu

b = Volume em (mL) de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ consumido pelo branco

a = Volume em (mL) de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ consumido no ensaio

N = Normalidade da solução de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

3.18 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA

As avaliações da estabilidade térmicas das fibras bambu e das possíveis degradações envolvidas na sua preparação pôde ser verificadas por meio de um analisador termogravimétrico SDT (Simultaneous DSC and TGA) marca T.A INSTRUMENTS mod.Q600 (Figura 3.34) com uma rampa de aquecimento de 10 °C/min. em atmosfera inerte com o uso de nitrogênio (N_2) com fluxo de 100mL/min e faixas de temperatura de 0°C a 600°C, equipamento do

Laboratório de Análise Térmicas, Eletroanalítica e Química de Soluções (LATEQS) do Instituto de Química de São Carlos (IQSC/USP).



Figura 3.34 – Analisador termogravimétrico SDT - Simultaneous DSC and TGA (T.A INSTRUMENTS Q600)

Fonte: tainstruments (2011)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ANÁLISES ANATÔMICAS

4.1.1 Análises histológicas

Através da análise visual em microscópio óptico em diversas magnitudes em lâminas permanentes de cortes histológicos transversais e longitudinais do bambu, observou-se a anatomia individual dos feixes vasculares mostrando os vasos grandes, rodeados por células de parênquima, os tubos crivados com células companheiras e os feixes de fibras. Pode-se verificar uma diminuição gradativa na porção do tecido parenquimático, o que fica evidente à medida que os conjuntos de estrutura dos feixes fibrovasculares se aproximam uns dos outros indicando estágio de maturação avançada. A Figura 4.35 apresenta imagem ampliada de um conjunto de feixes de fibras (F) do tipo IV (*Double broken*), com vasos (V) e tecido de parênquima (P) de uma seção transversal do colmo da espécie *Dendrocalamus giganteus* com 5 anos de idade.

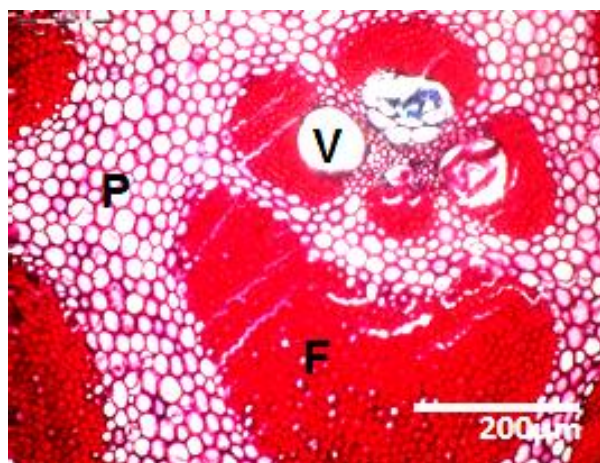


Figura 4.35 – Feixe fibrovascular tipo IV (*double broken*) da seção transversal do *Dendrocalamus giganteus* com 5 anos de idade

O gênero *Dendrocalamus giganteus* apresenta os feixes fibrovasculares distribuídos de acordo com o grupo tipo III (*Broken waist*) e tipo IV (*Double broken*), concordando com Nogueira (2008) e Liese (1998) que demonstram que a espécie estudada apresenta o feixe vascular central com pequena

bainha esclerenquimática e dois feixes isolados de fibras, do lado interno e externo do feixe central, sendo considerados pertencentes ao grupo III (*Broken-Waist*) e grupo IV (*Double broken*) ambos na região da base.

Os colmos do bambu quando novos, até dois anos de idade, possuem maior quantidade de tecido de parênquima e menor concentração de fibras e feixes de fibras. Dentro das análises visuais no microscópio óptico nos cortes transversais nestes anos pode-se perceber: maior porção do tecido parenquimático; elementos anatômicos como o metaxilema, vasos, protoxilema e o floema pouco desenvolvido; feixes fibrovasculares em fase de formação.

A porcentagem de tecidos observada em cada idade é mostrada na Tabela 4.14.

Tabela 4.14 - Porcentagem de tecidos nas diferentes idades.

IDADE (anos)	TECIDOS (%)		
	FEIXES VASCULARES	FIBRA	PARÊNQUIMA
2	16	38	46
3	10	52	38
4	13	51	36
5	16	48	36
6	9	49	42
Média	12,8	47,6	39,6

Os valores médios observados em cada idade estão de acordo com os encontrados na literatura, próximos aos relatados para os bambus por Liese e Grosser (1974), que generalizam as porcentagens em 40% de fibras, 50% de parênquima e 10% de feixes vasculares.

4.1.2 Medições de fibras

O comprimento médio das fibras variou com a idade, sendo o menor comprimento verificado aos 3 anos e o maior aos 6 anos de idade, mostrando-se pequenos aumentos com o decorrer da idade, entretanto, tais variações são consideradas estatisticamente insignificantes. Semelhante modo, também não

foi observado qualquer aumento expressivo na largura da fibra que possa ser atribuída à influência da idade.

Quanto ao diâmetro do lume houve aumentos graduais em relação à idade sendo verificado o maior aumento aos 5 anos, época em que o colmo está no ápice do desenvolvimento, declinando aos 6 anos. Liese (1998) em seus estudos com as espécies *Bambusa arundinacea*, *Dendrolamus latiflorus*, *Melocanna bambusoides* e *Oxytenanthera nigrociliata* atribuiu a este comportamento o início do envelhecimento celular, isso acontece pela sedimentação de camadas de lignina com restos de citoplasma, grânulos de amidos e sílica dentre outros, formando as chamadas camadas verrugosas sobre a superfície do lume (interior das fibras).

A menor média observada para a espessura da parede das fibras foi verificada aos 6 anos e a maior aos 2 anos, não estando associado com a variação da idade. Liese e Weiner (1996) e Murphy e Alvin (1997) tem demonstrado que o processo de maturação das fibras (espessamento das paredes celular, aumento do comprimento e largura das fibras) procede de maneira diferente sobre a seção transversal das paredes do colmo e ao longo da sua extensão. A variação nas dimensões das fibras é mostrada na Tabela 4.15.

Tabela 4.15 - Dimensões médias das fibras de acordo com a idade.

IDADE (anos)	COMPRIMENTO (mm)	DIÂMETRO DO LUME (μm)	LARGURA (μm)	ESPESSURA DA PAREDE (μm)
2	3,39a	6,68a	27,59a	10,46a
3	3,27a	8,00ab	22,65a	7,33b
4	3,43a	8,71ab	24,32a	7,80b
5	3,75a	10,22b	27,70a	8,74ab
6	3,88a	8,43ab	22,64a	7,11b

NOTA: Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si estatisticamente pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Comparando a média dos resultados obtidos por esse estudo aos valores encontrados por Salgado *et al.*(1994), Azzini e Beraldo (2000),

Seethalakshmi *et al.* (1998) e Lwin *et al.*(2000), pode-se inferir que o comprimento das fibras apresentou pequena variação. Contudo, para a espessura de parede, apenas Azzini e Beraldo (2000) obtiveram resultados mais próximos. Para a largura de parede, o resultado encontrado pelo autor, foi significativamente maior. A Figura 4.36 apresenta um resumo comparativo dos resultados obtidos por autores anteriormente citados nas medições das fibras do *Dendrocalamus giganteus*.

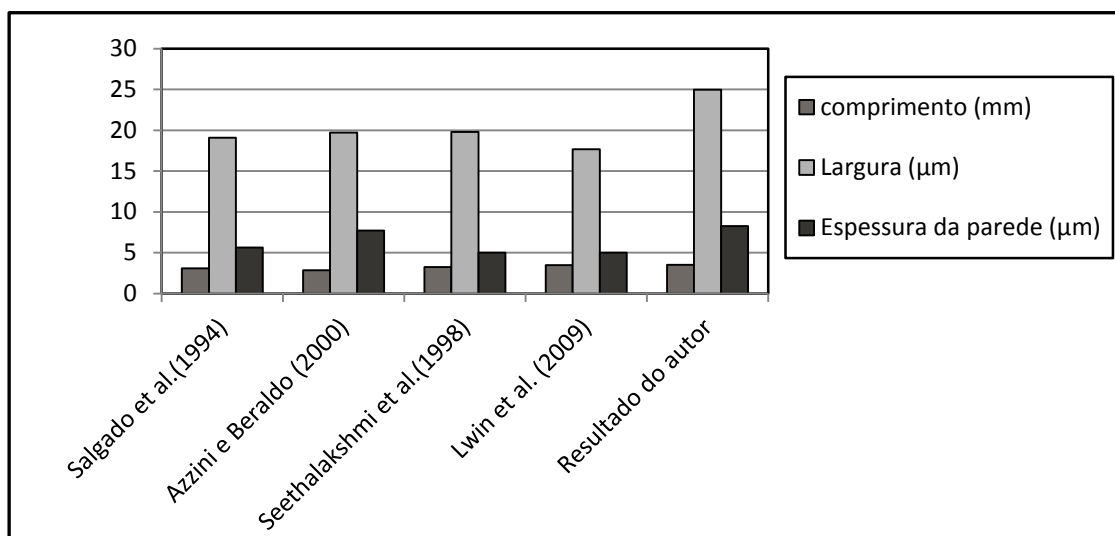


Figura 4.36- Resumo comparativo dos valores encontrados para dimensões das fibras do *dendrocalamus giganteus*.

Comparando os resultados obtidos do autor com os de Lwin *et al.*(2000) que estudaram *Dendrocalamus giganteus* procedentes da Ásia, região de Wabe, com três anos de idade e encontraram valores médios de comprimento de fibra (3,49 mm), largura da fibra (17,68μm) e variação na espessura da parede (2,5 a 7,5μm) verifica-se que estão próximos, ressaltando-se que existe influência na posição do colmo, local de crescimento e variação climática (LIESE, 1998).

Ao analisar as dimensões das fibras (comprimento e largura), observou-se um declínio do segundo para o terceiro ano. Verificou-se que há uma variação na porcentagem de tecidos (feixes de fibras, fibras e tecido parenquimático), também se observou uma grande variação no comprimento e na espessura das fibras, isso denota que nestas idades (dois e três anos) os colmos ainda estão em fase de desenvolvimento.

Para o restante das idades, ou seja, quatro, cinco e seis anos pode-se verificar que há uma tendência à diminuição da porção do tecido parenquimático e aumento dos elementos dos feixes fibrovasculares, conforme pode ser observado na Tabela 4.14 do tópico 4.1.1 Análises histológicas. Essa tendência em estabilizar, pode ser percebida a partir dos quatro anos de idade. Esse processo de mudança nas estruturas das fibras e células parenquimáticas é apresentado pelo espessamento de suas paredes celulares pela deposição adicional de lamelas sobre as camadas de paredes existentes com subsequente lignificação (ABD.LATIF, 1993).

Quanto às melhores relações entre o comprimento, largura e espessura das fibras, os colmos de cinco anos de idade demonstraram ter os melhores resultados, conforme dados avaliados na Tabela 4.15. Para efeito desse estudo foram considerados os colmos com 5 anos de idade os mais apropriados para fabricação das amostras de painéis de MDF. A Figura 4.38 apresenta imagem de MEV de uma parede celular da fibra de bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus* com 5 anos de idade, material de onde foram obtidas as fibras para a produção das amostras dos painéis experimentais.

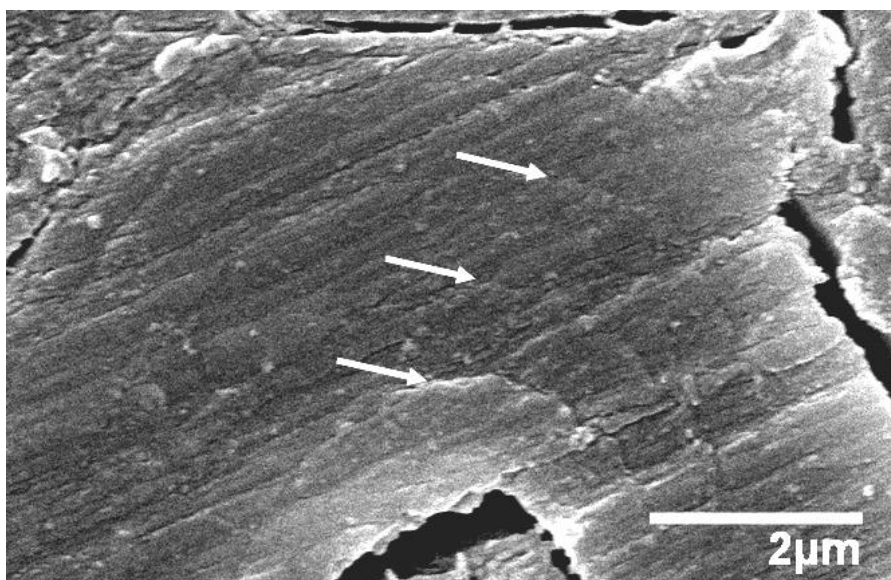


Figura 4.37 – Corte transversal da fibra do *Dendrocalamus giganteus* com 5 anos de idade apresentando algumas camadas de parede celular

Analisando a imagem acima, visualmente pode ser identificado, conforme indicado na figura, algumas camadas de paredes celulares com a espessura relativamente desenvolvida, sendo o diâmetro do lume e a espessura da parede das fibras com 5 anos de idade os maiores valores encontrado dentre todos os anos (vide Tabela 4.15). Dentro destas condições é possível afirmar que a idade da espécie em estudo corresponde a uma planta com estágio avançado de maturação e lignificação, o que também foi observado nos estudos Liese (1998) e Chun (2003).

Portanto, qualquer que seja a utilização do bambu é prudente utilizar o corte seletivo, ou seja, escolher os colmos de acordo com a idade e a finalidade de sua utilização (LIESE, 1985).

4.2 ANÁLISES QUÍMICAS DOS COLMOS EM DIFERENTES IDADES

A tabela 4.16 apresenta a média dos resultados obtidos nas análises químicas dos entrenós do *Dendrocalamus giganteus* retirados próximo da base (até 2 metros de altura) em idades de 2 a 6 anos.

Tabela 4.16 - Análises químicas do bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus* da região de Bauru (São Paulo - Brasil) em idade de 2 a 6 anos

IDADE (anos)	Extrativos em água quente (%)	Extrativos em água fria (%)	Extrativos em NaOH (%)	Extrativos em Etanol Tolueno (%)	Extrativos Totais (%)	Teor de Cinzas (%)	Teor de Lignina (%)
2	12,04a	10,25a	25,72a	10,91a	12,91a	0,74a	22,66 ^a
3	9,62ab	7,96b	24,04be	7,30b	9,21bc	1,09b	22,77 ^a
4	7,06bc	4,61c	21,01bc	7,93bc	10,27b	0,66ac	23,48 ^a
5	10,02ab	8,14b	21,64bcd	6,32bcd	9,93b	0,64ac	24,11 ^a
6	7,25c	4,86c	20,17e	4,61d	7,87c	0,84a	23,28a

NOTA: Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si estatisticamente pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Os maiores teores de extrativos em água quente, água fria, NaOH, etanol tolueno e extrativos totais foram obtidos nas análises das amostras com

dois anos de idade, enquanto os menores teores de extrativos em água quente, água fria e NaOH foram obtidos aos quatro anos, e extrativos em etanol tolueno e totais aos seis anos. No caso do teor de cinzas a idade de três anos apresentou o maior percentual médio, e em relação ao teor de lignina nos bambus com cinco anos que apresentaram maiores percentuais.

Os resultados obtidos para a porcentagem de extrativos em água quente, água fria e totais, além do teor de cinza, não apresentaram relação direta com a idade. A porcentagem de extrativos em NaOH e em etanol tolueno diminuíram com o aumento da idade, o que indica a influência do tipo de extrativo que compõe a espécie em estudo.

O teor de lignina não sofreu influência da idade, o que comprova as informações da literatura. Pereira e Beraldo (2007) relatam que a porcentagem deste componente estabiliza depois da maturidade, em torno de um 1 ano de idade, dependendo da espécie.

A Figura 4.38 apresenta as análises químicas do bambu *Dendrocalamus giganteus* publicadas pela *Plant Resources of Tropical Africa* (PROTA, 2010), da região de Madagascar (África), sem identificação de idade e dos estudos de Lwin *et al.*(2000) com a mesma espécie com três anos de idade da região de Wabo (Mianmar). Os dados foram comparados com os resultados das análises químicas realizadas pelo autor, onde pode verificar diferentes composições para a mesma espécie.

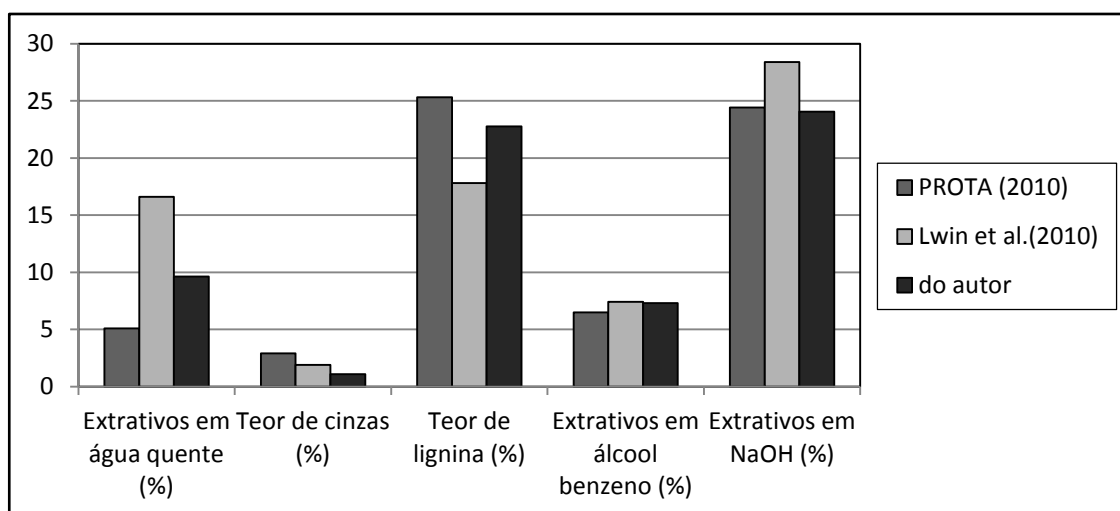


Figura 4.38 - Resumo das análises químicas realizadas com o *Dendrocalamus giganteus* em diferentes regiões.

A composição química do *Dendrocalamus giganteus* obtida neste estudo avaliando diferentes idades, apresenta variações em relação a outros estudos (Figura 4.39), o que pode ser justificado em função das condições de crescimento das touceiras, tais como: disponibilidade de nutrientes do solo, fatores climáticos, a idade dos colmos, região do colmo analisada e a estação do ano em que foi efetuada a coleta. Fato evidenciado nos estudos Qisheng *et al.* (2001) quando analisou as variações da composição química em diferentes idades do bambu da espécie *Phyllostachys pubescens*, conforme pode ser verificado na Tabela 2.6 do tópico 2.9 sobre as propriedades químicas. Também fica demonstrado nas investigações de Lwin *et al.* (2000) que até na mesma espécie, em locais diferentes, a composição química não obedece um padrão específico.

4.2.1 ANÁLISE DOS ELEMENTOS INORGÂNICOS POR EDS

Por meio de EDS foram realizadas as análises da composição química das amostras de bambu com 5 anos de idade. A Figura 4.39 apresenta os resultados obtidos da microanálise indicando a presença de elementos inorgânicos como o Potássio (K), Cloro (Cl), Magnésio (Mg), Alumínio (Al), Silício (Si), Fósforo (P), Enxofre (S) e Cálcio (Ca) encontrados na parede da seção transversal da amostra.

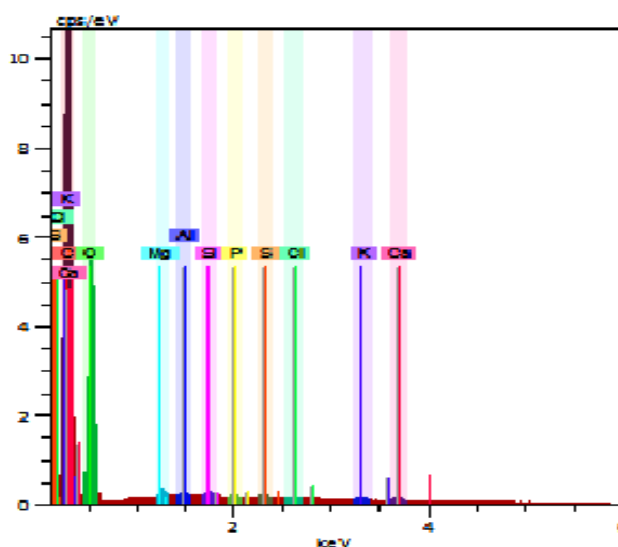


Figura 4.39 – Elementos inorgânicos detectados em microanálises de EDS em uma amostra de bambu com 5 anos de idade.

A Figura 4.40 apresenta imagem de MEV com um mapeamento em cores da região central da parede do colmo do *Dendrocalamus giganteus* com 5 anos de idade na seção transversal. Nele estão indicados por meios de cores os elementos inorgânicos detectados pela microanálise via EDS da mesma amostra. De acordo com o mapeamento pode-se inferir que a maior concentração presente em todas as regiões é o Silício (Si) e depois o Cálcio (Ca), enquanto que as menores foram o Cloro (Cl)⁷, Enxofre (S), Fósforo (P), Potássio (K), Alumínio (Al) e Magnésio (Mg). Tais análises vêm comprovar as afirmações de autores como Liese (1998), Chen e Qin (1985) e Higuchi (1990) que declaram que no teor de cinzas do bambu, o principal elemento é o silício, sendo este superior aos das madeiras.

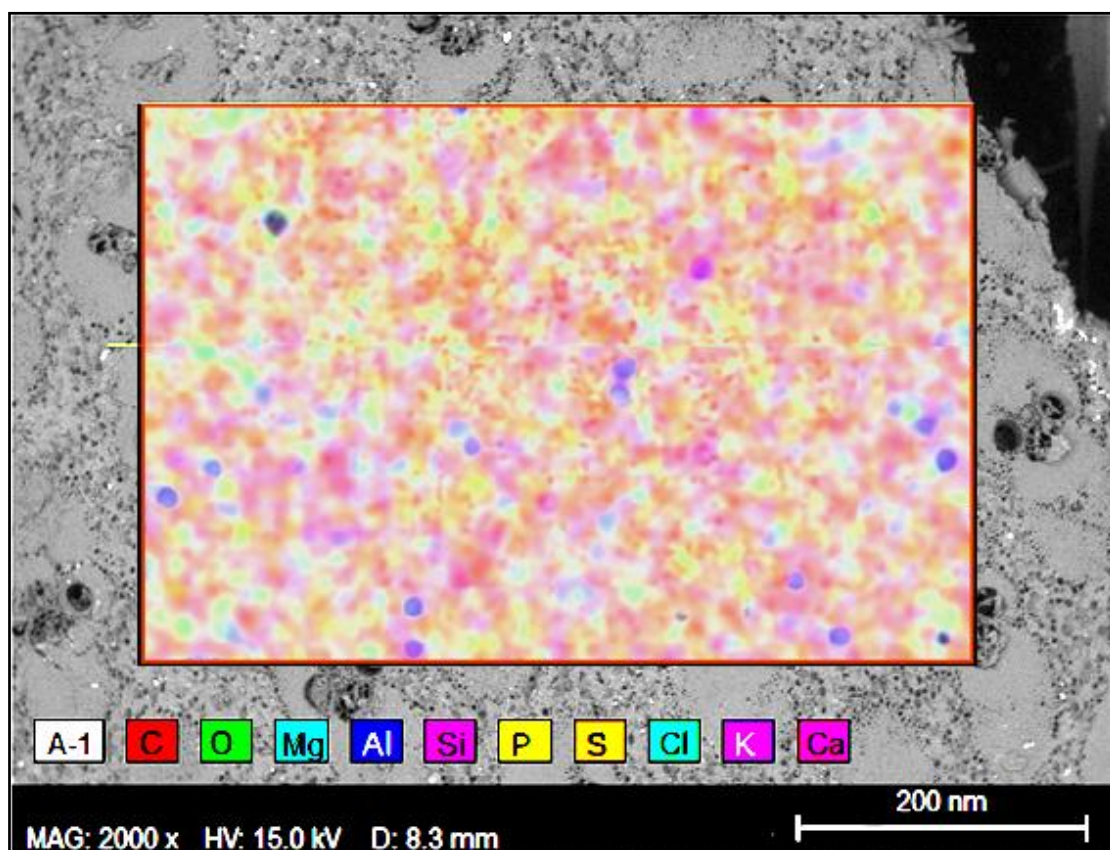


Figura 4.40 – Mapeamento em cores com a localização dos elementos inorgânicos detectados nas microanálises de EDS sobre uma imagem de MEV da parede da seção transversal de um colmo de *Dendrocalamus giganteus* com 5 anos de idade.

⁷ Contaminação decorrente da preparação da amostra (cozimento) para posterior corte no micrótomo de deslize.

4.2.2 NÚMERO KAPPA *versus* RENDIMENTO BRUTO

O conhecimento da composição química das matérias-primas fibrosas, principalmente dos seus constituintes principais como hemicelulose, celulose, lignina e extrativos é importante para entender e interpretar sobre os fenômenos que ocorre no processo de polpação, assim como para determinar a qualidade final da polpa produzida (CORREIA, 2011).

O rendimento bruto no final do processo de polpação expressa a quantidade de polpa obtida sem levar em consideração o teor de rejeitos ainda presente.

O gráfico 4.01 apresenta o número kappa dos diversos tratamentos no processo de polpação correlacionando com os respectivos rendimentos brutos obtidos.

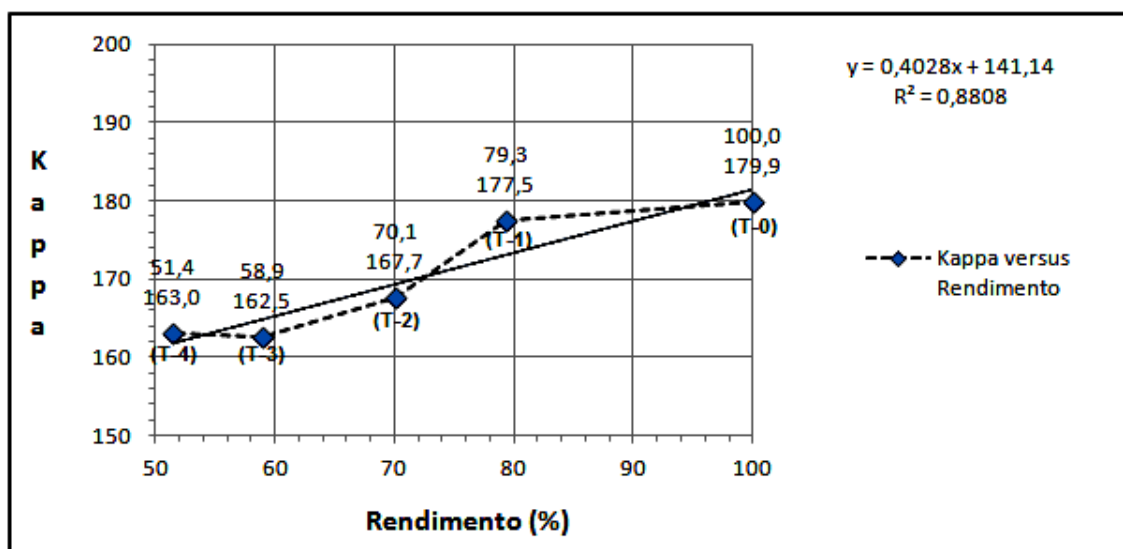


Gráfico 4.01 – Número Kappa *versus* Taxa de Rendimento Bruto nos diversos tipos de tratamentos.

NOTA: ^(T-0) Número Kappa extraído das fibras do pinus obtida de processos industriais, para efeito comparativo adotou-se 100% de rendimento; ^(T-1) Tratamento com 4% de NaOH a uma Temperatura de 140°C durante 20 minutos; ^(T-2) Tratamento com 4% de NaOH a uma Temperatura de 160°C durante 40 minutos; ^(T-3) Tratamento com 8% de NaOH a uma Temperatura 160°C durante 40 minutos; ^(T-4) Tratamento com 8% de NaOH a uma Temperatura de 180°C/dur.60 minutos.

Como pode ser observado no gráfico 4.01, entre os tratamentos T-4 e T-3 praticamente não houve nenhuma diferença significativa quanto ao teor de

lignina residual, contudo, o rendimento bruto obtido foi um pouco maior passando de 51,4% para 58,9%. O uso de 8% de álcalis e a redução do tempo de cozimento de 60 para 40 minutos contribuíram com um aumento de 7,5% no rendimento bruto.

Dentre os tratamentos T-3 e T-2 foi observado que o rendimento bruto foi ainda melhor que os anteriores, passando de 58,9% para 70,1%, resultando em um aumento de 11,2%. O número Kappa também aumentou passando de 162,5 para 167,7. A redução de 8% para 4% de carga de álcalis no cozimento dos cavacos e manutenção da temperatura (160°C) e tempo de cozimento (40 min), também contribuiu para obter melhorias no rendimento. Cardoso (2002) coloca que cozimentos com maiores valores de número Kappa consomem menores quantidades de álcalis.

Entre tratamentos T-2 e T-1 foram obtidos os maiores índices de lignina residual, o número Kappa passou de 167,7 para 177,5. O rendimento bruto também passou de 70,1% para 79,3%, um aumento de 9,2%.

Correia (2011) analisando o rendimento do processo de polpação organossolve de bambu concluiu que a diminuição do rendimento em polpa está relacionada com o aumento da temperatura e do tempo de polpação, o que ficou evidenciado no presente estudo.

4.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS PROCESSOS TERMOMECÂNICO E QUIMOTERMOMECÂNICO PARA PRODUÇÃO DAS FIBRAS DE BAMBU

A faixa de temperatura de 140 a 180°C, utilizada nas avaliações, é o intervalo em que a lignina (polímero amorfo) começa a solubilizar e se apresenta frequentemente como material amolecido e pegajoso, a chamada transição vítrea (BELINI, 2007). Acima desta faixa de temperatura a estrutura das camadas da parede celular começa a ser comprometida e a degradar rapidamente, ocorrendo o rompimento da lamela média e da parede primária da fibra. A Figura 4.41-A apresenta imagem de MEV da superfície da fibra do *Dendrocalamus giganteus* submetido a uma temperatura de 180°C de cozimento durante 30 min. com 15 min. de refino no processo termomecânico,

nela pode ser observada a presença de multicamadas microfibrilares em processo de desfibrilamento. A Figura 4.41-B exibe uma visão geral do aspecto das fibras submetidas ao mesmo processo, também é possível observar várias fibras não individualizadas, ainda em feixes, e outras danificadas pela ação mecânica, além da presença de elementos de parênquimas e vasos aderidos à superfície das paredes das fibras.

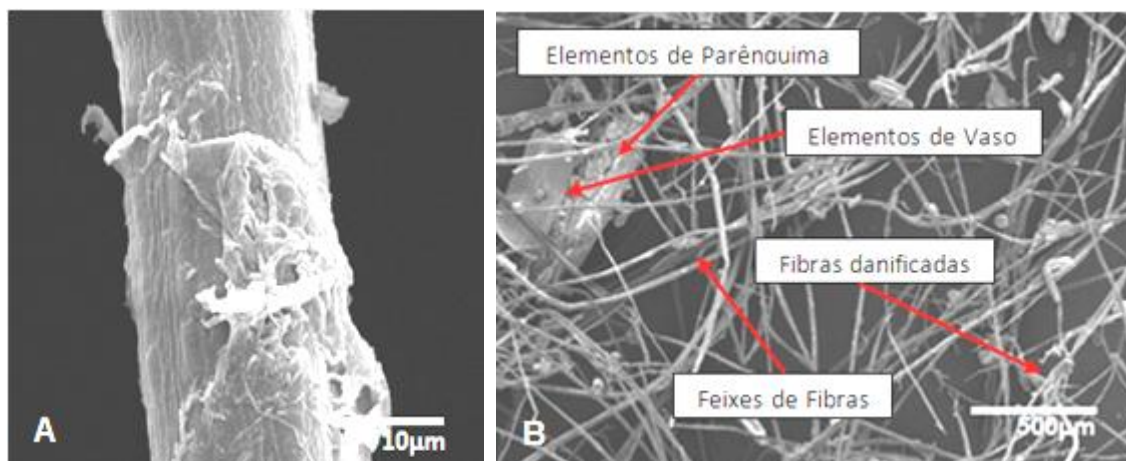


Figura 4.41 – Imagens de MEV da parede da fibra com a presença das multicamadas de microfibrilas expostas (A) e aspecto geral das fibras após serem submetidos ao processo termomecânico (B).

De modo semelhante foi observado que a queda da temperatura entre as etapas de cozimento e desfibramento exerce um efeito negativo na qualidade da fibra. Assim sendo, foi adicionado água (hidromódulo) a uma temperatura aproximada de 55°C no reservatório do refinador para retomada da temperatura dos cavacos, reduzindo o esforço dos discos sobre os cavacos no momento da polpação e melhorando a flexibilidade das fibras. Em relação à duração do desfibramento, foi fixado um tempo médio de 15 minutos. Myers (1983) explica que a ação mecânica mais prolongada colabora para a perda da qualidade das fibras, ou seja, deterioração das paredes das fibras, isto interfere no rendimento produzindo elevados teores de fino e no aumento no consumo de resina na produção dos painéis.

Após serem avaliados diferentes parâmetros de tempo e temperatura no processo de polpação termomecânica, foi observado que, sem o uso de um hidromódulo alcalino, apenas o efeito da temperatura é insuficiente para

promover uma deslignificação satisfatória capaz de romper as paredes da lamela média e suas multicamadas microfibrilares, sem danificar excessivamente as paredes das fibras.

O melhor resultado alcançado para esse estudo em termos de qualidade da fibra foi por meio do processo quimotermomecânico (T-1) nos seguintes parâmetros: 4% de NaOH; temperatura de cozimento de 140°C; pressão de 5 bar (5,1 Kgf/cm²); duração de cozimento de 20 minutos; hidromódulo de 1,5 l/kg e o tempo de refino de 15 minutos. Tais parâmetros de tempo e temperatura ficaram próximos aos que Iwakiri (2005) sugere para desfibramento termomecânico para o pinus, contudo, os rendimentos obtidos neste estudo foram menores, vide gráfico 4.01.

A adição de reagentes químicos, principalmente os alcalinos, junto com a aplicação de alta pressão de vapor auxilia na quebra das ligações de lignina, principal componente da parede celular, retirando parte da lignina solubilizada pela temperatura facilitando a individualização das fibras pela dissolução da lamela média (Ramos, 2003), contudo, a hidroxila do NaOH é um reagente oxidante não seletivo que pode degradar a hemicelulose e a celulose. Seu monitoramento é fundamental para não danificar e fragilizar as paredes celulares no momento do cozimento, evitando a perda de qualidade das fibras, baixos rendimentos e excessivas quantidades de finos (FOELKEL, 2009). Almeida (2003) associa o teor de finos ou rejeitos às características intrínsecas da matéria prima e aos parâmetros do processo de polpação, especialmente o tempo de cozimento, temperatura de impregnação dos cavacos pelo hidromódulo e a carga de álcalis.

Após os desfibramentos, diferenças acentuadas foram observadas em relação à coloração das fibras. O tratamento T-1 (Figura 4.42-A) resultou em fibras mais claras devido à aplicação de condições mais brandas. No tratamento T-4 (Figura 4.42-B) foram evidenciadas fibras mais escuras devido à aplicação de condições mais severas (maiores temperatura, tempo de cozimento e percentual de álcalis).

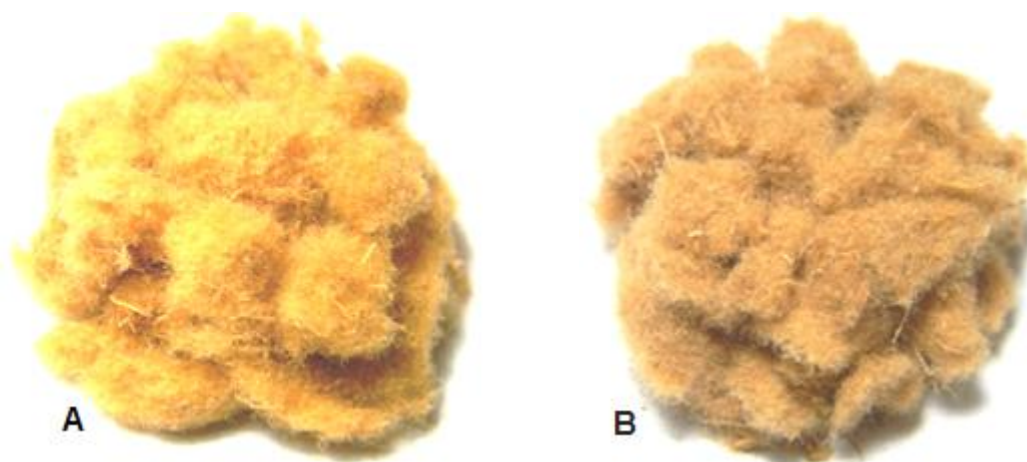


Figura 4.42 – Aspecto visual das fibras após o desfibramento em diferentes condições: Tratamento T-1 (A) e T-4 (B).

Belini (2007) ao analisar as características e as alterações nas estruturas anatômica das fibras de *Eucalyptus grandis* sob três diferentes condições de desfibramento observou que as fibras processadas em condições mais intensas – maiores temperaturas e tempo de digestão resultaram em material fibroso com coloração mais intensa devido ao escurecimento da lignina.

De modo geral, a extração da hemicelulose e lignina por soluções alcalinas provocam modificações químicas nas fibras. Estas alterações começam a ser significativas quando se realizam tratamentos com soluções mais concentradas e desta forma as paredes celulares sofrem alterações estruturais, afetando as propriedades físicas e mecânicas (TITA *et al.*, 2002).

A Figura 4.43 apresenta imagem de MEV do melhor resultado na obtenção de fibras pelo processo quimotermomecânico, no qual pode ser observada maior quantidade de fibras individualizadas com aspecto mais homogêneo. Contudo, observou-se a tendência ao enovelamento, dificultando o espalhamento da resina no momento da pulverização, situação essa amenizada por meio da aplicação de jato de ar (ambiente de turbulência) no momento da encolagem e pela separação criteriosa dos grumos por meios mecânicos após a encolagem.

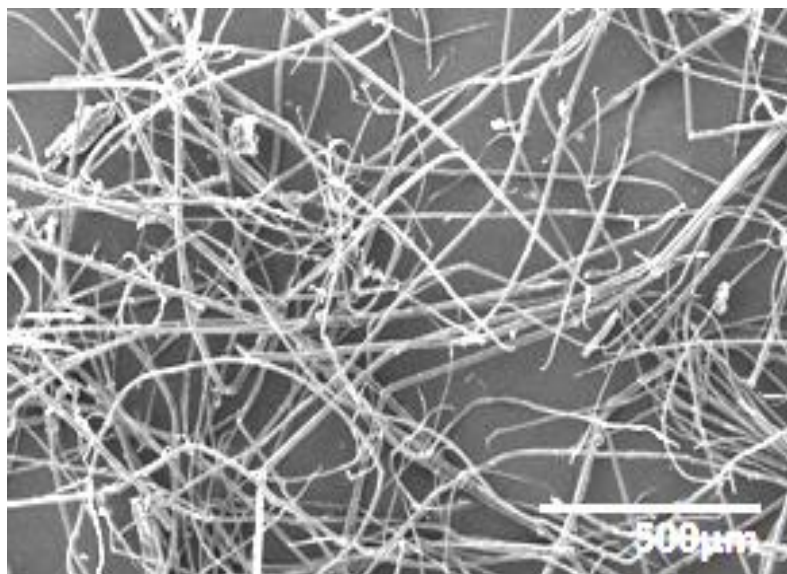


Figura 4.43 – Imagem de MEV do aspecto geral das fibras de bambu após o desfibramento quimotermomecânico.

A Figura 4.44 apresenta uma imagem de MEV da parede externa da fibra após o tratamento quimotermomecânico em que pode ser verificado que a lamela média e as multicamadas de microfibrilas foram parcialmente retiradas sem prejuízo da parede primária da fibra.

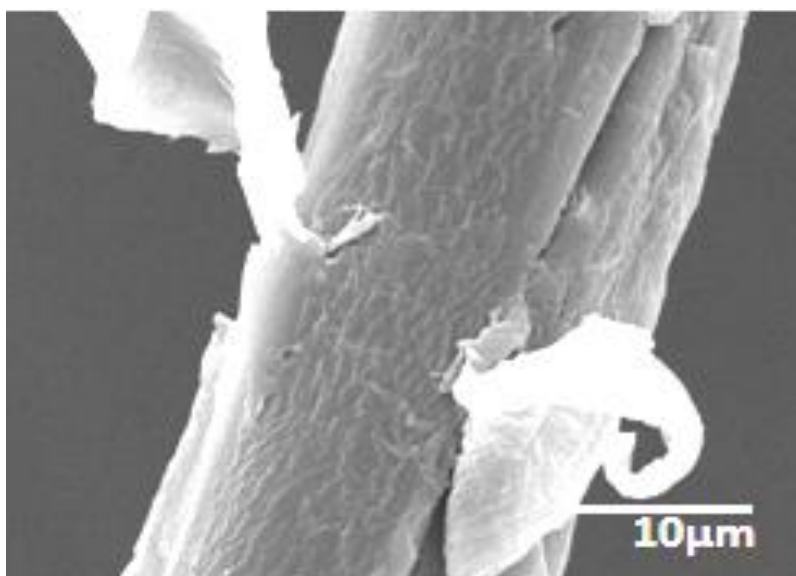


Figura 4.44 – Efeito do tratamento quimotermomecânico sobre a lamela média e nas multicamadas de microfibrilas da parede externa da fibra do *Dendrocalamus giganteus*.

4.4 ANÁLISES DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DOS PAINÉIS DE MDF DE BAMBU

4.4.1 PROPRIEDADES FÍSICAS

4.4.1.1 Densidade de massa

A densidade de massa é uma propriedade que está diretamente ligada ao desempenho físico-mecânico, tanto nas madeiras maciças como nos painéis a base de madeira transformada.

A Tabela 4.17 apresenta o valor médio e o desvio padrão de densidade de massa nos diferentes tipos de tratamentos em painéis de MDF de bambu.

Tabela 4.17 - Valor médio e o desvio padrão de densidade de massa dos painéis de MDF nos diferentes tipos de tratamentos

DENSIDADE DE MASSA Kg/m ³	TRATAMENTOS			
	T - 1	T - 2	T - 3	T - 4
Média	846,15a	783,98b	845,00a	763,06b
Desvio Padrão	38,07	44,50	17,99	47,38

NOTA: Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si estatisticamente pelo Teste de Tukey ao nível de 0,1% de significância.

Analisando a Tabela 4.17 pode-se concluir que o tratamento T-1 apresentou o maior valor de densidade entre todos os tratamentos com 846,15 Kg/m³ seguido por uma pequena diferença em T-3 com 845,00 Kg/m³, entretanto, ambos não tiveram diferenças estatísticas. Em T-4 foi obtido o menor resultado com 763,06 Kg/m³, contudo, o desvio padrão foi um dos maiores valores, sugerindo amostras com maiores variabilidades (Gráficos B-1 anexos). Os tratamentos T-2 e T-4 tiveram suas densidades médias dentro dos requisitos da norma NBR 15316-2 (2006) não tendo nenhuma diferença estatística.

Em relação à variação da densidade massa, Eleotério (2000) explica que um dos fatores determinantes para o aumento da espessura em seu experimento foi o baixo teor de resina em algumas regiões do painel e a

dispersão da massa de fibra no momento da prensagem. Após o alívio da pressão e a perda de plasticidade das fibras com o resfriamento do painel, normalmente há um pequeno aumento na espessura, inferior a um milímetro, justificado pela acomodação das fibras em regiões com baixos teores de resina. Tal comportamento também foi observado em todos os painéis de MDF de bambu, provavelmente devido à falha de adesão entre as fibras diminuindo as regiões de contato e a liberação das tensões após a prensagem.

Myers (1983) explica algumas maneiras de melhorar a estabilidade dimensional dos painéis. Uma delas é aumentar o conteúdo de resina nas camadas mais externas à superfície do colchão de fibras ou a quantidade total de resina e/ou combinando diferentes tipos de resina, como por exemplo, uma termoplástica com fenólica.

4.4.1.2 Perfil de densidade por Densitometria de Raios-X

Considerada como uma das mais importantes técnicas não destrutivas de análises a nível industrial, a Densitometria de Raios-X permite avaliar a qualidade dos painéis de madeira reconstituída e das madeiras em geral. Sua determinação é um importante parâmetro para medir a qualidade dos produtos e a aplicação final. Neste ensaio é analisada a variação da densidade ao longo da espessura do corpo de prova. A Tabela 4.18 apresenta um resumo das análises do perfil de densidade em diversas posições e os respectivos coeficientes de variações.

Tabela 4.18 – Perfil de densidade média obtido por Densitometria de Raios-X

Tratamentos	Dens.Max. Esq. (Kg/m³)	Dens.Min. Esq. (Kg/m³)	Dens.Média (Kg/m³)	Dens.no Centro (Kg/m³)	Dens.Max. Direita (Kg/m³)
T-1	927	787	801	804	888
T-2	945	878	837	930	994
T-3	876	861	837	870	933
T-4	931	801	814	866	914

Analisando os valores encontrados nos diversos tratamentos, pode-se afirmar que houve significativas diferenças nas bordas, variando de 876 a 945 Kg/m³ na região esquerda e 888 a 994 Kg/m³ na região da direita. Comportamento diferente foi observado na região central, onde os valores foram semelhantes aos da densidade média, com exceção do tratamento T-2 com pico de maior densidade entre 945 Kg/m³ e 994 Kg/m³ e o menor 878 Kg/m³ na região mais a esquerda, como pode visualizado no gráfico ilustrativo 4.2.

Os gráficos 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5 apresentam o perfil de densidade medidos em espessura ao longo do corpo de prova nos 4 tipos de painéis, ou seja, T-1, T-2, T-3 e T-4 respectivamente.

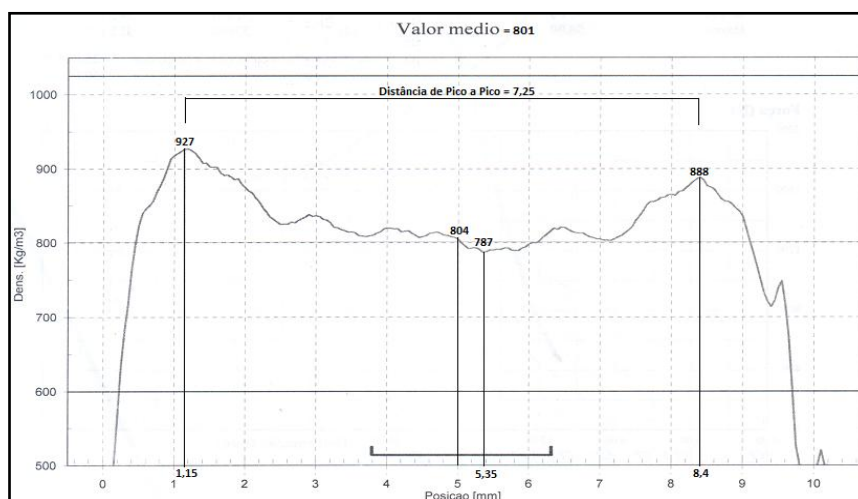


Gráfico 4.02 – Valor médio do perfil de densidade no tratamento T-1.

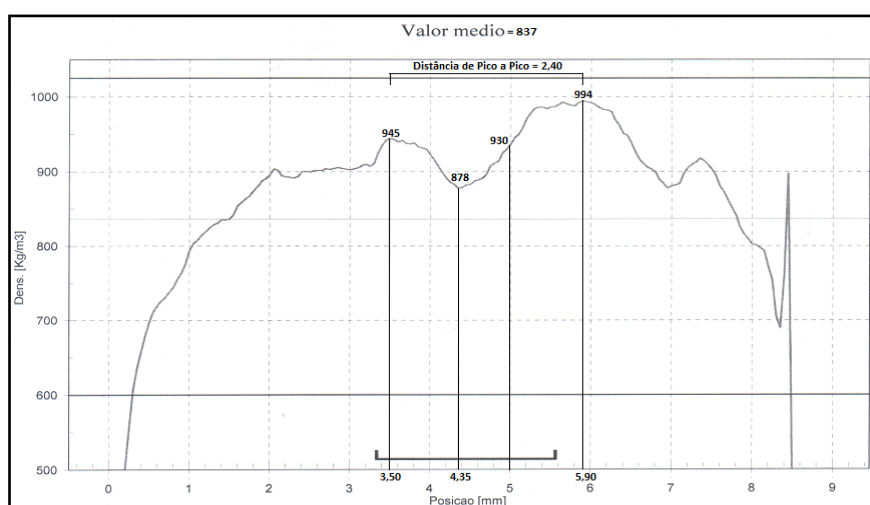


Gráfico 4.03 – Valor médio do perfil de densidade no tratamento T-2.

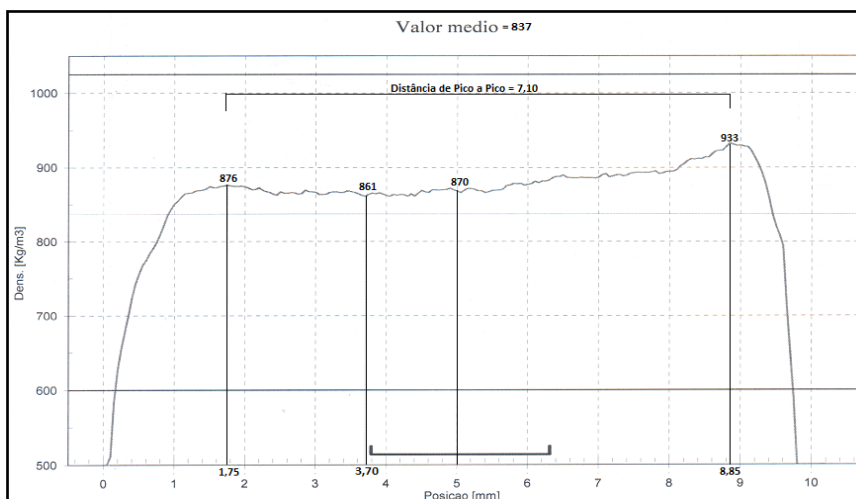


Gráfico 4.04 – Valor médio do perfil de densidade no tratamento T-3.

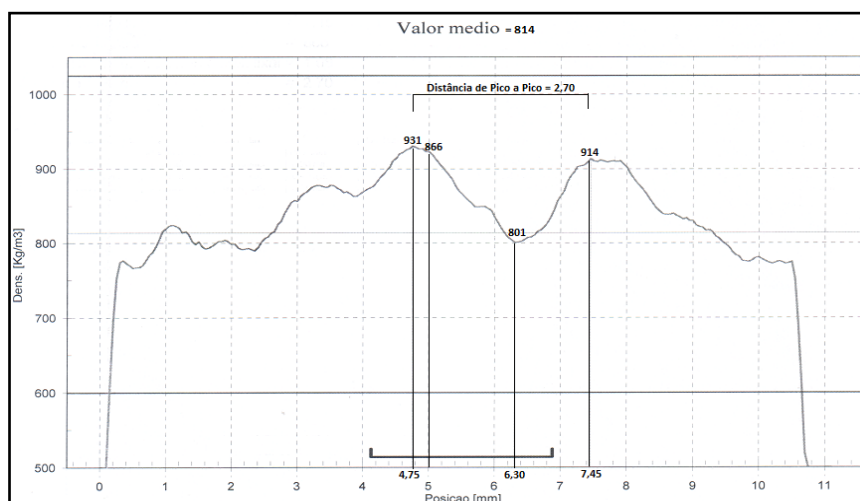


Gráfico 4.05 – Valor médio do perfil de densidade no tratamento T-4.

Observando o desempenho das curvas do perfil de densidade nos painéis T-1, T-2, T-3 e T-4 é possível concluir que o painel T-1 se assemelha ao comportamento dos painéis de pinus avaliados por outros autores (ELEOTÉRIO, 2000; TORQUATO, 2008; FERREIRA, 2010) cuja densidade se apresenta maior nas extremidades. Em relação à distribuição da densidade, o painel T-3 se destacou com mais homogeneidade superficial indicando uma melhor conformação e interação entre as fibras e a resina.

4.4.1.3 Teor de umidade

O valor médio e o desvio padrão do teor de umidade obtidos nos diversos tratamentos estão expostos na tabela 4.19.

Tabela 4.19 – Média dos valores obtidos no teor de umidade nos diversos tipos de tratamentos.

Teor de umidade (%)	TRATAMENTOS			
	T- 1	T- 2	T- 3	T- 4
Média	4,33 a	3,79 abc	3,38 bd	3,72 cd
Desvio Padrão	0,25	0,06	0,14	0,18

NOTA: Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ao nível de 0,1% de significância.

Após o período de estabilização dos painéis foi possível verificar que o teor de umidade nos diversos tratamentos variou entre 3,38 e 4,33%, estando dentro dos limites estabelecidos pela NBR-15316 (2006).

Os painéis T-1 e T-2 elaborados com 4% de álcalis, divergindo nos tempos e temperaturas de cozimento, não tiveram diferença estatística, sendo a maior média encontrada em T-1 com 4,33%. Igualmente foram observados os painéis T-2 e T-3, produzidos com os mesmos tempos e temperaturas de cozimento e diferindo nos teores de álcalis com 4 e 8%, respectivamente, também não houve diferença estatística significativa, sendo a menor média encontrada no painel T-3, este com 3,38%. Comparando estes resultados, observa-se que o aumento nos percentuais de álcalis teve influência na diminuição do teor de umidade.

Para os painéis T-2 e T-4 com percentuais de álcalis de 4 e 8%, respectivamente, foram mínimas as diferenças entre suas médias, também não diferiram estatisticamente. A provável justificativa para este comportamento aponta para compensações entre o tempo e a temperatura, ou seja, menor tempo de cozimento e compensado por maior temperatura ou vice-versa.

4.4.1.4 Inchamento em Espessura e Absorção de Água

Os resultados dos ensaios de absorção de água e inchamento após os períodos de 2 e 24h estão indicados na Tabela 4.20.

Tabela 4.20 – Valores médios de absorção de água e inchamento nos períodos de 2 horas e 24 horas de painéis de MDF de bambu

Tratamentos	ABSORÇÃO DE ÁGUA (2 horas) ^{ns}		ABSORÇÃO DE ÁGUA (24 horas) (*)		INCHAMENTO DE ÁGUA (2 horas) (**)		INCHAMENTO DE ÁGUA (24 horas) (*)	
	Médias	Desvio Padrão	Médias	Desvio Padrão	Médias	Desvio Padrão	Médias	Desvio Padrão
T-1	5,53	0,59	28,00 a	2,25	4,87 a	1,12	21,74 a	2,11
T-2	5,17	0,90	23,09 b	3,19	6,53 b	0,87	17,46 b	1,81
T-3	5,05	0,77	17,14 c	2,23	5,74 ab	1,44	16,09 b	0,89
T-4	4,57	0,47	14,91 c	1,57	4,96 a	0,87	11,38 c	1,69

NOTA: (ns) indica não existência de diferença estatística entre tratamento ao nível de significância de 5%. (*) indica significância ao nível de 0,1%. (**) indica significância ao nível de 5%.

Avaliando os valores apresentados nos ensaios de absorção de água em 24h, todos os painéis estiveram dentro dos limites estabelecidos pela norma EN 317 (1993). Em relação aos resultados de inchamento em espessura, apenas o tratamento T-4 esteve dentro dos critérios da NBR 15316 (2006).

De acordo com os resultados da Tabela 4.20, analisando individualmente cada tratamento em relação aos seus respectivos ensaios de absorção de água em 24h e inchamento em 2 e 24h, não foram verificadas diferenças estatísticas, com exceção do painel T-3. Entretanto, ao serem avaliados todos os tratamentos e suas relações, verifica-se a existência de divergências estatísticas. Em relação à absorção de água e o inchamento em 24h a maior média foi obtida em T-1 com 28,0% e 21,74%, respectivamente. A menor média, para os mesmos ensaios, foi alcançada em T-4 com 14,91% e 11,38%, respectivamente.

Tita *et al.*(2002) analisando as diversas propriedades de compósitos lignocelulósicos afirma que a hemicelulose é a principal responsável pela

absorção de água das fibras, contudo a celulose e lignina também tem um importante papel neste processo. Segundo esses autores a absorção de água e o inchamento em espessura tem uma relação intrínseca. Nos painéis compósitos em geral, a absorção de água pelas fibras produz um intumescimento gradual das paredes celulares da fibra, que é composta basicamente por hemicelulose e celulose, na qual vai expandindo o seu volume até a sua saturação. A partir de então, a água passa a ocupar os microvazios disponíveis, penetrando onde não houve a adesão entre as fibras e a resina, aumentando a espessura dos painéis.

Concentrada, na sua maioria, na lamela média e na parede primária da célula, Ramos (2003) explica que a lignina é uma macromolécula orgânica insolúvel em água (impermeável) e tem a função de proteção dos elementos condutores de água e a sustentação (rigidez) das paredes celulares. Com a deslignificação por agentes alcalinos e/ou por efeito da temperatura (transição vítrea), expõe as paredes celulares da fibra tornando-a vulnerável à penetração de água.

Comparando os resultados dos ensaios de absorção de água com Número Kappa (lignina residual) é possível presumir algumas correlações. Assim, quanto maior o teor de lignina residual, menor será a susceptibilidade das fibras absorverem água.

Estudos desenvolvidos por Weber (2011) utilizando partículas oriundas de resíduos de MDF com 10% de resina UF para a produção de painéis aglomerados, mostram resultados satisfatórios com 6,04% para a absorção de água em 2h e 18,5% em 24h.

4.4.2 PROPRIEDADES MECÂNICAS

4.4.2.1 Flexão estática

A Tabela 4.21 apresenta os resultados médios obtidos para o Módulo de Elasticidade (MOE) e o Módulo de Ruptura (MOR) obtidos a partir dos ensaios mecânicos em flexão estática.

Tabela 4.21 – Resultados do MOE e MOR em flexão estática.

Tratamentos	MOE (MPa) ^{ns}		MOR (MPa) ^{ns}	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
T-1	1.249,18	483,04	9,38	2,44
T-2	877,45	139,13	8,94	0,92
T-3	1.297,51	355,23	10,78	3,74
T-4	1.067,73	484,72	11,10	3,92

(ns) indica não existência de diferença entre tratamento ao nível de significância de 5%.

Os valores médios obtidos em flexão estática para MOR e MOE, independente do tipo de tratamento, variaram de 877,45 MPa (T-2) a 1.249,18 MPa para MOE e para o MOR 8,94 MPa (T-2) a 11,10 MPa (T-4).

Eleotério (2000) explica que existem fortes correlações entre o MOE e MOR, pois ambas as propriedades apresentam comportamento semelhante no que se refere à exigência mecânica do corpo de prova.

Um fator importante a ser considerado nas propriedades mecânicas é a compatibilidade entre o tipo de resina e as características da fibra. Campos (2005) estudando as propriedades físico-mecânicas de MDF a partir de fibras de pinus e eucalipto encoladas com 10% de resina UF e resina inorgânica, obteve diferentes valores. Nos ensaios de flexão estática com fibras de pinus encoladas com UF obteve 2.682 MPa em MOE e 26,3 MPa para MOR. Para as fibras de eucalipto foram 2.613 MPa em MOE e 25,7 MPa para MOR. Utilizando a fibras de pinus encolada com resina inorgânica obteve 2.107 MPa em MOE e 20,2 em MOR. Para as fibras de eucalipto foram 2.101 MPa em MOE e 19,86 MPa em MOR.

4.4.2.2 Tração Perpendicular Superficial

A Tabela 4.22 apresenta os valores obtidos nos ensaios de tração perpendicular superficial em que é avaliada a resistência da adesão interna em todos os painéis.

Tabela 4.22 – Média dos valores obtidos nos ensaios de tração perpendicular superficial nos painéis de bambu nos diversos tratamentos

TRATAMENTO	TRAÇÃO PERPENDICULAR A SUPERFÍCIE (MPa)	
	MÉDIA	Desvio Padrão
T-1	0,10 a	0,01
T-2	0,11 a	0,03
T-3	0,26 b	0,10
T-4	0,10 a	0,03

NOTA: Médias seguidas pela mesma letra em colunas não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ao nível 0,1% de significância.

Examinando os resultados de tração perpendicular superficial (Tabela 4.22), pode-se concluir que nenhum dos painéis alcançou indicadores mínimos estabelecidos pela norma NBR 15316.

Os valores médios de resistência perpendicular superficial variaram entre 0,10 MPa a 0,26 MPa, sendo que o melhor resultado foi obtido no painel T-3 com 0,26 MPa. A justificativa presumível para este superior desempenho pode estar relacionada a uma maior quantidade de finos proporcionando maiores áreas de contato. Estatisticamente os painéis T-1, T-2 e T-4 apresentaram médias iguais entre si.

Diversos autores tem pesquisado sobre fatores que afetam negativamente as propriedades mecânicas. Watkinson e Van Gosliga (1990) afirmam ser uma das causas a variação do teor de umidade. Almeida (2006) coloca que resinas como UF, após a sua cura, podem ser hidrolisáveis sob ação da água ou da umidade provocando perda nas forças de ligações, a consequência é a redução das características físico-mecânicas. Woodson (1976) pesquisando 14 espécies de madeiras folhosas constatou que as densidades mais altas de cavacos e fibras influenciaram negativamente nas diversas propriedades mecânicas em painéis de MDF.

Ferreira (2010) em suas investigações sobre os efeitos da incorporação do tanino em diferentes proporções de UF obteve o valor médio de 0,25 MPa nos ensaios de tração perpendicular.

Nos estudos sobre a viabilidade do aproveitamento de resíduos de diversos tipos de painéis para a produção de aglomerado, Weber (2011) obteve 0,46 MPa nos ensaios de tração perpendicular á superfície em painéis produzidos com 10% de UF.

4.4.3 ANÁLISE EM MEV E MICROTOMOGRAFIA DAS REGIÕES DE FRATURA

Por meio das imagens de MEV foi possível observar e avaliar o comportamento entre os painéis de MDF de bambu e pinus comercial, após serem submetidos a ensaios mecânicos.

Nas Figuras 4.45 (A-B) e 4.46 (A-B) verificam-se as micrografias das regiões de fratura nos painéis de MDF de bambu após os ensaios de tração perpendicular superficial e flexão estática.

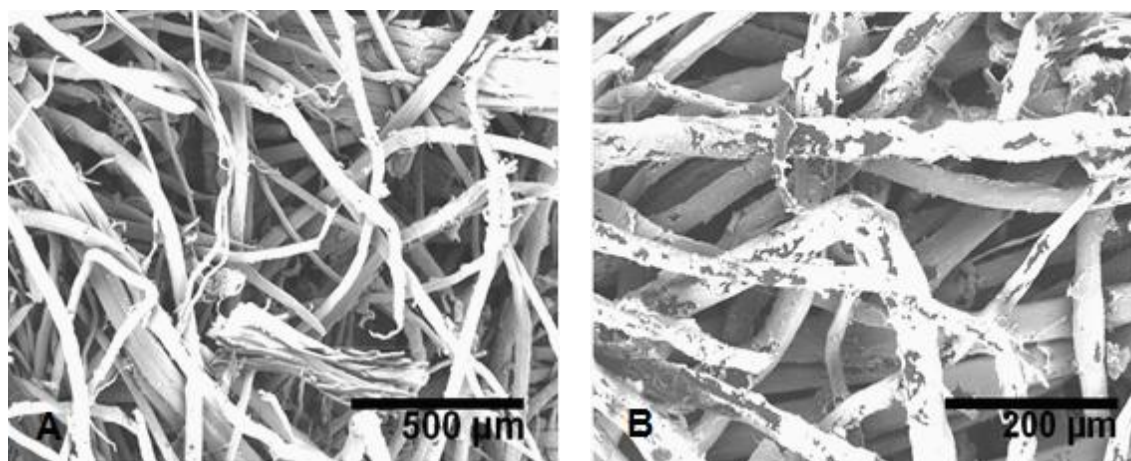


Figura 4.45 – Imagens de MEV das regiões de fratura nas fibras de bambu após os ensaios mecânicos de tração: Fibras desalinhas (A); Fratura frágil (*Debonding*) (B).

Na imagem de MEV da região de fratura após os ensaios de tração (Figura 4.45-A) observa-se a presença de fibras desalinhas evidenciando pouca adesão interfacial, como conseqüência, menores áreas de contato e insuficiente ancoragem por parte do adesivo. A Figura 4.45(B) mostra o descolamento das faces das fibras, fenômeno também conhecido como “*debonding*”, comportamento típico de fraturas frágeis. Também é possível

constatar a presença de microvazios facilitando a penetração de agrupamentos de moléculas de água, produzindo efeitos negativos nas propriedades físicas de inchamento e absorção de água.

Niemz e Poblete (1996) comentam que com um mínimo de alinhamento nas fibras de painéis de MDF é perceptível os seus efeitos nas propriedades de MOE e MOR. Oliveira (2008) afirma que as fibras são as principais responsáveis pelas solicitações mecânicas, sendo que o fator que mais afeta esta propriedade são as adesões interfaciais entre a resina e a fibras, proporcionando maiores áreas de contato. A qualidade destas interações é determinada por alguns fatores como: anatomia da fibra (comprimento, largura e espessura de parede), compatibilidade entre a resina e a fibra, adequados procedimentos de preparação e processamento das fibras.

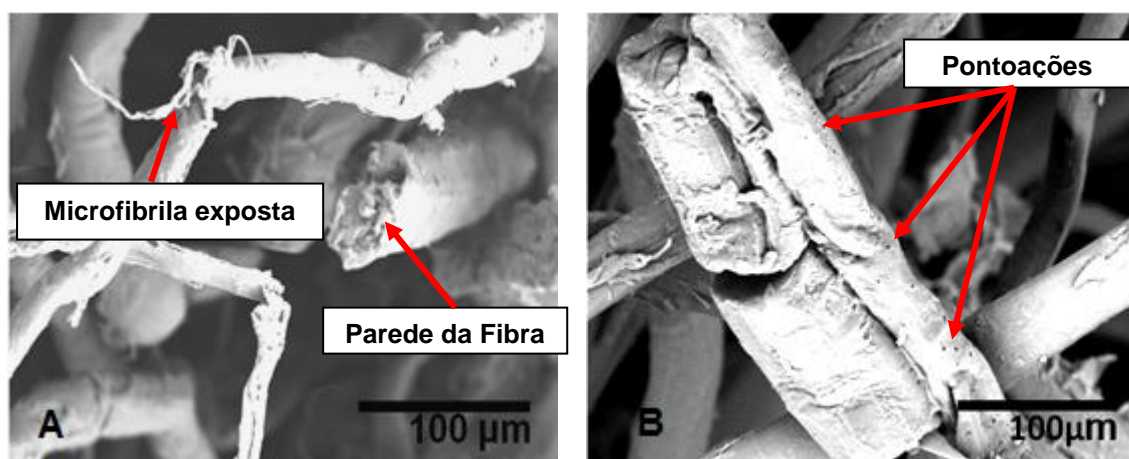


Figura 4.46 – Imagens de MEV das regiões de fraturas nas fibras de bambu após ensaios de flexão: Fratura de fibra (A); Pontoações das fibras (B).

A Figura 4.46 (A) apresenta imagem de MEV após ensaios de flexão estática na qual pode ser observada a espessa parede da fibra com fratura de topo com a face enrugada, ao lado, outra fibra parcialmente rompida com as microfibrilas exposta, indicando pouca flexibilidade e adesão interfacial.

A Figura 4.46 (B) mostra uma fibra aderida a um conjunto de vasos, com várias pontoações de pequeno diâmetro na sua superfície, evidenciando uma região de difícil penetração do adesivo por capilaridade no interior da fibra.

Uma das principais características das fibras que afetam a adesão e a colagem são a porosidade e a permeabilidade, ou seja, o tamanho, a disposição e a frequência de cavidades celulares e poros afeta diretamente a penetração do adesivo (KOLLMANN *et al.*, 1975; CYR *et al.*, 2005).

O MDF de pinus comercial após os ensaios de tração perpendicular superficial e flexão estática é mostrado nas figuras 4.47 (A-B) e 4.48 (A-B), respectivamente.

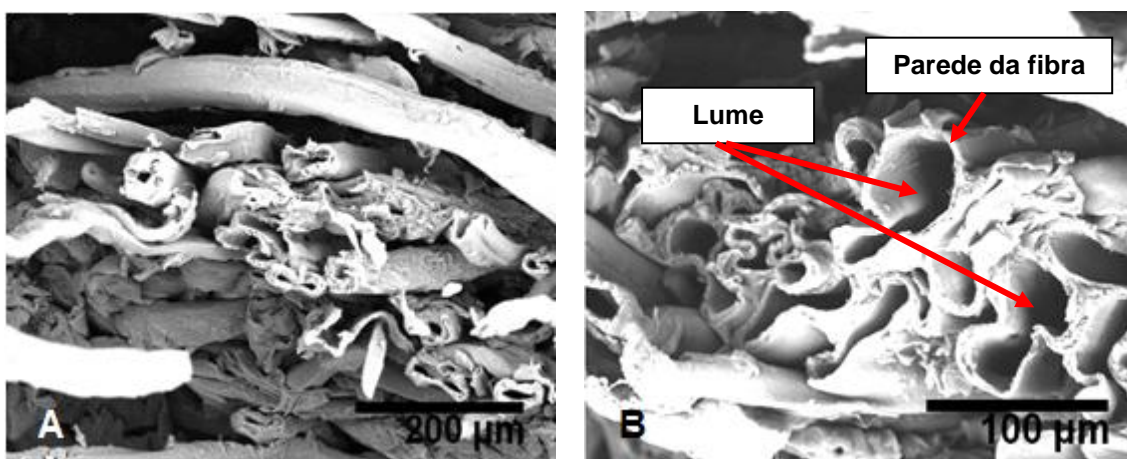


Figura 4.47– Imagens de MEV das regiões de fratura em painéis de pinus após os ensaios mecânicos de flexão: Fibras alinhadas e adensadas (A); Elevada conformação entre as fibras (B).

Através da imagem de MEV das regiões de fratura após o ensaio de flexão estática (Figura 4.47-A) do pinus comercial é possível observar uma região com fibras alinhadas e uma ruptura homogênea bem definida.

A Figura 4.47 (B) apresenta um detalhe da área de ruptura da fibra de pinus na qual se observa lumes de grandes diâmetros e paredes com finas espessuras amoldadas pela prensagem, resultado de uma boa interação com o adesivo.

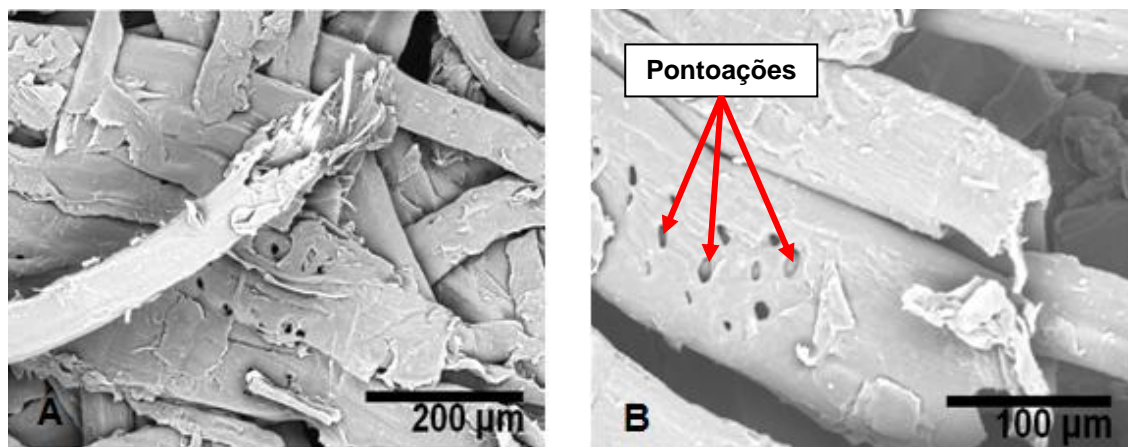


Figura 4.48 – Imagens de MEV das regiões de fraturas nas fibras de pinus após ensaios mecânicos de tração: Ruptura e o entrelaçamento das fibras (A); Adesão entre fibras e suas pontoações (B).

Na Figura 4.48 (A) é possível visualizar o comportamento de uma fibra após a sua ruptura e ao fundo o entrelaçamento das fibras sugerindo uma satisfatória Interação.

Através da Figura 4.48 (B) é possível identificar diversas pontoações com grandes diâmetros, condição que favorece a penetração do adesivo pelas regiões internas das fibras favorecendo as ligações interfaciais.

Estudos com painéis de média densidade com fibras alternativa ainda são incipiente, diversas variáveis podem afetar o comportamentos destes materiais, incluindo a natureza da fibra e da resina, o tratamento e os equipamentos envolvidos na produção das fibras.

As Figuras 4.49, 4.50, 4.51 e 4.52 são imagens obtidas do Microtomografo de Varredura de Raios-X em perspectiva isométrica (esquerdo) e o seu respectivo rebatimento dos seus planos (direito) em diversas posições na parte interna da amostra, após ensaio de flexão estática na região de fratura. No plano vertical está representado as posições X, Y e Z (esquerda), nos planos horizontais estão as posições 1,2 e 3 (esquerda) e A, B e C no lado direito. Por diferenças de densidade pode-se identificar variadas regiões com diferentes tonalidades. Na coloração avermelhada é possível visualizar as regiões com trincas, fraturas e falhas; nas colorações roxas estão as áreas de vazios; a distribuição das fibras na cor amarela e na azul a resina.

A Figura 4.49 apresenta uma imagem da região mais externa na posição 1-X-A, nela pode-se verificar fibras desalinhadas e pequenas fraturas.

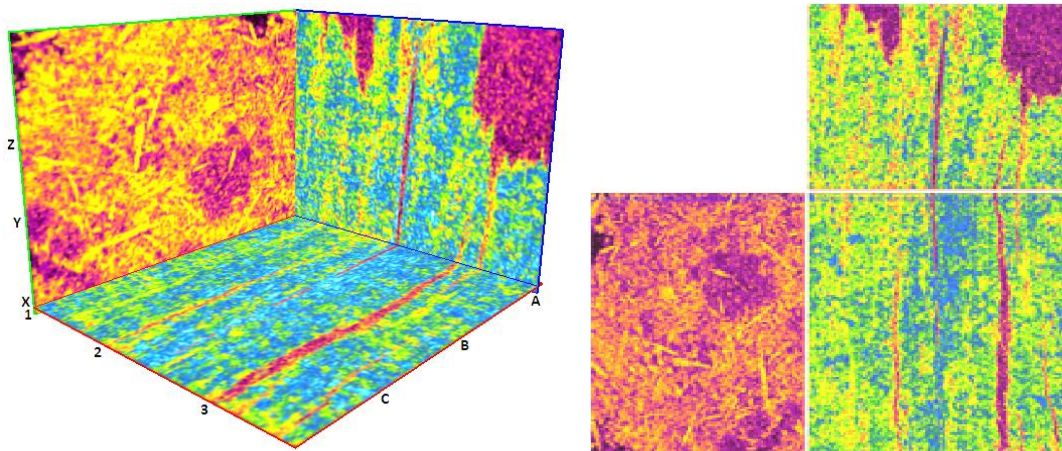


Figura 4.49 – Varredura de microtomografia de Raios-X (posição 1-X-A) e sua respectiva planificação.

Na Figura 4.50, região mais interna (posição 2-Y-B), pode ser observado irregularidade na distribuição da resina com alguns pontos de saturação, além de concentrações de fibras sem resina produzindo regiões de vazios

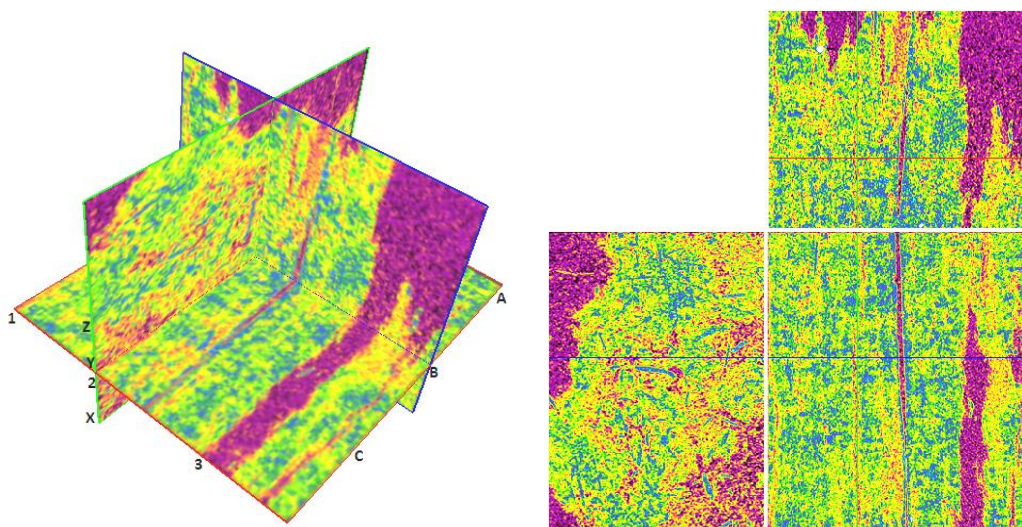


Figura 4.50 – Varredura de microtomografia de Raios-X (posição 2-Y-B) e sua respectiva planificação.

Na região de fratura (posição 3-Z-C) da Figura 4.51 é possível observar que houve descolamento das fibras e não a ruptura como se esperava, fato esse também evidenciado na imagem de MEV (Figura 4.45 (B)).

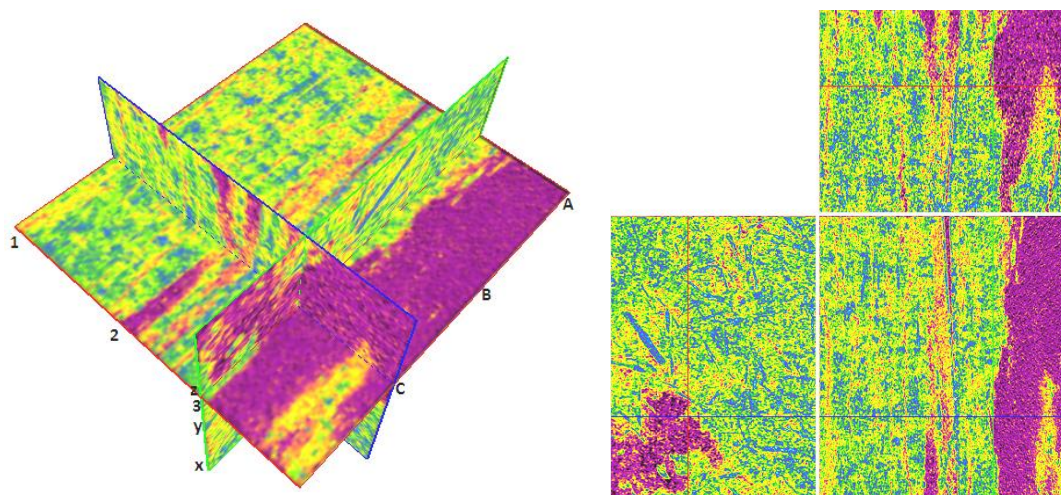


Figura 4.51 – Varredura de microtomografia de Raios-X (posição 3-Z-C) e sua respectiva planificação.

4.4.4 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA

Os objetivos da realização das análises termogravimétricas (TG) foram de avaliar a estabilidade térmica e os estágios de decomposição dos componentes das fibras em diferentes tratamentos.

A Figura 4.52-A mostra a sobreposição das curvas termogravimétricas apresentando suas respectivas perdas de massa. A sobreposição das curvas derivativas (DTG) e seus respectivos eventos térmicos estão demonstrados na Figura 4.52-B a seguir.

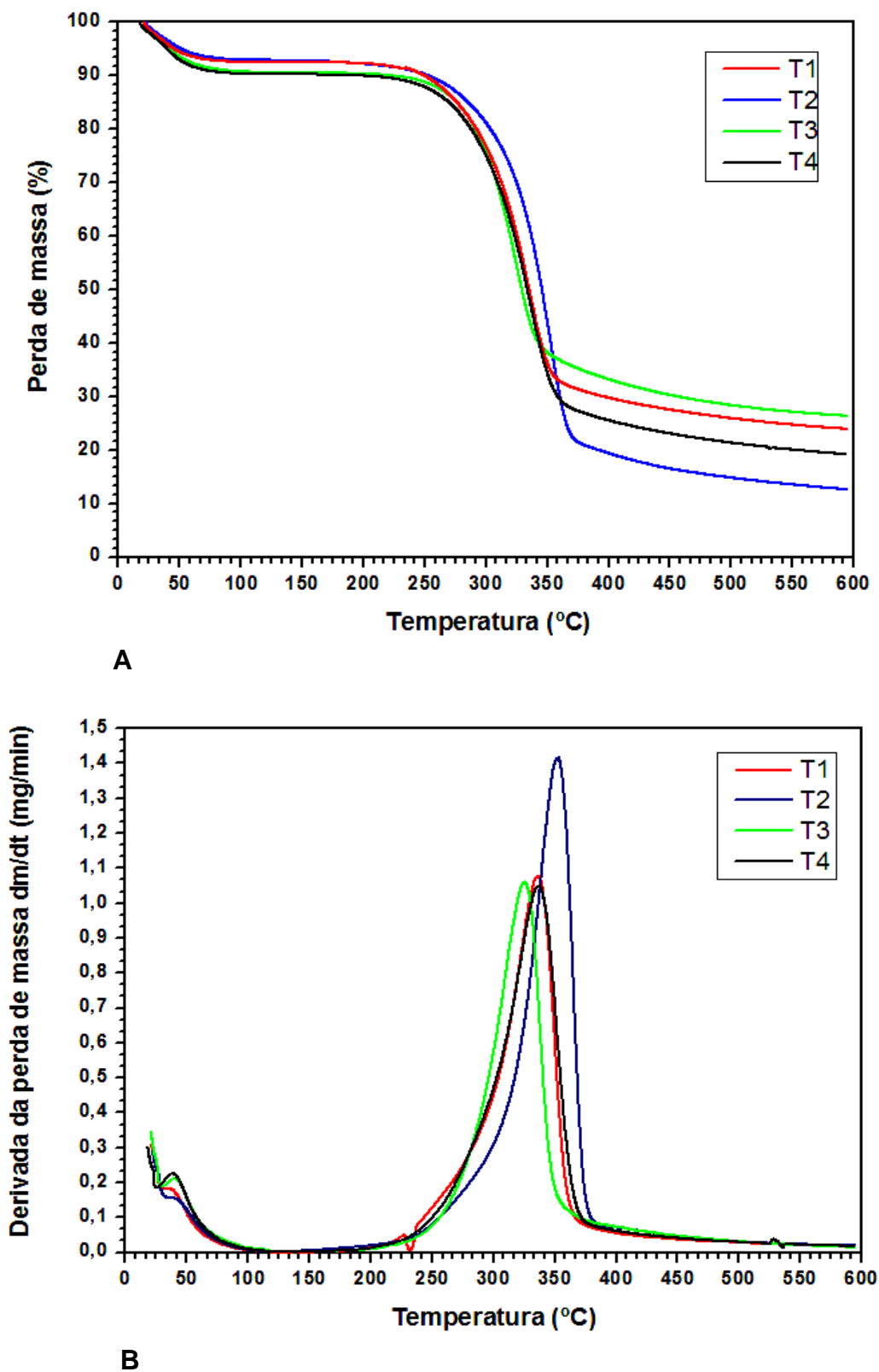


Figura 4.52 – Análises termogravimétricas: Sobreposição das curvas de perda de massa (A) e Derivadas DTG das fibras do bambu nos diferentes tratamentos (B).

O primeiro evento térmico inicia em faixas de temperatura entre 30°C e 60°C (Figura 4.52-B) com a liberação das moléculas de água contida nas fibras. Para todos os tratamentos foram observados percentuais de perda de umidade nas fibras entre 3,8% a 5,4% (Figura 4.52-A). Em 225°C ocorre um pequeno pico na curva do painel T-1 (Figura 4.52-B) no qual há perda de massa correspondendo a 8,3% (Figura 4.52-A), possivelmente decorrente de algum extrativo ainda presente nas fibras.

A decomposição térmica principal acontece em um único estágio para os tratamentos T-1, T-3 e T-4, em faixas de temperatura (picos) entre 225°C a 340°C correspondendo a 50% a 55% de perda de massa. Nestas faixas de temperatura são características as decomposições de hemicelulose, celulose e a lignina. Dentre estes componentes, a lignina e o elemento que se degrada gradualmente em faixas de temperaturas mais elevadas. A exceção foi o tratamento T-2 que se diferenciou dos demais com um pico mais pronunciado na decomposição térmica em temperaturas um pouco mais elevada, em torno de 350°C (Figura 4.52-B) e uma perda de massa por volta de 60% (Figura 4.52-A).

Em torno de 400°C inicia-se formação do carvão com a eliminação do carbono elementar, de acordo com Costa (2004) sob atmosfera inerte de N₂ a sua eliminação pode ocorrer mais lenta e estender até 900°C. Assim, ao final da análise com temperatura até 600°C, os resíduos gerados nos tratamentos T-1, T-2, T-3 e T-4 foram de 23,8%, 12,5%, 26,3% e 19,1%, respectivamente.

Em processo de conversão de cavacos em fibras, os efeitos da temperatura e dos agentes alcalinos para a dissociação da lamela média produzem consequências como: a degradação das cadeias de carboidratos pela reação de despolimerização, diminuição do teor de hemicelulose e lignina, perda de integridade da parede celular, dentre outras (FOELKEL, 2009).

5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

5.1 CONCLUSÕES

Com base nas análises realizadas e nos seus respectivos resultados ao longo desta pesquisa é possível inferir considerações finais sobre os diversos ensaios de caracterização.

- A partir das análises anatômicas (histologia e medições de fibras) o bambu com 5 anos de idade foi selecionado como o mais apropriado para produção das fibras para a fabricação dos painéis, pois evidenciaram as melhores correlações entre suas medidas.

- Nas análises químicas dos componentes orgânicos o bambu com 5 anos se diferenciou das demais idades pela maior concentração de lignina e menores teores de cinzas. Nas análises dos componentes inorgânicos por meio de EDS, nesta mesma idade, os maiores constituintes foram o silício e o cálcio.

- Dentre os dois processos avaliados para o processamento das fibras para a produção dos painéis o processo quimotermomecânico se apresentou mais viável por apresentar melhores qualidades de fibra.

- Os resultados do rendimento bruto estiveram associados ao aumento do número Kappa nos 4 tipos de tratamentos. Porém, ao comparar esses fatores com as variáveis de tempo e temperatura de cozimento e as concentrações de álcalis, os resultados apontaram para uma tendência inversa.

- Os maiores índices de densidade média e as melhores regularidades na distribuição do seu perfil medidos por densitometria de raios-X foram obtidos nos painéis T-1 e T-3, influenciando positivamente nas propriedades mecânicas.

- Os menores índices de absorção de água e inchamento em espessura em 24 h foram obtidos em T-4, aumentando gradativamente em T-3, T-2 e T-1 estando numa correlação direta com os resultados do número Kappa e a taxa do rendimento bruto. Os resultados de absorção de água em 24 h estiveram dentro dos parâmetros estabelecidos pela norma, entretanto, para o inchamento apenas o painel T-4 satisfaz as exigências.

- O aumento das variáveis de tempo de cozimento e percentuais de álcalis evidenciou uma diminuição significativa e gradual dos índices de absorção de água e inchamento em 24 h.
- Embora não tivessem diferenças estatísticas, as melhores médias encontradas para o MOE foram no painel T-3 e em MOR no painel T-4 e na tração perpendicular superficial no painel T-3.
- Correlacionando estatisticamente os resultados das propriedades físicas e mecânicas dentre todos os painéis avaliados, pode-se concluir que o painel T-3 teve, em média, os melhores resultados.
- As microanálises realizadas por meio de MEV nas regiões de fratura revelaram fibras desalinhas evidenciando pouca adesão interfacial, como consequência, menores áreas de contato e insuficiente ancoragem por parte do adesivo, refletindo inferior desempenho mecânico. Também foi observado que as fibras do bambu tem paredes espessas e rijas, com pontoações de pequeno diâmetro, de difícil penetração do adesivo por capilaridade, refletindo em falhas na distribuição da resina.
- Nas análises microtomográficas de varredura de raios-X nas regiões de fratura foram observadas trincas, falhas de formação e áreas de vazios comprometendo as propriedades físicas e mecânicas.
- As análises térmicas revelaram que as fibras do bambu são resistentes com estabilidade térmica elevada, sugerindo a sua utilização em uma ampla gama de materiais poliméricos e processos de fabricação.
- De modo geral, as fibras do bambu apresentaram resultados importantes demonstrando ser uma matéria prima alternativa com um potencial tecnológico para a produção de MDF.

5.2 RECOMENDAÇÕES

Em painéis de fibras ou partículas produzidos em laboratórios é comum a ocorrência de alguns problemas decorrente da falta de equipamentos especificamente desenvolvidos para cada etapa do processamento, dificultando as pesquisas.

A eficiência em cada etapa na produção dos painéis de MDF está diretamente relacionada com as melhores propriedades físicas e mecânicas, havendo necessidade do desenvolvimento de equipamentos mais apropriados tais como: desfibradores vaso-pressurizados – equipamento que integra cozimento e refino em uma única etapa, secadores de fluxo contínuo de ar com elevadas temperaturas, encoladeiras com aspersores pneumáticos para o espalhamento de diferentes tipos de resinas.

As fibras de bambu são resistentes e aptas para produção de MDF, contudo, novas investigações se fazem necessárias para a ampliação deste estudo, incluindo outros tipos de tratamentos e processos de produção de fibras e o uso de diferentes tipos de resinas poliméricas.

Para futuros experimentos, também poderão ser adotados amplos esquemas fatoriais considerando diferentes condições de temperatura, tempo de cozimento e concentrações de álcalis combinando com diferentes tipos de resinas, buscando as condições mais favoráveis por meio de metodologias de superfície e resposta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15316-1:** Chapas de fibras de média densidade. Parte 1: Terminologia. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR 15316-2:** Chapas de fibras de média densidade. Parte 2: Requisitos. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR 15316-3:** Chapas de fibras de média densidade. Parte 3: Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2006.

ABD. LATIF, M. Effects of age and height of three bamboo species on their machining properties. **Journal of Tropical Forest Science**, n.5, p.528-535, 1993.

ABREU, H. S.; NASCIMENTO, A.M.; MARIA, M. A. Lignin and structure. **Wood and Fiber Science**, v.31, n.4, p.426-433, October, 1999.

ALMEIDA, F. S. **Influência da carga alcalina no processo de polpação Lo-Solids® para madeira de eucalipto**. Piracicaba: ESALQ, 2003. 114 p. Dissertação (Mestrado em recursos florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba-SP, 2003.

ALMEIDA, C. de O. R. **Estudo da influência da temperatura e do tempo de prensagem nas características físico mecânicas, de diferentes tipos de MDF aquando do seu revestimento por prensagem**. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, 2006. 139 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais lenhocelulósicos) – Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa-PT, 2006.

ALVITE, J. D. B.; VÁZQUEZ, M. C. T.; INFANTE, F. S. Manual de la madera de eucalipto blanco. **In: Tablero de fibras**. Editora Fundación para o Fomento da Calidade Industrial e Desenvolvemento Tecnológico de Galicia, San Cibrao das Vinãs, España, 2002. Cap. IV p.39-50. Disponível em: <<http://www.cismadeira.com/especies/manualeucalipto/capitulosmanual/capitulos.html>>. Acesso em 27 de junho de 2011.

APAWOOD – THE ENGINEERING PLAYWOOD ASSOCIATION. Softwood Plywood Celebrates 100th Anniversary, 1905 – 2005. Disponível em: <<http://www.apawood.org/plywoodcentennial/plyage.htm>>. Acesso em: 30 de janeiro de 2011.

ARCE-VILLALOBOS, O. A. **Fundamentals of the design of bamboo structures**. Thesis (Doctor of Technical Sciences) – Endhoven University of Technology, Holland, 1993. 261p. Disponível em: <<http://www.alexandria.tue.nl/extra3/proefschrift/PRF9B/9303473.pdf>>. Acesso em: 15 de outubro de 2011.

AZZINI, A.; BERALDO, A. L. Determinação de fibras celulósicas e amido em cavacos laminados de três espécies de bambu gigante. **Scientia Forestalis** n.57, p.45-51, 2000.

AZZINI, A.; CIARAMELLO D.; SALGADO, A. L. B. Velocidade de crescimento dos colmos de algumas espécies de bambu. **O Agrônomo**, Campinas, v.41, n.3, 1989.

Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES. **Setorial: Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas**. Rio de Janeiro, n.27, p.121-156, março/2008.

_____. **Setorial: Florestas independentes no Brasil**. Rio de Janeiro, n.29, p.77-130, março/2009.

BERALDO, A. L.; AZZINI, A. **Bambu: características e aplicações**. Editora Guaíba: Agropecuária, 2004. Guaíba – RS, 2004.128p.

BELINI, U. L. **Caracterização e alterações na estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus grandis* em três condições de desfibramento e efeito nas propriedades tecnológicas de painéis de MDF**. 90 p. Dissertação (Mestrado) em Recursos Florestais, área de Tecnologia de Produtos Florestais. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

BERNSEN, R. S. **Caracterização anatômica, física e mecânica de lâminas de bambu (*Phyllostachys pubescens*)**. 152 p. Dissertação (Mestrado em engenharia de materiais) Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Materiais – PPGEM. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Curitiba-Pr, 2008.

BONDUELLE, A.; YAMAJI, F.; BORGES, C. C. Resíduos. **Revista da Madeira**. V. 12 Edição 68, Dezembro de 2002. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=272&subject=Res%Edduos&title=Res%Edduos>. Acesso em: 11 de Março de 2011.

BYSTRIAKOVA, N.; KAPOV, V.; STAPLETON, C.; LYSENKO, I. **Bamboo Biodiversity**. Information for planning conservation and management in the Asia Pacific Region. UNEP-WCMC/INBAR. Cambridge, United Kingdom, 2003. 72p.

BURMAN, A. G.; FILGUEIRAS, T. S. A review of the Wood Bamboo genera of Brazil (Gramineae: Bambusoideae: Bambuseae). **Thaiszia, Kosice**, n.3, p.53-88. 1993.

BRITO, E. O. **A viabilidade de utilização de espécies de *Pinus* para produção de chapas de composição estruturais Waferboards**. 104 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais, área de Tecnologia e utilização de produtos florestais). Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 1984.

CAI, Z.; WINANDY, J. E. Opportunity and Development of Bio-Based Composites. In Proceeding of International Workshop on Prefabricated Bamboo Panel Module Hosing. **Anais...** Beijing, China. Nov.24-25, 2005.

CAMPOS, H. **Estatística experimental não-paramétrica**. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 4 ed., Piracicaba – SP, 1983,349p.

CAMPOS, C. I. **Produção e caracterização físico-mecânica de MDF a partir de fibras de madeira de reflorestamento e adesivos alternativos em diferentes teores**. 127p. Tese (Doutorado) em Ciências e Engenharia de Materiais. Escola de Engenharia de São Carlos/Institutos de Física, Química de São Carlos. Universidade de São Paulo-USP, 2005.

CARDOSO, G. V. **Otimização do cozimento Kraft para a produção de celulose a partir de madeira de *Eucalytus globulus* com diferentes teores de lignina**. 147p. Dissertação (Mestrado) em Engenharia Florestal, área de tecnologia de produtos florestais. Universidade de Santa Maria – UFSM, Santa Maria, 2002.

CHEN, Y. D.; QIN, W. L. The chemical composition of ten bamboo species. In: Proceedings of the International Bamboo Workshop, Hangzhou, China, 6-14 October 1985. **Anais...** Chinese Academy of Forestry, Beijing, China; International Development Research Centre, Ottawa, Canada. p.110-113, 1985.

CHEN, W. H.; KUO, P. C. A study on torrefaction of varios biomass materials and its impact on lignocellulosic structure simulated by thermogravimetry. **Energy**, n.35, p.2580-2586, Taiwan. 2010.

CHOW, P.; ZHAO, L. Medium density fiberboard made from phenolic resin and residues of mixed species. **Forest Products Journal**, v.42, n.10, p.65-67. October, 1992.

CHUN, Z. F; **The production and utilization of bamboo forest in China**. Hangzhou: China National Research Center of Bamboo –CBRC, 2003.

CONNER, A. Urea Formaldehyde Adhesive Resin, **In:** SALAMONE, J. C. *Polymeric Materials Encyclopedia*. Boca Raton – Florida CRC Press, v.11, p.8496-8501,1996.

CORREIA, V. da C. **Produção e caracterização de polpa organossolve de bambu para reforço de matrizes cimentícias**. 121 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia e engenharia de Alimentos) Universidade de São Paulo – USP, Pirassununga, 2011.

COSTA, T. M. de S. **Estudo da viabilidade técnica do emprego do bambu da espécie *bambusa vulgaris* Schard. como carval vegetal**. 74 p. Dissertação (Mestrado em Ciências na área de tecnologia nuclear – Materiais) Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares-IPEN, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2004.

CYR, P.; RIEDL, B.; WANG, X. GROOM, L.; SHALER, S. M. Urea-Melamine-Formaldehyde resin diffusion into medium density fiberboard wood fibers. *Wood adhesives 2005 - Resin Synthesis and Analysis*. United States Department of Agriculture (USDA) National Agricultural Library – NAL Digital Repository, 2005. Session 2A, 135-142p. Disponível em: <<http://ddr.nal.usda.gov/handle/10113/39382>>. Acesso em: 05.01.2012.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European Standard EN 317** Particleboard and Fiberboard – Determination of swelling in thickness alter immersion in water. Bruxelas: 1993.

ELEOTÉRIO, J. R. **Propriedades físicas e mecânicas de painéis MDF de diferentes densidades e teores de resina**. 122 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeira) Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

FERREIRA, E. DA S. **Propriedades físico-mecânicas de painéis de fibras de média densidade (MDF) produzidos com resinas convencionais e modificadas com tânico de acácia negra**. 202p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

FILGUEIRAS, T. S.; GONÇALVES, A. P. A Checklist of the Basal Grasses and Bamboos in Brazil (*Poaceae*). **The Journal of the Amercian Bamboo Society**, v.18, n.1, p.7-18, 2004.

FOELKEL, C. E. B. O processo de impregnação dos cavacos de madeira de eucalipto pelo licor Kraft de cozimento. **Eucalyptus online book & Newsletter**, ABTCP, 2009. Disponível em: <<http://www.eucalyptus.com.br>>. Acesso em 20 de março de 2012.

Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO. **State of the World's Forests 2009**. Rome, 2009. Disponível em: <<http://www.fao.org/publications/en/>>. Acesso em: 27 de março de 2011.

_____. World bamboo resources – A thematic study prepared in framework of the Global Forest Resource Assessment 2005. **Non-Wood Forest Products** n.18. Rome, 2007. Disponível em: <<http://www.fao.org/publications/en/>>. Acesso em: 27 de março de 2011.

FREITAS JUNIOR, J. L.; SILVEIRA, M. Padrões espaciais e temporais das florestas com bambu (*Guadua spp.*) no sudoeste da Amazônia, detectados através de imagens de satélite. In: IX CONGRESSO BRASILEIRO DE ECOLOGIA 2009: ECOLOGIA E O FUTURO DA BIOSFERA e III CONGRESSO LATINO AMERICANO DE ECOLOGIA, **Anais...** São Lourenço – MG, Brasil, 2009.

FRIHART, C. R.; HUNT, C. G. Adhesives with Wood Materials- Bond Formation and Performance. Forest Products Laboratory. 2010. **Wood handbook – Wood as an engineering material**. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agricultura, Forest Service, Forest Products Laboratory, 508p.

GANAPATHY, P. M.; ZHU, H. M.; ZOOLAGUD, S. S.; TURCKE, D.; ESPILOY, Z. B. Bamboo panel boards – a state of the art review. **Technical Report** n. 12, p.1-119, 1999.

GARCIA-ESTEBAN, L.; GUINDEO-CASASÚS, A.; PERAZA-ORAMAS, C.; PALACIOS DE PALACIOS, P. **La madera y sus Tecnologías**. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, 2002.

GHAVAMI, K.; SOLORZANO, I G. Comparison between microstructure of bamboo culm and wood. Acta Microscopia. In: III INTERAMERICAN CONFERENCE ON ELECTRON MICROSCOPY e XV MEETING OF BRAZILIAN SOCIETY FOR ELECTRON MICROSCOPY, **Anais...** Caxambú – MG, Brazil, 1995.

GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, R. C. Influência do álcali ativo e da temperatura na polpação *Kraft* de *Bambusa vulgaris*. In: XV CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL DA ABTPC, 1982. São Paulo: **Anais...** São Paulo, ABTCP, p.189-203, v.1, 1982.

GONÇALVES, M. T. T.; PEREIRA M. A. R.; GONÇALVES, C. D. Ensaios de resistência mecânica em peças laminadas de bambu. In: XXIX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA – CONBEA, 29, 2000, **Anais...** Fortaleza, CE.

GROSSER, D.; LIESE, W. Distribution of vascular bundles and cell types in the culm of various bamboo species. **Holz als Roh-und Werkstoff**, v.32, p.473-482, 1974.

GROSSER, D.; ZAMUCO, G.I. Anatomy of some bamboo species in the Philippines. **The Philippine Journal of Science**, v.100, n.1, p.57-72, 1973.

HANDBOOK ON BAMBOO. National Bamboo Mission Ministry of Agriculture, Government of India. **Cane & Bamboo Technology Centre-CBTC**: 2008. Guwahati, Assam, India.

HAN S. J.; ROWELL S.J. Chemical composition of fibers. In: Paper and composites from Agro-based Resource, edited by Roger M. Rowell, Raymond A. Young, Judith K. Rowell, 1997, pp. 83-134. Disponível em: <http://www.fpl.fs.fed.us/products/publications/pubs_specified_topic.php?sort_criteria=date-posted&groupings_id=19&unit_id=&employee_id=>>. Acesso em: 30 de março de 2011.

HIDALGO, LOPEZ O. **Bambú – su cultivo y aplicaciones em: fabricación de papel, construcción, Arquitectura, Ingeniería, Artesanía**. Estudios Tecnicos Colombianos L^{tda.}, Colombia, 1974, 318p.

HIGUCHI, T. **Bamboo in Japan**. XVII World Congress – Internacional Union of Forestry Reseach Organization, Japão: Kioto University, 1981.

_____. **Chemistry and biochemistry of bamboo**. Wood Research Institute, Kyoto University, Kyoto, Japan, 1990.

HSIUNG, W. Prospects for bamboo development in the world. In: International Bamboos Congress 88, **Anais...** Prafrance. 1988.

IAWA – International Association of Wood Anatomists. List of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**, v.10, n.3, p.219-332, 1989.

International Network Bamboo and Rattan Research INBAR, 1999. **Socio-economic issues and constraints in the bamboo and rattan sectors: INBAR's assessment**. INBAR Working Paper n. 23. Beijing, China.

International Network for Bamboo and Rattan Research – INBAR. **Transfer of Technology Model: the bamboo furniture making unit**. Nanjing, China. 2001.

IMAL S.R.L. Laboratory machinery (catalogue of products) x-ray density profile dpx300. Disponível em: <<http://www.imal.it/home.php?myInc=scheda&sPID=54&Scid=16&Sctx=Laboratory%20machinery>>. Acesso em: 12 de Outubro de 2011.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. 247p.

JANSSEN, J. J. A. **Bamboo in building structures**. Ph.D. Thesis at the Technical University of Eindhoven, The Netherlands, 1981.234p.

JEANG, K. R.; JONG, R. B. Effect of moisture content and density on the mechanical properties of veneer-bamboo zephyr composites. (Statistical data). **Entrepreneur Forest Products Journal**, March, 2009. Disponível em: <<http://www.entrepreneur.com/tradejournals/article/print/199193622.html>>. Acesso em: 30 de março de 2011.

JUDZIEWICS, E. J.; CLARK, L. G.; LONDOÑO, X.; STERN, M. J. **American bamboos**. Washington, D. C.: Smithsonian Institution Press.1999. 392p.

KELLY, M. W. **Critical literature review of relationship between processing parameters and physical properties of particleboard**. Madison, WI: USDA, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1977. General Technical Report FPL n.10. 65p.

KIGOMO, B. **Guidelines for growing bamboo**. Guideline, Series: n.4. Kenya Forestry Research Institute - KEFRI. 2007; Nairobi, Kenya.

KIRK-OTHMER. **Encyclopedia of Chemical Technology**. Ed. John Wiley & Sons, Inc. Fourth Edition, (wood) v. 25, p.627. 1998.

KOKTA, B. V.; AHMED, A. Feasibility of explosion pulping of bagasse. **Cellulose Chemistry and Technology**, v.26, p.107-123, 1992.

KOLLMANN, F. F. P.; KUENZI E. W.; STAMM, A. J. – **Principles of wood science and technology**. New York. Springer-Verlag, v.2. 1975. 728p.

KRAUS, J. E.; ARDUIN, M. **Manual básico de métodos em morfologia vegetal**. Seropédica, Rio de Janeiro: Editora Universidade Rural, 1997. 198p.

KUSAK, V. **Bamboo World**: The growing and use of clumping bamboo. Kangaroo Press. Australia, 1999. p.224.

LASSO, P. R. O.; VAZ, C. M. P.; NAIME, J. de M. Recomendações para utilização do microtomógrafo de raios-X Sky Scan 1172 em ciências agrárias e biológicas. Embrapa Instrumentação Agropecuária. São Carlos- SP, 2008. Disponível em: <http://www.cnpdia.embrapa.br/_publicacoes_normal.html>. Acesso em: 13 de Novembro de 2011.

LEHMANN, W. F. Improved particleboard through better resin efficiency. **Forest Products Journal**, v.15, n.4, p. 155-162, 1965.

LI, X. B. **Physical, chemical, and mechanical properties of bamboo and its utilization potential for fiberboard manufacturing**. 68p. Thesis (Master of science), Louisiana State University, Baton Rouge, 2004.

LIESE, W. Bamboos – biology, silvics, properties, utilization. **Dt. Ges. Techn. Zusammenarbeit (GTZ)**, 1985. n. 180, TZ Verlagsges., Roßdorf 1, 132 p.

_____. Anatomy and properties of bamboo. **In** : Rao, A.N.; Dhanarajan, G.; Sastry, C.B. ed., Recent Research on Bamboo, 1987. **Proceedings** of the International Bamboo Workshop, Hangzhou, China, 6-14 October 1985. Chinese Academy of Forestry, Beijing, China; International Development Research Centre, Ottawa, Canada. p.196-208.

_____. Structures of a bamboo culm affecting its utilization. **In**: INTERNATIONAL WORKSHOP ON BAMBOO INDUSTRIAL UTILIZATION. October, 2003: International Network for Bamboo and Rattan, Hubei Provincial Government & Xianning Municipal Government, China.

_____. The anatomy of bamboo culms. Beijing: International Network for Bamboo and Rattan (INBAR). **Technical Report** n.18.1998. 208p.

_____. **Chemistry and Biochemistry of Bamboo**. Wood Research Institute, Kyoto University, Kyoto, Japan, 1990.

LIESE, W.; GROSSER, D. Untersuchungen zur Variabilität der Faserlänge bei Bambus. **Holzforschung**, v. 26, n.6, p. 202-211, 1972.

LIESE, W.; WEINER, G. Ageing of bamboo culms, a review: **Wood Science Technology**. v. 30, p.77-89, 1996.

LIN, W.C. The bamboos Thailand. Taiwan: **Taiwan Forestry Research Institute**, 1968, 52 p.

LONDOÑO, X. Distribuição, morfologia, taxonomia, anatomia, silvicultura y usos de los bambues de lo Nuevo Mundo. **III Congreso Colombiano de Botânica**, Popayan, 2004. 25p.

LOPES, W. G. R.; VALENCIANO, M. C. M.; MARTINS, S. C. F.; BERALDO, A. L. Variação volumétrica em três espécies de bambu gigante. **In**: Anais do XXIX CONBEA – Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Fortaleza, CE, 2000.

HIDALGO-LOPEZ, O. H. **Bamboo, the gift of the gods**. Hidalgo Lopez editor, Bogota – Colombia, 2003. 553p.

LWIN, K. M.; HAN, Y.Y.; MAUNG, K. W.; MOE, A. Z.; THAN, S. B. M. **An investigation on morphology, anatomy and chemical properties of some Myanmar bamboos**, Proceedings of Myanmar Academy of Agriculture and Forestry, 2000. p.1-18. Disponível em: <<http://www.myanmar.gov.mm/Agjurnal/ProcFo01-10pdf>>. Acesso em: 22 de fevereiro de 2010.

LYBEER, B. **Age-related anatomical aspects of some temperate and tropical bamboo culms (Poaceae: Bambusoideae)**. 2006. V.1, 201p. Thesis (PhD in Biology) – Ghent University, Belgium, 2006.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing**. San Francisco: Miller Freeman Inc., 1993.

_____. **Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing**. San Francisco: Miller Freeman Inc., 2003.

MARRA, A. A. **Technology of Wood bonding principles in practice**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992.

MARTINS, H. Madeira como fonte de energia. In: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC. **Uso da madeira para fins energéticos**. Compilado por Waldir Resende Penedo. Belo Horizonte, 1980, 158p. p.9-26 (**Série Publicações Técnicas**,1).

MALISKA, A. M. Microscopia Eletrônica de Varredura e Microanálise. **Apostila** do Laboratório de Materiais – LABMAT e Laboratório de Caracterização Microestrutural e Análise de Imagens – LCMAI do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Disponível em: <http://www.materiais.ufsc.br/lcm/web-MEV/MEV_Apostila.pdf>. Acesso em: 15 de outubro de 2011.

MATOSKI, S. L. S. **Comportamento de *Dinoderus minutus Fabricius* (1775) – (coleóptera: bostrichidae) em peças torneadas de madeira**. 106 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

MOHANAN, C. **Diseases of bamboos in Asia: an illustrated manual**. Kerala Forest Research Institute, Peechi, Kerala, India. 1997.

MOIZÉS, F. A. **Painéis de bambu, uso e aplicações: uma experiência didática nos cursos de Design em Bauru**. 113 p. Dissertação (Mestrado em Desenho Industrial). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação. Bauru, São Paulo. 2007.

MONTGOMERY, D. C. **Design and Analysis of Experiments**, 5 ed., John Willey and Sons, 684p.

MONTIEL, M.; SÁNCHEZ, E. Ultraestrutura de bambúes del gênero *Dendrocalamus* (Poaceae: Bambusoideae) cultivados en Costa Rica III: *Dendrocalamus giganteus*. **Ver. Biol. Trop.** 2006. v.54 (Supl.2):p.59-63.

MUÑIZ, G. I. B.; CORADIN, V. R. Normas de procedimentos em estudo de anatomia da Madeira. I – Angiospermae, II- Gimnospermae. Brasília: Laboratório de Produtos Florestais. **Série Técnica** n.15, 1991.

MURAKAMI, C. H. O bambu: matéria-prima do futuro. **Boletim Florestal**, São Paulo, v.1, n.6, p.5, 2007.

MURPHY, R. J.; ALVIN K. L. **Fibre maturation in bamboos**. *In*: Chapman, G., ed. The bamboos. Linnaean Society, London, UK. 1997. p.293-303.

MYERS, G. C. Relationship of fiber preparation and characteristics to performance of medium-density hardboards. **Forest Products Journal**, Oct. v.33, n.10, p.43-51, 1983.

NASCIMENTO, A. M. **Estrutura do colmo e propriedades físicas do bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus* (Wall) Munro)**. 85 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Viçosa, 1990.

NIEMZ, P.; POBLETE, H. Investigations on the dimensional stability of MDF and Particleboards. **Holz als Roh und Werkstoff**, v.54, n.2, p.141-144, 1996.

NOGUEIRA, C. L. **Painel de bambu laminado colado estrutural**. 94 p. Dissertação (mestrado em Tecnologia de Produtos Florestais) Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2008.

NOMURA, T; TOMAZELLO FILHO M; AZZINI A. Production and utilization of bamboo in Brazil. *In*: XVII IUFRO WORD CONGRESS, Ljubjana, Iugoslávia, p.61-69, 1986.

OLIVEIRA, A. M. de. **Extração seletiva de componentes de bambu em autoclave**. 83 p. Dissertação (Mestrado em Física Aplicada – Física da matéria condensada). Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Mato Grosso do Sul. 2007.

OLIVEIRA, F. B. de. **Utilização de matéria-prima obtida de fonte renovável na preparação de compósito de matriz do tipo fenólica**. 180p. Tese (Doutorado em Ciências Físico-Químicas) – Instituto de Química de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

ORÉFICE, R. L.; PEREIRA, M. de M.; MANSUR, H. S. **Biomateriais: fundamentos & Aplicações**. Rio de Janeiro: Editora Cultura Médica, 2006.

OSTAPIV, F.; **Análise e melhoria do processo produtivo de tábuas de bambu (*Phyllostachys pubescens*) com foco em pisos**. 116 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

PAES, J. B.; OLIVEIRA, A. K. F.; LIMA, C. R. Caracterização físico-mecânica do laminado colado de bambu (*Dendrocalamus giganteus*). **Revista Ciências Florestal**, Santa Maria, jan/mar., v.19, n.1 p.41-51, 2009.

PARAMESWARAN, N.; LIESE, W. On the fine structure of bamboo fibres. **Wood Science and Technology**, v.10, p.231-246, 1976.

PAULI, G. **Upsizing**. L & PM e Fundação ZERI, São Paulo: Brasil, 1998.

PEREIRA, M. A. R. Projeto Bambu: manejo e produção do bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus*) cultivado na UNESP/Campus de Bauru e determinação de suas características físicas e de resistência mecânica. **Relatório FAPESP (2003/04323-7)**, 2006.

PEREIRA, M. A. R.; BERALDO, A. L. **Bambu de corpo de alma**. Bauru: Editora Canal 6, 2007. v. 1, 240 p.

PEREIRA, M. A. R.; GARBINO, L. V. Projeto bambu: desenvolvimento do bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus*) na UNESP - Bauru, com vistas à sua utilização na engenharia agrícola. **In: XXXI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – Conbea: Salvador, 2003. CD-ROM**.

PROSPERITY INITIATIVE. **Industrial bamboo in North West Vietnam and north east Lao PDR: Practical Steps to Large-Scale Poverty Impacts**. December, 2008. Disponível em: <<http://prosperityinitiative.org/>>. Acesso em: 02 de junho de 2011.

PIMENTA, M. T. B. **Utilização de fluidos no estado sub/supercríticos na polpação de *Eucalyptus grandis* e *Pinus taeda***. 215 p. Tese (Doutorado em Ciências Físico-Química) Instituto de Química de São Carlos, Universidade São Paulo, São Carlos, 2005.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de Estística Experimental**. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 14 ed., Piracicaba-SP, 2001. 477p.

PROTA. Plant Resources of Tropical Africa. **PROTA 7 (1): Madeira**. 2010. Disponível em: <http://database.prota.org/PROTAhtml/Dendrocalamus%20giganteus_En.htm>. Acesso em: 08 de maio de 2011.

QISHENG, Z. Characteristic and Prospects for Processing Approaches for Bamboo Resources, in: **PROCEEDING OF INTERNATIONAL WORKSHOP ON BAMBOO INDUSTRIAL UTILIZATIONS**. International Network for bamboo and Rattan - INBAR, October, 2003.

QISHENG, Z.; SHENXUE, J.; YONGYU T. Industrial utilization on bamboo. International Network for Bamboo and Rattan (INBAR). **Technical Report** n.26. Beijing, Republic of China, 2001.

QUIRARTE, J. R. **Pulpas termomecânicas**. México: Publicaciones do Instituto Tecnológico da Universidad de Guadalajara, 1991.

RAMOS, L. P. The chemistry involved in the steam treatment of lignocellulosic materials. **Química Nova**. v. 26, n. 6, p.863-871, 2003.

RAO, A. N.; RAMANATHA RAO, V. **Priority Species of Bamboo and Rattan**. International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI) and International Network of Bamboo and Rattan (INBAR). Beijing, China, 1998.

RAO, R.; SASTRY C. B. Bamboo panel boards - a state of the art review. **Technical Report**. n. 12. International Network for Bamboo and Rattan - INBAR, p.1-119, 1996.

REUBENS R. Bamboo in sustainable contemporary design. International for Bamboo and Rattan (INBAR), **Working Paper** n.60, Beijing, China, 2010.

REMADE. Processo produtivo de chapa de fibra de média densidade. **Revista da Madeira**, Curitiba - PR. Edição 71, maio de 2003. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=330&subject=MD F&title=Processo%20produtivo%20de%20chapa%20de%20fibra%20de%20m%E9dia%20densidade%20\(MDF\)](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=330&subject=MD F&title=Processo%20produtivo%20de%20chapa%20de%20fibra%20de%20m%E9dia%20densidade%20(MDF))>. Acesso em: 23 de março de 2011.

RIVERO, L. A. **Laminado colado e contraplacado de bambu**. Campinas: UNICAMP, 2003. 85 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

ROWELL, R.M.; LEVAN-GREEN, S. L. "Thermal Properties". In: **Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites**. Rowell, R.M. ed. Boca Raton, Florida: CRC, 2005.

SALGADO, A. L. B.; AZZINI, A.; CIARAMELLO, D.; MACEDO, E. L.; Instruções técnicas sobre o bambu. **Boletim Técnico**. Instituto Agrônômico de Campinas, Campinas, São Paulo. Maio, 1994. 44p.

SARTORI, E. M.; CARDOSO JUNIOR, R. **Estudos da utilização do bambu em estruturas de concreto armado e na construção civil**. UNIDERP, Campo Grande, 20p, 1997.

SEETHALAKSHMI K. K; MUKTESH K. M. S; SANKARA P. K.; SAROJAM N.: Bamboos of Indias: a compendium. Publisher: Peechi: Bamboo Information Centre, India, Kerala Forest Research Institute, and International Network for Bamboo and Rattan, Beijing, **Technical Report** n.17. 1998. p.89-129.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO e INSTITUTO DE PESQUISA AMBIENTAL DA AMAZÔNIA, 2011. Florestas Nativas de Produção Brasileiras. **(Relatório Técnico)**. Brasília, DF.

SILVEIRA, M. **A floresta aberta com bambu no sudoeste da Amazônia: padrões e processos em múltiplas escalas**. Edufac, Rio Branco, Acre. 2005. 157p.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA – SBS. **Fatos e Números do Brasil Florestal**, Dezembro/2008. Disponível em: < <http://www.sbs.org.br/Fatos eNumerosdoBrasilFlorestal.pdf>>. Acesso em: 26 de janeiro de 2011.

SOUSA, A. Vereador de Coelho Neto levanta voz contra o desemprego e o caos social. **Tribuna do Maranhão**, Maranhão, 9 outubro 2009. Disponível em: <<http://www.tribunadomaranhao.com.br/blog/vereador-de-coelho-neto-levanta-voz-contra-o-desemprego-e-caos-social-2584.html>>. Acesso em: 28 de julho de 2011.

SUNDS DEFIBRATOR. **Novedades de la industria del MDF**. Diretório mundial de fabricas. 1993.

SMITH, W.F. **Princípios de ciência e engenharia de materiais**. 3ª edição Portugal: McGraw-Hil, 1998, 896p.

TAI-HUI, W. Some ideas about the origen of bamboos. **Journal American Bamboo Society**. v.6 n.4, p.104-111, 1985.

TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI**. Testing and methods. Atlanta, 1994.

_____. **TAPPI**. Useful method T 236 om-99: Kappa number of pulp. Atlanta, GA, USA, 1999.

TEIXEIRA, A. A. **Painéis de bambu para habitação econômica: Avaliação do desempenho de painéis revestidos com argamassa.** 177 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília-UNB. Brasília, 2006.

THE “R” PROJECT FOR STATISTICAL COMPUTING. Disponível em: <<http://www.r-project.org/>>. Acessado em 25.01.2012

TITA, S. P. S.; PAIVA, J. M. F. de; FROLLINI, E. Resistência ao impacto e Outras Propriedades de Compósitos Lignocelulósicos: Matrizes termofixas Fenólicas Reforçadas com Fibras de Bagaço de Cana de Açúcar. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 12, n.4, p.228-239, 2002.

TOMAZELLO FILHO, M; AZZINI, A. Estrutura anatômica, dimensões das fibras e densidade básica de colmos de *Bambusa vulgaris* Schrad. **IPEF**, n.36, p.43-50, 1987.

TORQUATO, L. P. **Caracterização dos painéis MDF comerciais produzidos no Brasil.** 94 p. Dissertação (Mestrado) Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná, 2008.

UEDA, K. Culture of bamboo as raw material. Kyoto, **Association of Overseas Technical Scholarship**, 1987. 47p.

VENTANIA, L. Bambu e suas mil e uma utilidades. Artigo. **Revista Bem Público**, Curitiba, n.8 , ano 2, p.46-50, Junho- 2008.

VICK, C. B. **Adhesive bonding of wood materials.** Forest Products Laboratory. Wood handbook – Wood as an engineering material. Gen.Tech.Report FPL-GTR-113, Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1999. 463p.

WATKINSON, P. J.; VAN GOSLIGA N. L. Effect of humidity on physical and mechanical properties of New Zealand wood composites. **Forest Products Journal**, v.40, n.7-8, p.15-20, 1990.

WPIF - WOOD PANEL INDUSTRIES FEDERATION -. **Panel Guide**, annex 2E. 2008. Disponível em:< <http://www.wpif.org.uk/>>. Acesso em: 11 de maio de 2011.

WEBER, C. **Estudo sobre a viabilidade de uso de resíduos de compensados, MDF e MDP para produção de painéis aglomerados.** 90p. Dissertação (Mestrado) Pós-Graduação em engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná, 2011.

WOODSON, G. E. Properties of Medium-Density Fiberboard related to hardwood specific gravity. **In:** Tenth Particleboard Symposium, Washington State University, Pullman, p.175-192, 1976.

XUHE, C. Promotion of Bamboo for Poverty Alleviation and Economic Development **In:** PROCEEDING OF INTERNATIONAL WORKSHOP ON BAMBOO INDUSTRIAL UTILIZATIONS, October, 2003: International Network for bamboo and Rattan-INBAR, Nanjing Forestry University of China, 2003.

YOUNGQUIST, J. A. **Wood-based Composites and Panel Products**. Forest Products Laboratory. Wood handbook – Wood as an engineering material. Gen. Tech. Report FPL-GTR-113, Madison, WI: U.S Department of Agriculture. Forest Service, Forest Products Laboratory, 1999. 463p.

YOUNGQUIST, J. A.; ENGLISH, B. E.; SPELTER H.; CHOW P. Agricultural fiber in composition panels. **In:** Maloney, Thomas M., ed. **Proceedings** of the 27th international particleboard/composite materials symposium; 1993 March 30-31; April 1; Pullman, WA. Pullman, WA: Washington State University, 1993.

YUMING, Y.; CHAOMAO, H. **CHINA'S BAMBOO:** Culture, resources, cultivation, utilization. Published by International Network for Bamboo and Rattan (**INBAR**), Beijing, China, 2010.

ZEHUI, J. Characteristic and Prospects for Processing Approaches for Bamboo Resources **IN:** **PROCEEDING** OF INTERNATIONAL WORKSHOP ON BAMBOO INDUSTRIAL UTILIZATIONS. International Network for bamboo and Rattan-INBAR, October, 2003.

ZHOU, F. C. Studies on physical and mechanical properties of bamboo woods. **Journal of Nanjing Technology College of Forest Products**, v. 2, p.1-32, 1981.

ANEXOS

ANEXOS A - BOLETINS TÉCNICOS	140
ANEXOS B - TABELAS E GRÁFICOS	142

ANEXOS A - BOLETINS TÉCNICOS

	ESPECIFICAÇÃO DO PRODUTO
---	---------------------------------

Produto: GEWAX 60
 Descrição: Emulsão Líquida

Código: 5005

Característica		Método	Especificação
*	Cor	VISUAL	Creme
*	Aspecto	VISUAL	Emulsão Líquida
*	Densidade à 25°C	FQ - 003	0,920 à 0,960
	Solubilidade à 5% H ₂ O	FQ - 007	Pass
	Estabilidade Mecânica	FQ - 012	Pass
*	pH à 25°C	FQ - 004	8,5 à 10,5
	Dispersão	FQ - 013	Sem grumos
*	Água %	FQ - 006	38,0 à 42,0
*	Sólidos %	FQ - 006	58,0 à 62,0
*	Vis. Brookfield LVDV-I+ (#2,12 rpm), 25°C, cP	FQ - 010	100 à 800
*	Vis. Copo Ford 4", 25°C	FQ - 005	12,0 à 24,0 s

* Testes a serem realizados a cada recebimento.

 Aprovação Brasceras
 Gerente Geral

 Aprovação do Cliente / Data
 Nome:
 Cargo:
 Carimbo da Empresa

CASCAMITE MDF 8081®

Parte da marca CASCO® pertencente à Momentive

CARACTERÍSTICAS DO PRODUTO

CASCAMITE MDF 8081® é uma resina à base de uréia-formol, que apresenta-se na forma leitosa branca amarelada essencialmente não-volátil e não-inflamável. Desenvolvida para a fabricação de chapas de fibra de madeira de média densidade (MDF).

ESPECIFICAÇÕES DO PRODUTO

Propriedade	Método	Unidade	LIE - LSE
Teor de Sólidos	IT - 1973	%	66,0 - 68,0
Viscosidade	IT - 4011	cP	300 - 400
pH	IT - 1801	adm	7,6 - 8,2
Densidade	IT - 1974	g/cm ³	1,2877 - 1,2980
Gel Time (BWG)	IT - 1976	S	40 - 80
Formol Livre	IT - 1501	%	0,0 - 0,3

DURABILIDADE E ESTOCAGEM

A resina CASCAMITE MDF 8081® tem prazo de validade de vinte dias quando estocada a 20°C, ou dez dias a 30°C. Temperaturas mais altas reduzem o prazo de estocagem.

Recomenda-se um controle diário de viscosidade e pH do produto estocado.

Recomenda-se que seja estabelecido o controle da rotatividade da resina estocada, utilizando sempre a resina mais antiga.

MANUSEIO E TRANSPORTE

A resina CASCAMITE MDF 8081® não está classificada como produto perigoso, conforme Dec. 96.044 de 18/05/88 e Portaria 204 de 26/05/97, entretanto luvas impermeáveis e óculos de proteção devem ser utilizados no seu manuseio - A Momentive dispõe da Folha de Informação de Segurança (FISPQ) para fornecimento, com detalhes de segurança e proteção individual, relativos à sua linha de produtos.

UTILIZAÇÃO

Em caso de dúvidas na utilização ou propriedades do produto utilize o nosso serviço técnico



SAC
(41) 3212.1600
0800-7012969

Este Boletim Técnico é apenas informativo não devendo ser usado como especificação, podendo ser alterado a qualquer momento pela Momentive sem qualquer consulta prévia. As informações e recomendações aqui contidas constituem um serviço aos nossos clientes mas não os liberam de suas responsabilidades em pesquisar outras fontes de informação, nem do cumprimento de obrigações legais relativas à segurança da manipulação e ao uso do produto aqui referido. Informações adicionais sobre aplicações podem ser solicitadas diretamente ao nosso Departamento Técnico. A Momentive não assume qualquer responsabilidade pelo uso inadequado de seus produtos.

ANEXOS B: TABELAS E GRÁFICOS

Tabela B.1	Fator de correção das diferentes porcentagens do consumo de Permanganato de Potássio									
	P	0	1	2	3	4	5	6	7	8
30	0,958	0,960	0,961	0,964	0,966	0,968	0,970	0,973	0,975	0,977
40	0,979	0,981	0,983	0,985	0,987	0,989	0,991	0,994	0,996	0,998
50	1,000	1,002	1,004	1,006	1,009	1,011	1,013	1,015	1,017	1,019
60	1,022	1,024	1,026	1,028	1,030	1,033	1,035	1,037	1,039	1,042
70	1,044	1,046	1,048	1,050	1,052	1,055	1,057	1,059	1,061	1,064
80	1,066	1,068	1,070	1,072	1,074	1,077	1,079	1,081	1,083	1,086
90	1,088	1,090	1,092	1,094	1,096	1,099	1,101	1,103	1,105	1,108

NOTA: Os fatores da tabela são baseados na equação $\log K = \log \frac{P}{w} + 0,00093 (p - 50)$

Gráfico B.1 Análise Estatística – Gráficos Box-plots dos resultados experimentais

