



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

EUGENIO POLISTCHUK MISKALO

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DE
BAMBU (*Dendrocalamus giganteus*) NA PRODUÇÃO
DE PAINÉIS DE PARTÍCULAS ORIENTADAS**

CURITIBA

FEVEREIRO DE 2009

EUGÊNIO POLISTCHUK MISKALO

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DE
BAMBU (*Dendrocalamus giganteus*) NA PRODUÇÃO
DE PAINÉIS DE PARTÍCULAS ORIENTADAS**

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 em Engenharia de Materiais, do Departamento de Pesquisa e Pós-Graduação, do Campus de Curitiba, da UTFPR.

Orientador: Prof^a. Márcia Silva de Araújo, Ph.D.

CURITIBA

FEVEREIRO DE 2009

TERMO DE APROVAÇÃO

EUGÊNIO POLISTCHUK MISKALO

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DE BAMBU (*Dendrocalamus giganteus*) NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE PARTÍCULAS ORIENTADAS

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.

Prof. Giuseppe Pintaúde, Dr. Eng^o
Coordenador de Curso

Banca Examinadora

Prof. José Alberto Cerri, Dr.
(UTFPR)

Prof. Carlos Marcus Gomes da Silva
Cruz, D. Sc (UTFPR)

Prof. Luiz Kulchetski, Ph.D.
UEPG

Curitiba, 19 de fevereiro de 2009.

À minha esposa, Rosélia e a minha filha
Maria Eduarda.

Perdão por todo o tempo que passamos
afastados. Agradeço pelo amor, paciência
e compreensão durante o
desenvolvimento deste trabalho.

Dedico e ofereço.

AGRADECIMENTOS

À Professora Ph.D. Márcia Silva de Araújo, pela orientação, incentivo na realização deste trabalho.

Ao Professor Ph.D. Setsuo Iwakiri pelas sugestões apresentadas e ao Professor Ph.D. Jorge Matos pelo apoio e os valiosos ensinamentos transmitidos.

Aos funcionários do Laboratório de Engenharia Florestal da UFPR, em particular, ao Sr. Ademir Cavali e Srta. Rosillani Trianoski, pela colaboração na execução e ensaios.

À Empresa Hexion do Brasil pela doação da resina utilizada neste trabalho.

À Coordenação do Programa de Pós-Graduação do Curso de Engenharia de Materiais e Mecânica, pela aceitação no referido Curso.

À UTFPR que possibilitou a realização do Curso de Pós-Graduação.

Para todos que direta ou indiretamente colaboraram com a construção deste trabalho.

MISKALO, Eugênio P., **Avaliação do potencial de utilização de bambu *Dendrocalamus giganteus* na produção de painéis de partículas orientadas**, 2009, Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

RESUMO

O consumo de painéis de madeiras reconstituídas tem se tornado crescente, implicando, por conseqüência, na utilização de madeiras oriundas de reflorestamentos, tradicionalmente de *Pinus* e *Eucalyptus*, constituídos por fibras longas e curtas respectivamente, exigindo a ampliação e a reposição de áreas de plantios de forma acelerada. Neste trabalho, o objetivo é avaliar o potencial da utilização de bambu como alternativa para fabricação de painéis de partículas orientadas – OSB (*Oriented Strand Board*). A espécie de bambu estudada foi o *Dendrocalamus giganteus*, constituída por fibras médias. Foram produzidos painéis com teores de 4, 6 e 8% de resina à base de fenol-formaldeído. A parte experimental foi dividida em duas etapas. A primeira teve por finalidade conhecer a variação de densidade com a altura relativa do bambu, de forma a separar partículas com características distintas, e proceder a escolha da parte do colmo com densidade mais próxima da indicada por MALONEY, a fim de confeccionar os painéis com características similares às de OSB de *Pinus*, utilizando a mesma técnica de fabricação. Para a segunda etapa foi utilizado um planejamento experimental para a obtenção de painéis de bambu com partículas com duas orientações de corte e três quantidades de adesivo. Os ensaios físicos e mecânicos dos painéis foram executados em conformidade com as normas EN 300/93 europeia e ASTM 1037-1996, americana. Os resultados indicaram que painéis feitos com o corte do bambu na direção tangencial com 6% de resina é o mais adequado para a produção em escala, visto o seu maior rendimento e ao seu comportamento mecânico ser comparável ao de OSB comercial, segundo as normas citadas.

Palavras-chave: OSB, bambu, propriedades mecânicas.

MISKALO, Eugênio P., **Evaluation of the potential application of *Dendrocalamus giganteus* bamboo on Oriented Strand Boards production**, 2009, Essay (Materials Engineering Masters Degree) – Mechanic and Materials Engineering Post Graduation Program, UTFPR, Curitiba, 2009.

ABSTRACT

The consumption of restored wood boards has increased, bringing along the use of woods derived from reforestation, traditionally from *Pinus* and *Eucalyptus*, composed of long and short fibers respectively, which demand the enlargement and replacement of the plantation areas quickly. In this essay, the main objective was to measure the potential application of the bamboo as an alternative to make boards of Oriented Strand Board – OSB. The kind of bamboo studied was the *Dendrocalamus giganteus*, which is made of medium strands. Boards were produced with 4, 6 and 8% contents of phenol-formaldehyde resin. The experimental work was divided in two stages. The purpose of the first stage was to study the variation of density and the relative highness of the bamboo studied, in order to separate particles with different characteristics, and proceed the selection of the stem part with density more similar to the one indicated by MALONEY, with the purpose of making boards with similar characteristics to *Pinus* OSB boards, using the same production technique. On the second stage, experimental planning was applied to obtain bamboo boards of particles with two slit orientation and three numbers of adhesive. The physical and mechanical tests were performed according to the European patterns EN 300/93 and American patterns ASTM 1037-1996. The results indicated that the boards made in bamboo at the tangential direction at 6% of resin is the most appropriate to produce on a large scale, considering that its yield and mechanical behavior is comparable to commercial OSB, in agreement to quoted patterns.

Keywords: bamboo, OSB, mechanical properties.

SUMÁRIO

RESUMO.....	v
ABSTRACT	vi
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xiii
LISTA DE EQUAÇÕES	xvi
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xvii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xviii
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivos.....	4
1.1.1 Objetivo geral	4
1.1.2 Objetivos específicos.....	5
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	6
2.1 Bambu	6
2.1.1 Anatomia do bambu	7
2.1.2 Grã.....	7
2.1.3 Composição química do bambu.....	15
2.1.4 Produtividade do bambu.....	17
2.1.5 Características da espécie <i>Dendrocalamus giganteus</i>	19
2.2 Painéis de Madeira.....	21
2.2.1 Painéis de partículas orientadas	21
2.2.2 Especificações de OSB segundo a EN 300/1993.....	23
2.2.3 Características das partículas longas/retangulares	24
2.2.4 Propriedades Físicas e Químicas das Partículas	27
2.2.5 Tipos de adesivos.....	28
2.2.6 Mecanismos de adesão.....	30
2.2.7 Conformação dos painéis.....	32
2.2.8 Propriedades físicas dos painéis.....	34
3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	37
3.1 Materiais	37
3.1.1 Adesivo de Fenol-Formaldeído	37
3.1.2 Bambu	37
3.1.3 Seqüência de Experimentos	39
3.2 Extração, Corte e Coleta de Dados no Bambuzal	41
3.2.1 Extração dos bambus.....	41

3.2.2	Corte transversal dos colmos no bambuzal	42
3.2.3	Coleta de dados	43
3.3	Avaliações dos Colmos em Laboratório	44
3.3.1	Diâmetros em função das alturas.....	44
3.3.2	Ensaio de absorção de água em amostras de bambu.....	45
3.3.3	Determinação da densidade básica	45
3.3.4	Determinação do pH.....	47
3.4	Corte Longitudinal e Transversal	47
3.5	Produção de Partículas	49
3.5.1	Separação e seleção das partículas por tamanho e qualidade	51
3.5.2	Teor de umidade das partículas	52
3.6	Produção dos Painéis	52
3.6.1	Impregnação.....	54
3.6.2	Formação de colchão	54
3.6.3	Prensagem	54
3.7	Produção dos Corpos de Prova	56
3.8	Propriedades Físicas dos Painéis	58
3.8.1	Determinação da densidade do painel.....	59
3.8.2	Inchamento em espessura (IE)	60
3.8.3	Ensaio de absorção de água (AA)	61
3.9	Propriedades Mecânicas dos Painéis	61
3.9.1	Ensaio para determinação da ligação interna (LI)	62
3.9.2	Ensaio de resistência à compressão (CP)	62
3.9.3	Ensaio de resistência em flexão.....	62
3.10	Análise Estatística	64
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	65
4.1	Análise dos Colmos.....	65
4.1.1	Avaliações dos colmos no bambuzal	65
4.1.2	Avaliações dos colmos em Laboratório.....	67
4.2	Avaliação do pH	72
4.3	Análise de Partículas.....	72
4.4	Análise das Propriedades Físicas dos Painéis	74
4.5	Análise das Propriedades Mecânicas dos Painéis	77
4.5.1	Ligação Interna.....	77
4.5.2	Resistência à Compressão	78
4.5.3	Resistência em Flexão	80
5	CONCLUSÕES.....	85
5.1	Sugestões para trabalhos futuros	86
5.2	Considerações.....	87
	REFERÊNCIAS	88
	APÊNDICE A – QUANTIFICAÇÃO DE MATERIAIS POR PAINEL.....	96

APÊNDICE B – TABELAS COMPLETAS99

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1– Projeção da cadeia dos negócios com madeira no Sul do Brasil	3
Figura 2.1 – Aspectos morfológicos e anatômicos do colmo. Foto do Autor (2008)....	8
Figura 2.2 – Detalhe da distorção fibro-vasculares nodal. Foto do Autor (2008).....	8
Figura 2.3 – Aspectos morfológicos e anatômicos do colmo. Fonte: http:waynesword.palomar.edu, modificado por Silva (2005)	9
Figura 2.4 – Detalhe dos conjuntos vasculares, parênquima e fibras do bambu, seção transversal do gênero <i>Dendrocalamus giganteus</i> (UFPR, Laboratório de Botânica, 2008)	12
Figura 2.5 - Seção longitudinal indicando os elementos anatômicos do <i>Dendrocalamus giganteus</i> . Feixes de fibras e células parenquimatosas. Fonte: Laboratório de Botânica, UFPR (2008)	12
Figura 2.6 – Características anatômicas do bambu, (LEE <i>et al.</i> 1996)	13
Figura 2.7 – Corte ortogonal esquemático do bambu, conforme modelo (AMADA <i>et al.</i> , 1996), mostrando diferentes tensões entre os feixes e a matriz.	13
Figura 2.8 – Distorção dos feixes fibro-vasculares na região nodal – LIESE, 1998 ..	14
Figura 2.9 - Corte transversal dos parênquimas dos colmos do <i>D. giganteus</i> com aumento de 3.000 X com grãos de amido. Fonte – ESPELHO, J. C. C., 2007.....	17
Figura 2.10 – Orientações das partículas de madeiras ou fibras vegetais em painéis de Oriented Strandboard (Fonte: MASISA).....	23
Figura 2.11 – Orientações das partículas em painéis de OSB (Fonte: MASISA)	23
Figura 2.12 – Classificação com base na caracterização da matéria-prima, pelo processo e pela massa específica. Fonte: Suchsland e Woodson (1986)	25
Figura 2.13 – Estrutura do adesivo fenol-formaldeído. PREECHATIWONG, W. <i>et al.</i> , 2006).....	30
Figura 2.14 – Caixa formadora utilizada orientar as partículas na formação do colchão.....	33

Figura 3.1 – Mapa da retirada das amostras de Bambu (Autor, 2008).....	38
Figura 3.2 – Touceira típica de bambu <i>Dendrocalamus giganteus</i> e identificação e seleção dos colmos. Fotos do Autor	39
Figura 3.3 – Fluxograma do procedimento experimental de produção do OSB de bambu <i>D. giganteus</i>	40
Figura 3.4 – Altura padrão do primeiro corte. Foto do autor (2008).	42
Figura 3.5 – Esquema de corte do colmo de bambu(<i>D.giganteus</i>)que será utilizado na fabricação de painel OSB.Fonte – Proyeto Guadua	43
Figura 3.6 - Esquema da determinação dos diâmetros externos dos colmos. Figura do Autor.....	44
Figura 3.7 – Ilustração do processo de obtenção de partículas de <i>Dendrocalamus giganteus</i> . Figura do Autor.	48
Figura 3.8 – Antes e após o corte longitudinal. Foto do Autor.....	49
Figura 3.9 - Confeção dos blocos (<i>blocks</i>) padronizados. Fotos do Autor.	50
Figura 3.10 – Partículas oriundas do corte tangencial, à esquerda, e radial, à direita. Foto do Autor.	51
Figura 3.11 – Prensagem do painel. Foto do Autor.....	55
Figura 3.12 – Painel tipo OSB com bambu <i>D.giganteus</i> já consolidado. Foto do Autor.....	56
Figura 3.13 –Esquema para retirada dos corpos de prova de OSB obtidos do <i>Dendrocalamus giganteus</i> . Figura do Autor.	58
Figura 3.14 – Dimensões do corpo de prova para ensaio de densidade.	59
Figura 4.1 – Touceira típica de bambu <i>Dendrocalamus giganteus</i> utilizada na fabricação de OSB. (Foto do Autor, 2008)	65
Figura 4.2 – Vista superior de um colmo cortado transversalmente, na seção intermediária do <i>Dendrocalamus giganteus</i>	68
Figura 4.3 – Corte transversal do bambu <i>Dendrocalamus giganteus</i> no comprimento intermediário. Fotos do Autor, aumento de 16 vezes).....	69

Figura 4.4 – Fotos comparativas das secções transversais, A, B e C. Fotos do Autor.....71

Figura 4.5 – Corte Radial e Tangencial (Aumento de 16 X). Foto do Autor. 2008. ...73

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Características Físicas e Morfológicas das <i>gimnospermas</i> e <i>angiospermas</i>	6
Tabela 2.2– Características físicas de seis diferentes espécies de bambu concernentes ao comprimento internodal, diâmetro externo e espessura da parede.....	10
Tabela 2.3 – Propriedades mecânicas do bambu <i>Dendrocalamus giganteus</i> , LIMA Jr <i>et al.</i> (2000)	15
Tabela 2.4 - Composição química média (BRITO <i>et al.</i> , 1987)	16
Tabela 2.5 - Comparação da produção anual de bambu e madeira (t/ha/ano).	19
Tabela 2.6 – Dimensões e massa de colmos de diversas espécies (valores médios).....	20
Tabela 2.7 – Requisitos em termos de valores limites para fins comparativos (EN-300/1993) com os resultados deste trabalho.	24
Tabela 2.8 - Dimensões dos elementos de madeira	26
Tabela 3.1 –Características da resina fenólica CASCOPHEN, da Hexion	37
Tabela 3.2 – Planejamento Experimental.....	53
Tabela 3.3 – Avaliação das propriedades dos painéis OSB e normas utilizadas.	57
Tabela 4.1 - Resultados das medidas físicas dos colmos.	66
Tabela 4.2 - Informações das massas dos colmos de bambu coletados	66
Tabela 4.3 –Tabela com as espessuras e os diâmetros das regiões inferior, intermediária e superior dos colmos de <i>Dendrocalamus giganteus</i>	68
Tabela 4.4 – Valores das densidades e das absorções de água das regiões inferior (A), média (B) e superior (C) dos colmos	70
Tabela 4.5 – Relação entre a massa dos colmos com e sem diafragma e ainda a massa das partículas resultantes dos cortes tangenciais e radiais	74

Tabela 4.6 – Valores de densidade feitos com a região superior dos colmos (A) e montados com partículas oriundas do corte tangencial e radial.....	75
Tabela 4.7 – Valores de razão de compactação (densidade média do painel/densidade média do bambu, sendo a densidade do bambu igual a 0,54 g/cm ³).....	75
Tabela 4.8 – Valores de absorção de água e de inchamento em espessura dos painéis feitos com a região inferior (A) dos colmos e montados com partículas oriundas do corte tangencial	76
Tabela 4.9 – Valores de absorção de água e de inchamento em espessura dos painéis feitos com a região inferior (A) dos colmos e montados com partículas oriundas do corte radial.....	76
Tabela 4.10 – Valores de ligação interna dos painéis feitos com a região inferior (A) dos colmos e montados com partículas oriundas do corte tangencial e radial...	78
Tabela 4.11 – Valores de módulo elástico à compressão dos painéis feitos com a região inferior (A) dos colmos e montados com partículas oriundas do corte tangencial.....	79
Tabela 4.12 – Valores de módulo elástico à compressão dos painéis feitos com a região inferior (A) dos colmos e montados com partículas oriundas do corte radial.....	79
Tabela 4.13 – Valores de resistência à compressão dos painéis feitos com a região inferior (A) dos colmos e montados com partículas oriundas do corte tangencial.....	79
Tabela 4.14 – Valores de resistência à compressão dos painéis feitos com a região inferior (A) dos colmos e montados com partículas oriundas do corte radial	80
Tabela 4.15 – Valores de módulo elástico em flexão dos painéis feitos com a região inferior (A) dos colmos e montados com partículas oriundas do corte tangencial	81
Tabela 4.16 – Valores de módulo elástico em flexão dos painéis feitos com a região (A) dos colmos e montados com partículas oriundas do corte radial	82

Tabela 4.17 – Valores de resistência em flexão dos painéis feitos com a região inferior (A) dos colmos e montados com partículas oriundas do corte tangencial.....	83
Tabela 4.18 –Tabela com os valores das resistência em flexão dos painéis feitos com a região inferior (A) dos colmos e montados com partículas oriundas do corte radial.	83

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 2.1 – Razão de compactação.....	35
Equação 3.1 – Determinação do diâmetro externo médio.....	45
Equação 3.2 – Absorção de água em bambu.....	45
Equação 3.3 – Densidade básica.....	46
Equação 3.4 – Teor de umidade das partículas	52
Equação 3.5 – Determinação da densidade do painel.....	59
Equação 3.6 – Inchamento em espessura	60
Equação 3.7 – Absorção de água em painel	61
Equação 3.8 – Ensaio para determinação da ligação interna.....	62
Equação 3.9 – Módulo de elasticidade em flexão	63
Equação 3.10 – Resistência em flexão	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA	- Absorção de Água
ASTM	- American Society for Testing Materials
AA ₂	- Absorção de Água em 2 horas
AA ₂₄	- Absorção de Água em 24 horas
COPANT	- Comisión Panamericana de Normas Técnicas
CP	- Compressão Paralela
Dp	- Densidade do Painel
Db	- Densidade básica
d ₁ , d ₂	- Diâmetros internos ortogonais
D ₁₂	- Densidade à 12% de umidade
EN	- European Standard
e	- Espessura
F	- Força
FE	- Flexão Estática
FF	- Fenol-Formaldeído
g/cm ³	- Gramas por centímetro cúbico
ha	- Hectare
IE	- Inchamento em Espessura
kg/m ³	- Quilograma por metro cúbico
kgf/cm ²	- Quilograma força por centímetro quadrado
LAMAR	- Laboratório de Desenvolvimento de Materiais e Aplicação de Resíduos
L	- Longitudinal
LI	- Ligação Interna
M	- Massa
M ₁₂	- Massa à 12% de umidade
MDF	- Medium Density Fiberboard
ME	- Módulo de Elasticidade
OSB	- Oriented Strand Board, chapas de partículas "strand" orientadas
R	- Radial
RC	- Razão de Compactação
T	- Tangencial
TR	- Tensão de ruptura
U	- Umidade
UF	- Uréia-Formaldeído
UFPR	- Universidade Federal do Paraná
UR	- Umidade Relativa
V	- Volume

LISTA DE SÍMBOLOS

- ε - Deformação
- $\varnothing_1, \varnothing_2$ - Diâmetros externos ortogonais
- \varnothing - Diâmetro nominal médio
- || - Paralelo
- \perp - Perpendicular

1 INTRODUÇÃO

O bambu tem um ciclo de desenvolvimento rápido, tornando-o um recurso natural altamente atrativo se comparado com demais espécies arbóreas dos gêneros comerciais existentes, quais sejam: *Pinus* e *Eucalyptus*. Além das aplicações tradicionais de bambu na construção civil, em fôrmas para concreto, o bambu pode ser aplicado na fabricação de laminados utilizando-se de resinas poliméricas sob determinadas condições como temperatura e pressão (SILVA, 2004). Uma das vantagens do bambu, tal como o *Pinus* e *Eucalyptus*, é poder ser cultivado em praticamente todo o Brasil e ter ciclos de produção curtos, não necessitando formação de estoques o que elimina oscilação de preço do insumo em função da sazonalidade, necessitando apenas de política de incentivos governamentais para que se torne auto-sustentável.

A produção desta gramínea no Brasil tem-se restringido a pequenas propriedades rurais sem maiores preocupações com relação à produtividade, atendo-se basicamente à proteção de encostas, efeitos ornamentais e confecção de móveis rústicos. O mercado caminha rapidamente na direção da aplicação de produtos ecologicamente “corretos”, tendo esses produtos aceitação crescente pelo consumidor consciente, favorecendo a cultura ao desenvolvimento de tecnologias alternativas em diversos ramos comerciais.

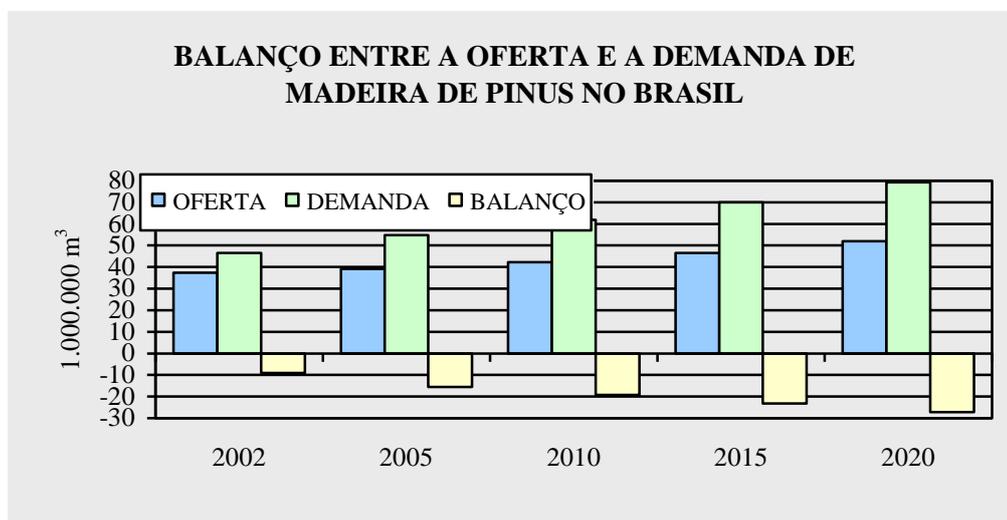
Na Construção Civil, a qualidade final do produto é preocupação inerente aos processos construtivos assim como a utilização de materiais alternativos, que possibilitem maior produtividade com menor custo por metro quadrado por parte de empresas. Devido à boa resistência à tração, rusticidade em diferentes terrenos, rapidez no desenvolvimento de suas propriedades físicas, mecânicas e boa produtividade. O bambu tem sido apontado como alternativa para a Construção Civil se manejado corretamente e com pesquisas sobre as propriedades físico-mecânicas das várias espécies.

A grande vantagem do bambu em comparação com as espécies arbóreas do gênero *Eucalyptus* e *Pinus* além das características tecnológicas, é a viabilidade de seu cultivo em todo o território nacional, e ainda, de baixo valor comercial. Pode

servir como complemento do plantio de espécies como de *Pinus* e *Eucalyptus*, para produção de celulose e material alternativo para confecção de painéis.

Neste contexto, a utilização de recursos naturais renováveis é basicamente a essência de qualquer programa e/ou projeto de sustentabilidade. São necessárias também a implementação de pesquisas tecnológicas de suas propriedades, desde o plantio até sua destinação final, com a adequação das plantas industriais das madeiras. O risco da falta de matéria-prima para confecção de MDF (*Medium Density Fiberboard*), OSB (*Oriented Strand Board*) e LVL (*Laminated Veneer Lumber*), entre outros, é evidente, visto que cada vez mais as toras de madeiras são consumidas com menores idades visando o atendimento ao mercado mundial de celulose e fibras, indicando tendência à exaustão das reservas florestais. Esta realidade torna imprescindível a busca de novas matérias-primas para indústria moveleira, celulose e madeira. O bambu no Brasil, contrariamente à madeira, ainda não sofre exploração a nível industrial, contudo pode substituí-la em grande número de aplicações, como por exemplo: carvão, painéis laminados, fibras celulósicas para papel, entre outras. Através do manejo da cultura e exploração racional, poderá diminuir o consumo exercido sobre determinados tipos de espécies florestais e nativas, permitindo a preservação destes recursos naturais (JIANG e MING, 1992). No caso do Brasil, sobre as florestas nativas e especificamente sobre a região Amazônica. O bambu de modo geral, vem sendo reconhecido comercialmente pelas suas propriedades mecânicas e pelas suas perspectivas tecnológicas. Conforme aumentam as utilidades da madeira, e o número de consumidores, o mercado aumenta sua pressão sobre os recursos florestais existentes conforme análise da Figura 1.1 - balanço oferta/procura. Ainda com referência à Figura 1.1, observa-se a tendência do mercado para o aumento de consumo (Oferta/procura) de espécies tradicionais pelas indústrias de base florestal. Isto implica na procura de alternativas viáveis implicando no desenvolvimento tecnológico destas espécies. Busca-se por meio deste estudo, dentro das possibilidades oferecidas pela matéria-prima disponível na zona litorânea do Estado do Paraná, chegar ao melhor produto acabado com aproveitamento mais eficiente além de auferir maior rentabilidade financeira pelo acréscimo de valor agregado ao produto final.

Para se minimizar os reflexos na economia, o mercado madeireiro procura desenvolver novos processos e novos produtos que requerem novas tecnologias para otimizar o uso dos novos recursos disponíveis. A rentabilidade da exploração da madeira fez com que surgissem diversas empresas especializadas em reflorestamento e no desenvolvimento de mudas de árvores que cresçam em menor período de tempo. Utilizando-se material genético selecionado e melhorado através da clonagem, procura-se desenvolver novas espécies de *Pinus* e *Eucalyptus* com altura e diâmetros maiores. Tal alternativa visa aumentar a produção por hectare para reverter a tendência indicada na Figura 1.1, ou ao menos minimizar o déficit. Considerando a atual falta de madeira no mercado mundial a tendência dos países produtores não deve ampliar seus volumes de exploração e, o mercado será cada vez mais dependente de madeiras reconstituídas e seus produtos. Esta realidade torna imprescindível a busca de novas matérias primas para indústria moveleira, celulose e madeireira.



Fonte: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2002

Figura 1.1– Projeção da cadeia dos negócios com madeira no Sul do Brasil

Cabe ressaltar a importância da escolha de espécies de rápido crescimento, com vistas à oferta de volume de matéria-prima para uso madeireiro e moveleiro na forma de painéis de madeira reconstituída. Maloney (1993) e Moslemi (1974)

afirmam que as espécies de madeira, (tradicionalmente *Pinus* e *Eucalyptus*) com densidade de até $0,55 \text{ g/cm}^3$, são as mais recomendadas para produção de chapas de partículas.

O déficit de madeira previsto para o setor industrial poderá gerar um aumento considerável no preço do produto, com sérias conseqüências para as pequenas indústrias de desdobramento e fabricação de lâminas, afetando a disponibilidade de empregos, principalmente nas regiões do centro e sul do Paraná. (SOUZA, 2005). É interessante frisar que no Brasil existem avanços nas pesquisas do *Pinus* e *Eucalyptus*, principalmente na embriogenese somática, melhoramento florestal e clonagem. No Brasil, a Champion Papel e Celulose – Mogi da Cruzes em São Paulo, num projeto pioneiro, foi o primeiro a usar o bambu para produção de papel e celulose, contudo, o projeto teve que sofrer modificações em função da dificuldade de corte e estilitagem (devido ao teor de sílica), do transporte e da baixa densidade.

A escolha do material bambu para este trabalho justifica-se pelos seguintes pontos de vistas:

- A produção de painéis de madeira reconstituída está, atualmente, limitada a poucas espécies oriundas de reflorestamentos; surge assim a necessidade de se pesquisar novas alternativas florestais capazes de se incorporar ao grupo de madeiras hoje utilizadas.
- O bambu é um dos recursos naturais que menos tempo leva para ser renovado, não havendo nenhuma outra espécie florestal que possa competir em tempo de crescimento e aproveitamento por área (JARAMILLO, 1992).
- As suas propriedades estruturais, tomadas pelas relações de resistência, massa específica e rigidez superam as madeiras e o concreto, podendo ser comparadas (algumas espécies) até mesmo ao aço (JANSSEN, 2000).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo deste estudo é confeccionar painéis, e analisar o efeito da orientação dos cortes radiais e tangenciais do bambu, teor de resina, bem como a

interação entre esses fatores sobre propriedades físicas e mecânicas dos painéis de partículas de bambu reconstituídos.

1.1.2 Objetivos específicos

- Conhecer a variação da massa, da espessura, do número de nós e a densidade ao longo do comprimento dos bambus.
- Avaliar o efeito da orientação das partículas, do teor da resina, no inchamento ao longo da espessura e absorção de água, como propriedades físicas.
- Avaliar o efeito dos teores de resina e dois tipos de corte diferentes com seus efeitos no módulo de elasticidade, na resistência em flexão, na tensão de ruptura, na ligação interna, dos painéis reconstituídos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Bambu

O bambu pertence à família das gramíneas (Poaceae), subfamília bambusoideae e classe *Monocotyledoneae*, divisão *Angiospermae*, (Tabela 2.1) existindo registro de aproximadamente 75 gêneros e mais de 1200 espécies (LIESE, 1998). A espécie estudada foi a *Dendrocalamus giganteus*, devido à facilidade de obtenção em plantios isolados, sem manejo, nos municípios de Antonina e Morretes. Na Tabela 2.1 são apresentadas genericamente as características das principais espécies vegetais, tendo em vista a classificação do bambu neste contexto.

No Sudeste Asiático, o bambu é classificado como produto não-madeireiro (BEER, 1996). Pela tabela acima o bambu é enquadrado como um vegetal que pelas características de seu colmo é considerado planta lenhosa.

Tabela 2.1 – Características Físicas e Morfológicas das *gimnospermas* e *angiospermas*

FAMÍLIA	DESCRIÇÃO	EXEMPLO
GIMNOSPERMAS	Árvores típicas do clima frio formando grandes florestas no hemisfério Norte, com algumas espécies tropicais e existentes desde o período carbonífero. Tem a copa de acículas, em forma de cone, daí serem conhecidas também como coníferas. Sua madeira é mole e macia e tem grande importância comercial.	PINUS, ARAUCÁRIA, CIPESTRE, SEQUOIA, etc.
ANGIOSPERMAS	São de evolução mais recente que as gimnospermas, desde o Cretáceo e se dividem em dois sub-grupos:	
	<p>MONOCOTILEDÔNEAS: São as palmas e as gramíneas. As palmas têm tronco de baixa duração e baixa resistência mecânica, apresentando difícil processamento. As gramíneas têm fibras duras e compactas que podem ter grande resistência mecânica como o bambu.</p> <p>DICOTILEDÔNEAS: São as árvores comuns, chamadas também como folhosas, presentes em todo o globo terrestre principalmente nos trópicos. São chamadas de madeiras duras, que tem grande resistência mecânica, e portanto, grande valor comercial e cuja copa de folhas se espalha de forma não ordenada.</p>	<p>PALMAS, CÔCO, DENDÊ, CARNAÚBA, GRAMÍNEAS, BAMBU, etc.</p> <p>EUCALÍPTO, CEDRO, MOGNO, IPÊ, PEROBA, PAU D'ARCO, JACARANDÁ, EUCALYPTUS, CEDRO, etc.</p>

FONTE: HELLMEISTER, 1983.

2.1.1 Anatomia do bambu

O bambu é um material classificado como gramínea, contudo algumas espécies têm estrutura lenhosa e como as árvores, apresentam semelhança em termos de morfologia: como raízes, colmo, formação de galhos a parte foliar, propriedades e resistência Figura 2.3. Esta espécie vegetal apresenta como características internós longos, cilíndricos interligados pelas partes salientes denominadas diafragmas ou nós. Os internós longos apresentam comprimentos que possibilitam sua utilização comercial. Tem variações significativas em suas propriedades tanto na direção vertical – altura (longitudinalmente da base do colmo em direção à sua posição apical) bem como na seção transversal - espessura (através da parede do colmo). Por meio da análise da Tabela 2.2 constata-se que em quase todas as espécies de bambu relacionadas, o comprimento internodal atinge seu valor máximo na parte intermediária do colmo. Após atingir seu comprimento máximo, inicia-se a formação dos ramos e folhas, logo em seguida começa o amadurecimento adquirindo sua máxima resistência entre três a seis anos.

2.1.2 Grã

O termo grã se refere ao paralelismo das fibras do bambu em relação ao eixo longitudinal, enquanto que nas coníferas as grãs podem ser dos tipos direitos ou regulares, e ainda, inclinados ou irregulares. No bambu estudado, basicamente a grã é direita, ou seja, apresenta tecidos axiais paralelos ao eixo longitudinal do colmo, Figura 2.1. Este arranjo permite uma elevada resistência mecânica (característica importante do bambu), facilita o processamento de corte no sentido tangencial. O bambu, após o corte tangencial apresenta superfícies regulares, devido à grã reta, que são parcialmente interrompidas na região saliente dos internós denominados nós, Figura 2.2.

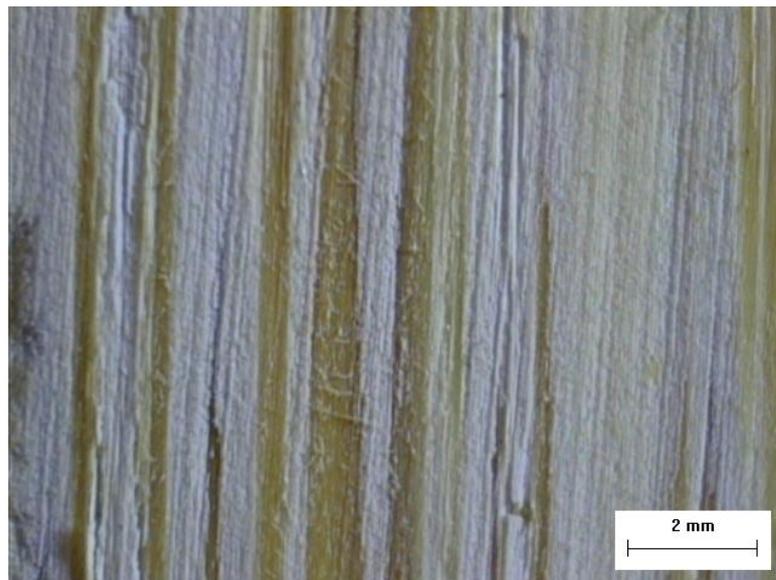


Figura 2.1 – Aspectos morfológicos e anatômicos do colmo. Foto do Autor (2008)

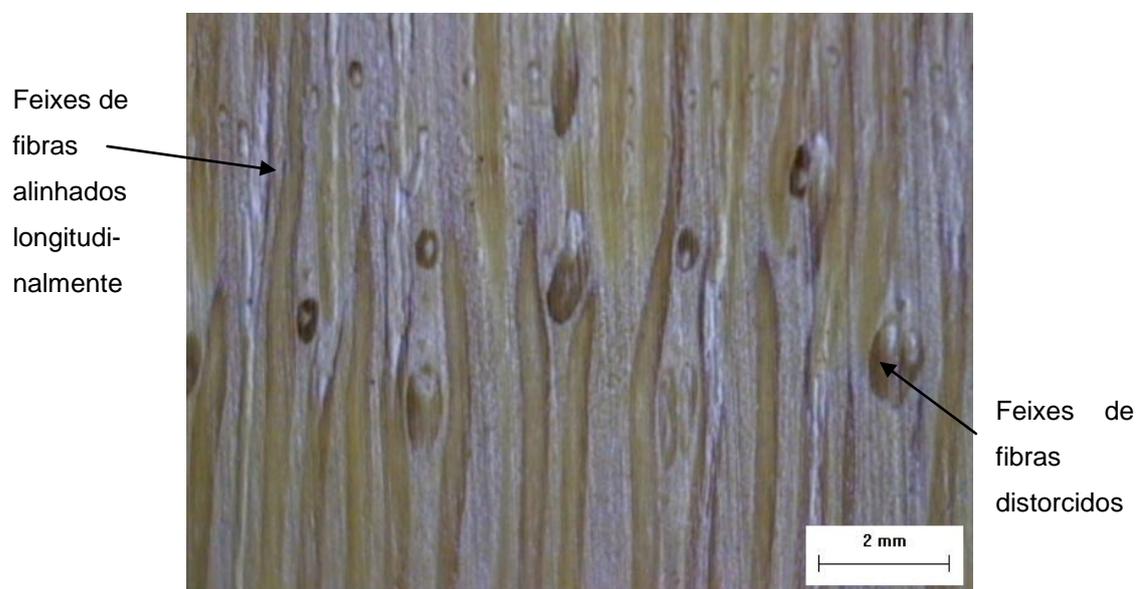


Figura 2.2 – Detalhe da distorção fibro-vasculares nodal. Foto do Autor (2008)

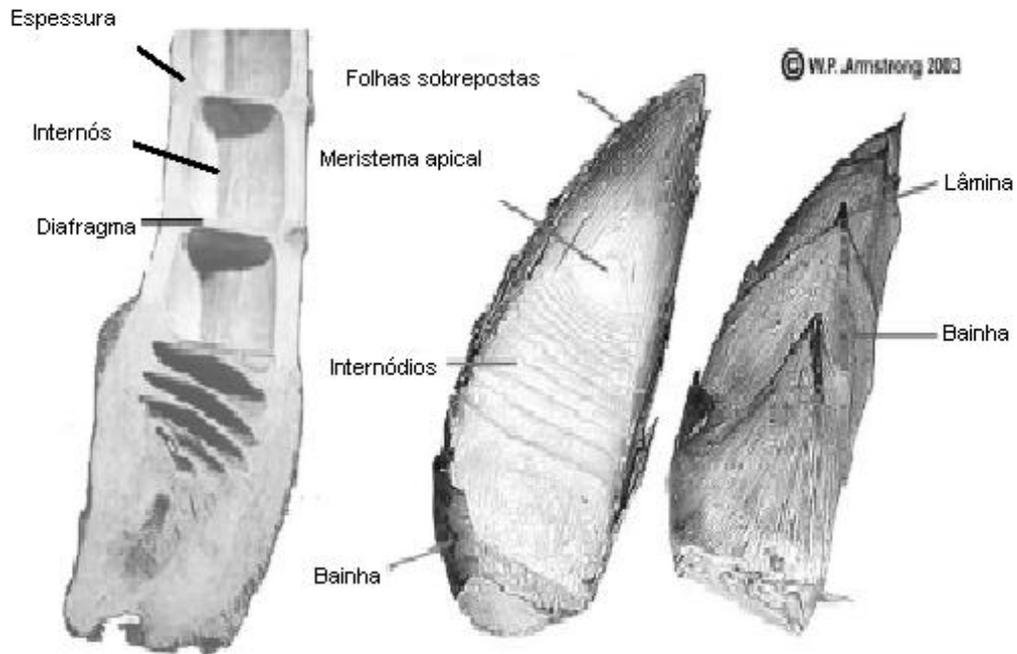


Figura 2.3 – Aspectos morfológicos e anatômicos do colmo. Fonte: <http://waynesword.palomar.edu>, modificado por Silva (2005)

Os nós promovem a conexão transversal com a parede do colmo via diafragma, por se tratarem de peças ocas (LIESE, 1998).

São muitas as espécies difundidas pelo território nacional, com diferentes propriedades físicas e mecânicas, contudo, pelo corte acima, observa-se a semelhança em termos de anatomia. Ou seja, para cada finalidade fabril, procura-se a espécie mais adequada em termos de otimização das propriedades físicas ou mecânicas.

Tabela 2.2– Características físicas de seis diferentes espécies de bambu concernentes ao comprimento internodal, diâmetro externo e espessura da parede

Características Físicas		Espécies de Bambu					
		<i>Dendrocalamus giganteus</i>	<i>Guadua angustifolia</i>		<i>Guadua tagoara</i>	Matake	Mosso
			SP	JB-RJ			
Comprimento total (m)		18,85	15,55	20,91	15,23	20,45	15,68
Comprimento internodal (mm)	Mínimo	244,00	138,50	197,50	201,25	65,50	40,00
	Máximo	508,00	315,75	426,60	447,75	509,00	395,50
	Média	392,68	229,80	321,70	346,09	335,30	290,43
Diâmetro externo (mm)	Mínimo	9,83	31,21	21,67	47,00	10,50	25,36
	Máximo	131,49	101,86	135,30	106,63	118,25	131,78
	Média	79,87	79,56	90,37	83,70	70,22	78,63
Espessura da parede (mm)	Mínimo	2,00	3,00	9,13	8,02	2,99	2,32
	Máximo	17,03	22,13	21,84	26,21	25,16	19,86
	Média	7,97	10,80	12,26	14,74	8,93	11,17

Fonte: PUC – Certificação digital 0210646 CA. Rio de Janeiro.

Este material pode ser considerado como compósito natural no qual a lignina atua como matriz e as fibras como reforço. A lignina é um armazenador de energia, sendo responsável pela transferência de tensões entre as fibras (JAIN *et al.*, 1992). As fibras de celulose promovem grande resistência à tração, em flexão e rigidez na direção longitudinal do bambu.

A fração volumétrica destas fibras varia ao longo da seção transversal do bambu, sendo que na parte mais externa a fração volumétrica é maior em relação à parte mais interna (GHAVAMI & MARINHO, 2003). Quando a seção do bambu é cortada, vários pontos de cor escura podem ser observados. Esses pontos são feixes de fibras circundados por canais vasculares, como pode ser visto na Figura

2.4. A estrutura anatômica da seção transversal é determinada pelo formato, tamanho, disposição e número de canais vasculares. Estes são compostos ditos mecânicos, os quais são formados por dois tipos de vasos, o metaxilema e o floema, e pelo protoxilema que são as artérias principais. Os vasos vasculares são cercados por células parenquimatosas, Figura 2.4.

Segundo LOPEZ (2003) a espessura da parede do colmo decresce da base até o seu topo, devido à redução da parte interna, que contém mais parênquimas e menos vasos vasculares. A parte superior do colmo que contém mais vasos vasculares e menos parênquimas, implicando em maior densidade. Assim, as resistências à tração e em flexão aumentam com o aumento de altura (LOPEZ, 2003).

A baixa estabilidade dimensional atribuída ao bambu está relacionada à grande percentagem de tecido parenquimatoso (de paredes delgadas) que colapsam durante a perda de água, mascarando desta forma os resultados da retratibilidade. A retratibilidade é influenciada ainda pelo estágio de maturação das fibras e densidade dos feixes fibro-vasculares, sendo que os colmos mais velhos apresentam-se mais estáveis (NASCIMENTO e DELLA LUCIA, 1994). As fibras vegetais como consequência de sua estrutura, apresentam elevada capacidade na absorção de água com implicações no inchamento em espessura do painel.

O bambu não apresenta meristema cambial e elementos radiais, o que dificulta o movimento de distribuição transversal da seiva, pelo fato de serem peças ocas. (Figura 2.6). Os nós promovem a conexão transversal com a parede do colmo via diafragma, por se tratarem de peças ocas (LIESE, 1998).

O colmo do bambu é formado por feixes fibro-vasculares (60 a 70% de sua massa) e tecido parenquimatoso rico em amido (LIESE, 1998).

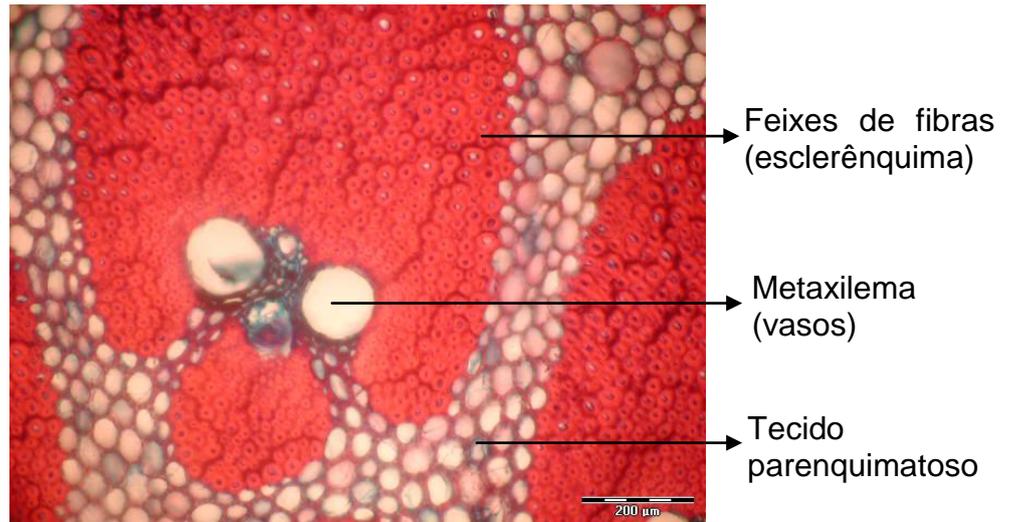


Figura 2.4 – Detalhe dos conjuntos vasculares, parênquima e fibras do bambu, seção transversal do gênero *Dendrocalamus giganteus* (UFPR, Laboratório de Botânica, 2008)

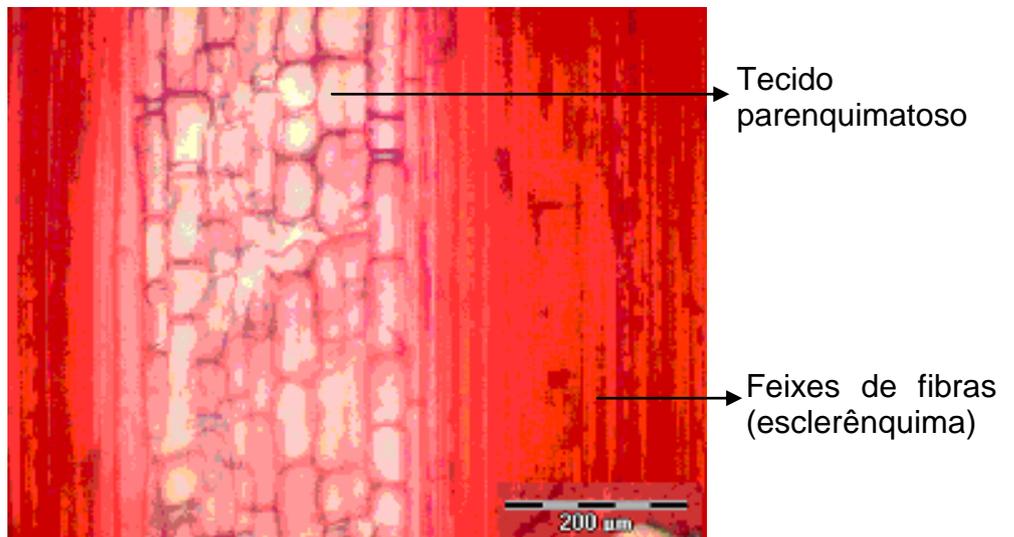


Figura 2.5 - Seção longitudinal indicando os elementos anatômicos do *Dendrocalamus giganteus*. Feixes de fibras e células parenquimatosas. Fonte: Laboratório de Botânica, UFPR (2008)

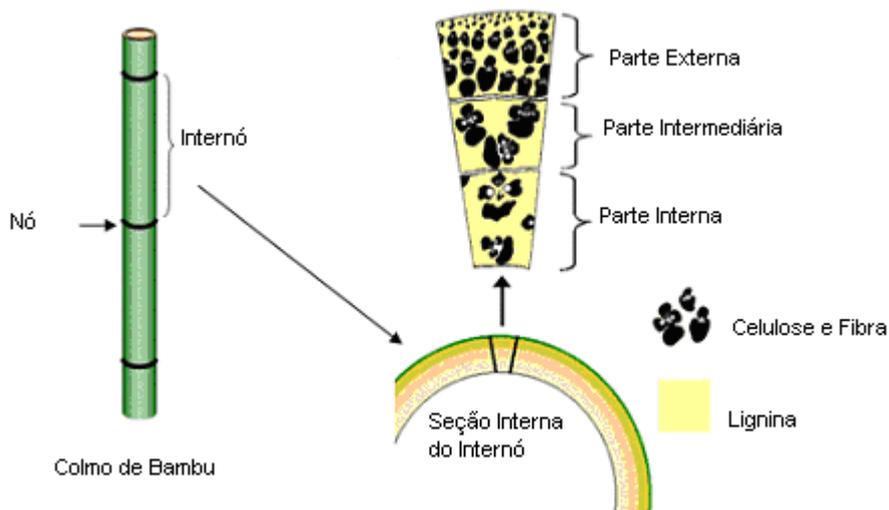


Figura 2.6 – Características anatômicas do bambu, (LEE *et al.*1996)

É necessário estudar a microestrutura do bambu que, de modo genérico pode ser considerado como material compósito constituído de fibras longas e alinhadas de celulose imersas em matriz de lignina. Em estudos realizados sobre a microscopia do bambu, AMADA *et al.* (1996) constataram que os feixes de fibras são mais concentrados à medida que se situam mais próximos da parede externa, Figuras 2.6 e 2.7, de forma que possa resistir à força do vento que é a maior solicitação durante a vida deste material na natureza.

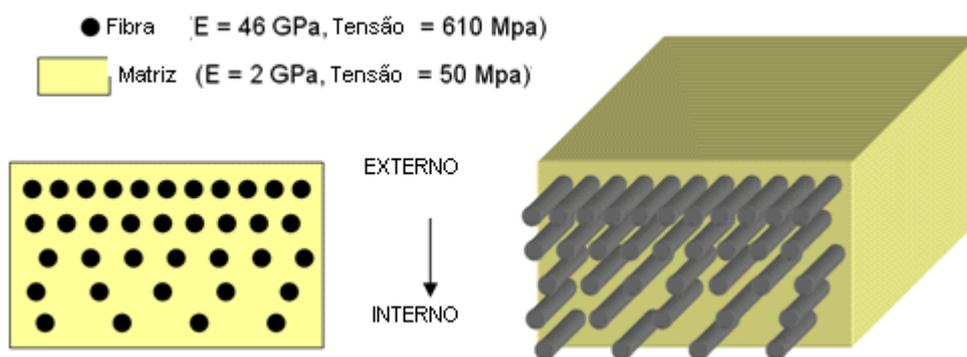


Figura 2.7 – Corte ortogonal esquemático do bambu, conforme modelo (AMADA *et al.*, 1996), mostrando diferentes tensões entre os feixes e a matriz.

O comprimento das fibras varia através da parede do colmo, sendo mais curtas na parte externa, mais longas no centro e decrescem em comprimento em direção à região interna.

O comprimento de fibras diferencia as folhosas das coníferas, pois as primeiras apresentam fibras curtas medindo entre 1 e 1,5 mm, enquanto que as últimas medem entre 3 à 5 mm (Mac Donald, 1969). As fibras do bambu estudado, *D. giganteus* tem comprimento médio de 3,2 mm podendo ser considerada de tamanho intermediário (ABTCP, 1971). A redução no comprimento das fibras é acompanhada por mudanças de largura e forma na região internodal, Figura 2.8

O módulo de elasticidade varia em função da posição do colmo, sendo maior nos nós por apresentar maior teor de sílica (LIESE, 1998), o que justifica neste trabalho, o descarte dessa região do bambu estudado.

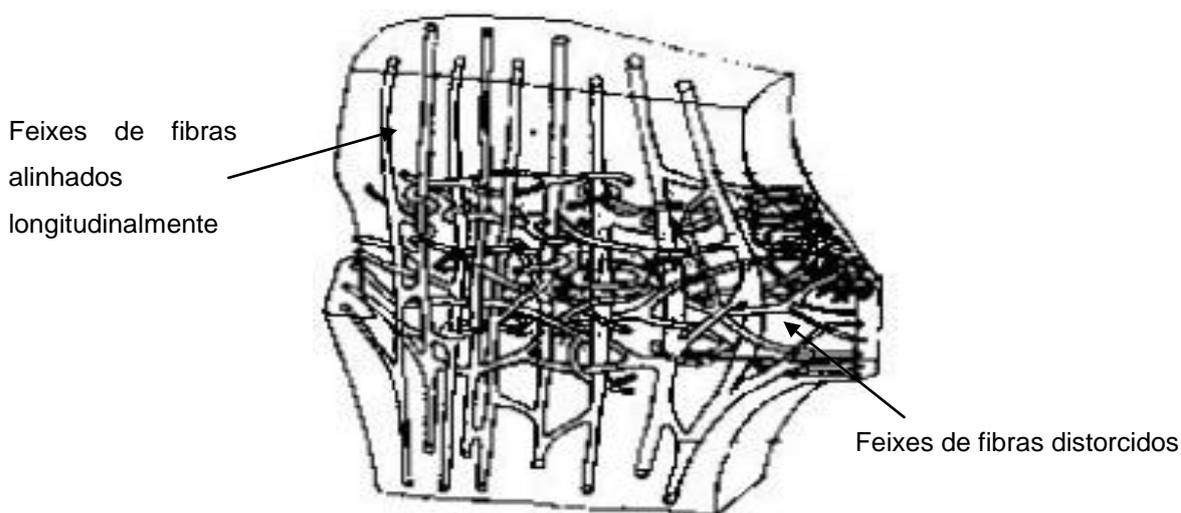


Figura 2.8 – Distorção dos feixes fibro-vasculares na região nodal – LIESE, 1998.

GHAVAMI e HOMBEECK (1981) observaram que na maioria das vezes, o rompimento ocorria no nó, confirmando a concentração de tensões neste ponto. Os pesquisadores constataram, ainda, que a resistência na parte basal ao longo do colmo apresentava maior carga de ruptura, devido à maior área transversal, Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Propriedades mecânicas do bambu *Dendrocalamus giganteus*, LIMA Jr et al. (2000)

Propriedades do bambu	Sem nó	Com nó
Módulo de elasticidade à tração (GPa)	23,75	13,14
Resistência à tração (MPa)	277,19	97,51
Módulo de elasticidade à compressão(GPa)	20,50	21,88
Resistência à compressão (MPa)	56,65	57,99

2.1.3 Composição química do bambu

As propriedades físicas e mecânicas estão correlacionadas às propriedades químicas e seu conhecimento contribui na identificação das espécies de bambu mais adequadas à aplicação na indústria no que tange ao aspecto da resistência mecânica e durabilidade (HIDALGO-LOPEZ, 2003). Os materiais lignocelulósicos possuem grupos hidroxilas polares devido predominantemente à celulose e à lignina, sendo que estes grupos têm facilidade em interagir com matrizes poliméricas polares, como no caso das resinas fenólicas (ROZMAN, 1998). A água apresenta algumas características diferenciadas em relação aos demais solventes e, devido à alta polaridade e capacidade de formar pontes de hidrogênio com estrutura polimérica, nota-se que a velocidade de evaporação é semelhante à dos solventes pesados. Esta taxa pode ser ainda mais reduzida de acordo com as condições ambientais na aplicação final do produto, como umidade relativa do ar elevada ou baixas temperaturas.

As propriedades físicas e mecânicas são funções da composição química, da proporção, da organização dos materiais e elementos constituintes do material lignocelulósicos (BERLYN, 1964). SALGADO e AZZINI (1994) afirmam que os colmos maduros apresentam melhor resistência em flexão e à compressão em relação aos colmos novos, pelo fato de terem sofrido o processo de lignificação. O bambu como a madeira é um material heterogêneo e anisotrópico.

O conhecimento da natureza química é de importância, pois se relaciona às propriedades, que conseqüentemente influirão na sua adequação para as diferentes formas de utilização. Portanto, somente através do conhecimento de sua

composição, bem como as características de seus constituintes podemos entender seu comportamento como material e posterior otimização de seu uso (OLIVEIRA, 1997). A Tabela 2.4 mostra a composição química média do bambu.

A presença do amido torna-se a principal característica dos colmos de bambu. Segundo AZZINI & GONDIM-TOMAZ (1996), além de amido, existem outros componentes como a celulose, hemicelulose e lignina. O amido tem a fórmula $(C_6H_{10}O_5)_n$, forma-se como produto da atividade celular de vegetais clorofilados e serve de reserva alimentar. Para efeitos comparativos com outras espécies, segue a Tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Composição química média (BRITO *et al.*, 1987)

Material	Lignina (%)	Holocelulose (%)	Extrativos totais (%)
<i>Eucalyptus urophylla (hibr.)</i>	25,1	69,6	5,3
<i>B. vulgaris vittata</i>	20,2	66,1	13,7
<i>B. tuldoides</i>	19,0	66,7	14,3
<i>B. vulgaris</i>	17,5	66,3	16,2
<i>D.giganteus</i>	23,4	63,7	12,9
<i>G. angustifolia</i>	20,6	60,4	19,0
Média-bambu	20,1	64,6	15,2

As células de parênquima dos nós e/ou diafragmas têm alto teor de amido (Figura 2.9), e as fibras e o protoxilema podem apresentar também inclusões deste (LIESE, 1998). O amido fornece energia para o espessamento das paredes, é atrativo a organismos xilófagos. A base contém menos amido, e observam-se maiores teores nos meses mais frios, como forma de suprir a demanda no período vegetativo, sendo que colmos mais maduros apresentam maiores teores (SULTHONI, 1987). Nota-se a presença de grânulos de amido não-tratados em um elemento de vaso, conforme a micrografia mostrada na Figura 2.9.

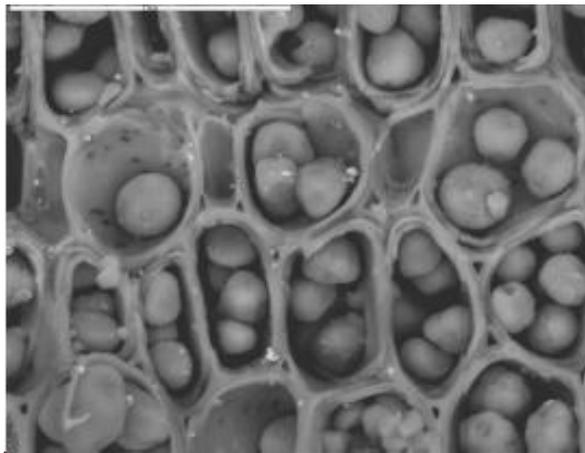


Figura 2.9 - Corte transversal dos parênquimas dos colmos do *D. giganteus* com aumento de 3.000 X com grãos de amido. Fonte – ESPELHO, J. C. C., 2007.

Há necessidade de se trabalhar com colmos maduros (3-5 anos), pois o processo de lignificação já se encontra encerrado e as propriedades mecânicas apresentam maiores valores. Outro fator a ser levado em consideração em materiais ligno-celulósico é o pH. De acordo com KOLLMANN e CÔTE JR (1975), o pH influencia diretamente a velocidade de cura do adesivo. A uréia-formaldeído cura mais rapidamente em pH ácido, da mesma forma que o fenol-formaldeído em pH alcalino. A capacidade tampão, por sua vez, é a capacidade química da base ou ácido necessário para equilibrar o pH correto à cura do adesivo.

2.1.4 Produtividade do bambu

Dados a respeito da produtividade dos bambus são muito variáveis, pois dependem da região e da espécie considerada. No Brasil, a espécie *D. giganteus* maduros, segundo PEREIRA & GARBITO (2003), o rendimento pode chegar a 70/t/ha/ano. Esses números demonstram a viabilidade de seu uso na indústria madeireira com material alternativo. Uma gestão apropriada do cultivo de bambu (desbaste, corte seletivo, tratamentos culturais) aumentaria o rendimento e permitiria a obtenção de colmos de qualidade superior. A adubação correta provocaria melhora acentuada na qualidade final do produto. Do ponto de vista agrônomo, o interesse pelo bambu está relacionado com a perenidade das touceiras e seu rápido

desenvolvimento vegetativo que viabiliza colheitas com ciclos curtos, de dois a quatro anos e elevados níveis de produção (BERALDO e AZZINI, 2004).

As possibilidades de uso de bambus, de modo geral podem ser ampliadas com a melhoria de sua resistência, através de métodos mais aperfeiçoados de colheita, secagem e proteção contra inimigos naturais. Há a possibilidade de melhoria genética através do uso da clonagem para melhoria de produtividade, o que vem sendo realizado por empresas especializadas. A colheita seletiva é a mais indicada, pois não destrói a sub-estrutura (rizomas) do bambuzal. Ao contrário de determinadas espécies comercialmente utilizadas a árvore é um indivíduo que, uma vez cortado, perde toda sua sub-estrutura, exceção para algumas angiospermas. Os bambus, de modo geral, lançam rizomas produzindo novos colmos (MOREIRA e GHAVAMI, 1995). No que tange à época do ano mais apropriada, SALGADO e AZZINI (1994) recomendam que a colheita do material seja feita durante os meses mais frios, de maio a agosto, os quais apresentam menor atividade de insetos e fungos, sendo que estes últimos atacam os colmos com teor de umidade acima de 20 a 22% aproximadamente. O processo de secagem exige cuidados, pois o ataque do caruncho (*Dinoderus minutus*) ocorre quando o bambu está seco. A secagem pode ser melhorada com técnicas naturais, tal como a de manter os ramos nos colmos meios artificiais, com uso do calor (UNICAMP, 2003).

Cabe ressaltar que a escolha desta espécie de rápido crescimento deu-se em função da mesma apresentar uma variação de \varnothing 0,20 m na área do primeiro corte e \varnothing 0,10 m na ponteira num comprimento entre 5,0 a 6,5 m, que proporciona biomassa adequada. Com vistas à necessidade de volume de oferta de matéria-prima para uso na forma de painéis de madeira reconstituída essa peculiaridade é fundamental, Tabela 2.5. No caso da madeira de reflorestamento, Maloney (1993) e Moslemi (1974) afirmam que as espécies de madeira com densidade de até 0,55 g/cm³ são as mais recomendadas para produção de partículas ou lâminas.

Tabela 2.5 - Comparação da produção anual de bambu e madeira (t/ha/ano).

Produção anual	Verde		Seco		Verde		Seco	
	t/ha/ano	Total	Total	colmo	tronco	colmo	Tronco	
<i>Bamboo</i>		78,30	47,40	55,70		36,00		
<i>Pinus</i>		17,50			14,00		10,80	
Relação		4,5	3,5	4,0		3,3		

Fonte: JANSSEN (2005)

No caso do *D. giganteus* segundo estudo de Ghavami (1992), densidade básica atinge até 0,80 g/cm³, o que permite sua utilização para confecção de painéis com diferentes densidades. Além das questões relativas ao cultivo da matéria prima industrial, manejo e corte, há necessidade de se implantar a unidade fabril, nas proximidades do local, pois no transporte, que encarece o produto final, os volumes ocupados são maiores devido à particularidade de serem ocos.

2.1.5 Características da espécie *Dendrocalamus giganteus*

As excelentes propriedades mecânicas do bambu desta espécie estão diretamente relacionadas com a quantidade de umidade dos colmos, idade, densidade do bambu, mas principalmente pela quantidade de fibras que garantem sua resistência. É um material que tem alto índice de absorção de umidade e baixo módulo de elasticidade, porém, sua resistência à compressão, flexão e tração, em função de seu peso específico, estimula sua utilização como elemento estrutural (LOPEZ, 1981). De acordo com JANSSEN (2000), suas propriedades estruturais em algumas espécies formadas pelas relações resistência/massa específica, superam as madeiras e o concreto podendo ser comparada ao aço.

O *D. giganteus* perfilha para se desenvolver, sendo escolhido por se tratar de uma espécie tecnicamente viável, em função da massa e principalmente devido à sua resistência mecânica.

Além disso, a espécie apresenta outras características que favorecem a sua escolha com base no seu potencial aproveitamento produtivo, Tabela 2.6, quais sejam:

- Colmos com grandes dimensões, podendo atingir até 36 m;
- Grande espessura da parede dos colmos, variando de 1 cm a 3 cm;
- Grande comprimento dos internós, variando entre 20 cm a 50 cm;
- Aproveitamento quase total do colmo.

Tabela 2.6 – Dimensões e massa de colmos de diversas espécies (valores médios)

Espécies	Comprimento útil (m)	Diâmetro (cm)	Massa (kg)	Comprimento internós (cm)
<i>Bambusa vulgaris</i>	10,70	8,10	12,50	32,00
<i>Bambusa vulgaris var. vittata</i>	9,30	7,20	10,30	34,00
<i>Bambusa oldhami</i>	9,90	6,90	8,40	41,00
<i>Bambusa nutans</i>	10,00	5,80	7,80	38,00
<i>Bambusa tulda</i>	11,90	6,60	11,90	49,00
<i>Bambusa beecheyana</i>	9,00	7,80	10,50	28,00
<i>Bambusa stenostachya</i>	15,10	8,20	17,50	35,00
<i>Bambusa tuldoides</i>	9,20	4,30	3,80	46,00
<i>Bambusa textilis</i>	8,10	4,80	3,30	44,00
<i>Bambusa ventricosa</i>	9,30	4,80	4,50	44,00
<i>Bambusa maligensis</i>	7,40	4,30	3,50	28,00
<i>Bambusa dissimulator</i>	9,50	4,60	5,20	41,00
<i>Dendrocalamus asper</i>	14,50	12,20	61,30	34,00
<i>Dendrocalamus latiflorus</i>	11,50	11,50	40,70	37,00
<i>Dendrocalamus strictus</i>	10,50	7,60	15,00	38,00
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	16,00	14,20	84,50	34,00
<i>Ochlandra travancorica</i>	11,30	9,40	26,00	40,00
<i>Phylostachys edulis</i>	4,40	13,60	2,10	15,00

Comprimento útil até diâmetro útil de 3 cm. (Fonte: SALGADO e AZZINI, 1994).

2.2 Painéis de Madeira

2.2.1 Painéis de partículas orientadas

O arranjo ou orientação das partículas em relação umas às outras, sua concentração e distribuição tem influencia significativa sobre a resistência e outras propriedades dos compósitos reforçados. Em relação à orientação das partículas, são possíveis duas configurações: um alinhamento paralelo ao eixo longitudinal das partículas em uma direção única e, outro alinhamento totalmente aleatório. Normalmente, as partículas contínuas estão alinhadas enquanto que as descontínuas podem estar alinhadas, orientadas aleatoriamente ou parcialmente orientadas. A melhor combinação geral dos compósitos é obtida quando a distribuição é uniforme. Compósitos com partículas alinhadas e contínuas têm respostas mecânicas que dependem de diversos fatores, entre os quais os comportamentos tensão-deformação das fases partículas e matriz, as frações volumétricas das fases e a direção na qual a tensão ou carga é aplicada.

As chapas de OSB são produzidas com partículas longas e retangulares com incorporação de resina à prova d'água, orientadas em três (ou mais) camadas durante o processo de deposição e consolidadas por meio de prensagem à quente, ou à frio, conforme o tipo de resina empregada. Os parâmetros mais importantes no controle do processo de manufatura de chapas de OSB são: densidade da madeira e do painel; geometria das partículas e sua orientação; proporção da orientação de partículas em camadas face-centro da chapa; conteúdo de umidade do colchão; quantidade de resina e parafina; tempo de fechamento da prensa; tempo e temperatura de prensagem. (CLOUTIER, A., 1998). O painel tipo "Oriented Strand Board", conhecido mais comumente como "OSB" tem propriedades e usos destinados principalmente às aplicações estruturais. Este nome designa painel de madeira cuja característica principal, é a orientação de partículas com geometria controlada mecanicamente através de equipamentos de corte. O consumo de painéis OSB à base de *Pinus* tem aumentado em função de fatores como:

1. Redução da disponibilidade de toras de boa qualidade para laminação;
2. OSB pode ser produzido de toras de baixo valor comercial;

3. Largura das chapas OSB é determinada pela tecnologia de produção e não em função do comprimento das toras, como no caso de compensados (IWAKIRI, 1999).

A geometria das partículas, a sua orientação e formação em três camadas (face-centro-face) conferem às chapas OSB maior resistência mecânica (flexão estática) e melhor estabilidade dimensional (Figura 2.10 e 2.11). Segundo Maloney (1977), a relação entre o comprimento e a largura das partículas deve ser de no mínimo um para três para proporcionar boa orientação na confecção dos painéis (Figura 2.10), sendo esta relação utilizada por Marra (1992) para classificar as partículas como retangular (*strand*). Rackwitz (1963), citado por Kelly (1977), encontrou um coeficiente de esbeltez (comprimento/espessura) ótimo na faixa de 100 a 130, ou seja, valores de módulo elástico aumentaram com o coeficiente de esbeltez, evoluindo até a faixa citada, mas ao se aumentar esta razão para níveis acima desta faixa, os valores para módulo elástico permaneceram constantes. SHULER & KELLY (1976) recomendam que, para otimizar o desempenho das propriedades mecânicas dos painéis, o coeficiente de esbeltez fique na faixa compreendida entre 150 e 200.

Em geral, os compósitos termofixos (ou termorrígidos) contendo fibras vegetais apresentam uma melhoria em suas propriedades mecânicas com o aumento do comprimento das partículas até certo limite. Após este ponto pode ocorrer a diminuição nos valores das propriedades, como a resistência à tração, com o aumento do comprimento das partículas, devido ao contato que ocorre quando a partícula é impregnada com resina líquida e prensada em moldes para preparar compósitos em forma de placas ou laminados (JOSEPH, 1996).



Figura 2.10 – Orientações das partículas de madeiras ou fibras vegetais em painéis de Oriented Strandboard (Fonte: MASISA)

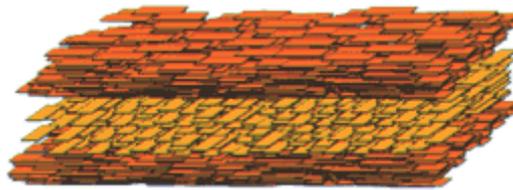


Figura 2.11 – Orientações das partículas em painéis de OSB (Fonte: MASISA)

2.2.2 Especificações de OSB segundo a EN 300/1993

A EN 300 define quatro tipos de OSB em termos do desempenho mecânico e a resistência à umidade:

- OSB/1 – Placas para usos gerais e placas para componentes interiores (incluindo mobiliário) utilizadas em ambiente seco.
- OSB/2 – Placas para fins estruturais utilizadas em ambiente seco.
- OSB/3 – Placas para fins estruturais utilizadas em ambiente úmido.
- OSB/4 – Placas para fins estruturais especiais utilizadas em ambiente úmido.

Optou-se por utilizar o OSB/3 como referência técnica pelo fato de tratar-se de um painel que pode ser utilizado em ambientes secos e úmidos, característica esta, proporcionada pela aplicação da resina fenólica, podendo, portanto, ser aplicado em

ambientes internos e externos, ou seja, multiuso. A escolha deu-se também pela emissão de baixos níveis de fenol e formaldeído livres, sendo classificados pela EN-120 como sendo do tipo E-1, sem possibilidade de provocar câncer aos usuários.

A utilização de lâminas de bambu *D. giganteus* ao invés do tradicional *Pinus* e *Eucalyptus*, é proposta usando material lignocelulósico alternativo que proporcione ao painel, resistência mecânica, trabalhabilidade, durabilidade similar ou superior ao da referência e preços inferiores através do manejo de plantios da espécie em estudo. A Tabela 2.7 estabelece requisitos mínimos e que serve de referência para este estudo.

Tabela 2.7 – Requisitos em termos de valores limites para fins comparativos (EN-300/1993) com os resultados deste trabalho.

Requisito para OSB/3					
Propriedade	Método de ensaio	Unidade	Gama de espessura (mm, nominal)		
			6 para 10	> 10 e < 18	18 para 25
Resistência em flexão - eixo maior	EN 310	N/mm ²	22	20	18
Resistência em flexão - eixo menor	EN 310	N/mm ²	11	10	9
Módulo de elasticidade em flexão - eixo maior	EN 310	N/mm ²	3500	3500	3500
Módulo de elasticidade em flexão - eixo menor	EN 310	N/mm ²	1400	1400	1400
Coesão interna	EN 319	N/mm ²	0.34	0.32	0.30
Inchamento em espessura - 24 h	EN 317	%	15	15	15

2.2.3 Características das partículas longas/retangulares

Os elementos de madeira se compõem basicamente na definição do tipo e tamanho da partícula ou fibra e sua homogeneidade em termos de granulometria, para determinar a nomenclatura de cada produto final. Tem-se uma pequena

variação na dimensão dos elementos. E estes, com suas características e designação, definirão as qualidades técnicas e formas do produto, Figura 2.12 e Tabela 2.8 (MARRA, 1992).

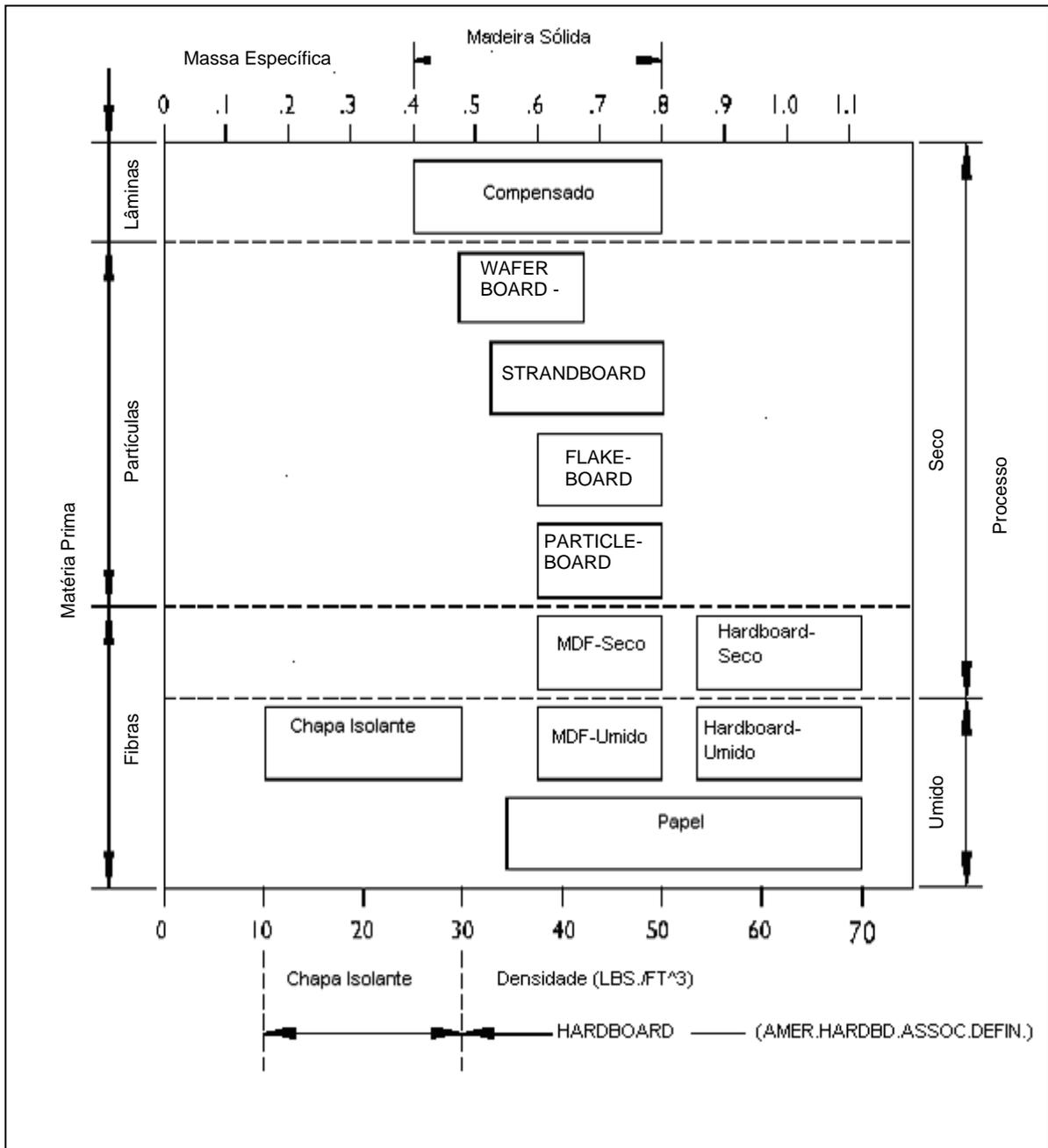


Figura 2.12 – Classificação com base na caracterização da matéria-prima, pelo processo e pela massa específica. Fonte: Suchsland e Woodson (1986).

Tabela 2.8 - Dimensões dos elementos de madeira

ELEMENTO	COMPRIMENTO (Pol.)	LARGURA (Pol.)	ESPESSURA (Pol.)	PRODUTOS
MADEIRA MACIÇA	4,0-20	4,0-12	0,5-2,0	VIGAS
LÂMINA	4,0-8,0	4,0-48	0,02-0,5	COMPENSADO/LVL
WAFER	1,0-3,0	1,0-3,0	0,025-0,05	WAFERBOARD
LASCAS (FLAKES)	0,5-3,0	0,5-3,0	0,010-0,025	FLAKEBOARD
LÂMINA RETANGULAR (STRANDS)	0,5-4,0	0,25-1,0	0,010-0,025	OSB
SILVERS	0,25-3,0	0,005-0,025	0,005-0,025	SILVERBOARD
PARTICULAS	0,05-0,5	0,005-0,050	0,005-0,050	AGLOMERADO
FIBRAS	0,05-1,0	0,005-0,020	0,001-0,003	CHAPAS DE FIBRAS
FIBRAS	0,04-0,25	0,001-0,003	0,001-0,003	PAPEL
CELULOSE/LIGNINA	DIMENSÕES MOLECULARES			PLÁSTICOS/FILMES

FORTE: MARRA (1992).

Segundo MOSLEMI (1974), partícula é o termo genérico para todos os elementos lignocelulósicos. Existem diferentes tipos de partículas: quanto à dimensão, à densidade e ao formato. Lascas (*flake*) são partículas planas, finas, com espessura média entre 0,2 e 0,4 mm, comprimento de 25 a 100 mm. Aparas (*shavings*) são partículas finas. As chapas com fins estruturais são normalmente divididas em 3 categorias quanto a densidade: baixa densidade ($0,58 \text{ g/cm}^3$); média densidade ($0,58 \text{ a } 0,79 \text{ g/cm}^3$) e alta densidade (acima de $0,79 \text{ g/cm}^3$).

Conforme a Figura 2.12, termo “partícula” é definido como o componente agregado de um painel de partículas de madeira ou qualquer outro material lignocelulósico, incluindo todas as menores subdivisões da madeira, fabricados por meios mecânicos.

2.2.4 Propriedades Físicas e Químicas das Partículas

O estudo das propriedades físicas das partículas do bambu é de grande importância, já que a densidade influencia a resistência mecânica, a qual é afetada pela umidade. O formato das partículas tem grande superfície específica, que é essencial para a eficiência da transferência de esforços pelo aumento de contato interfacial sólido-líquido. Na interface no material lignocelulósico é que se desenvolve a adsorção das moléculas da resina responsável pela transmissão de tensões, mas também acrescentar mecanismos de dissipação de energia durante o processo de propagação de trincas.

O teor de umidade das partículas é outro parâmetro importante no processo e nas propriedades das chapas de partículas. O conteúdo de umidade do colchão é um fator extremamente crítico não somente para o tempo de prensagem total, mas também no desenvolvimento do gradiente vertical da densidade. Fazendo analogia com a fabricação de painéis OSB de *Pinus*, deduz-se que uma chapa com maior teor de umidade nas superfícies, terá maior resistência em flexão e dureza, mas com ligação interna mais baixa no miolo da chapa (MALONEY, 1977).

O teor de umidade tem duas funções principais: transferir calor para a parte interna durante a prensagem e diminuir a resistência à compressão do material reduzindo, portanto, a pressão específica necessária. Quando o teor de umidade é elevado, ocorre um aumento de tempo no ciclo de prensagem, pois é necessário mais tempo para a retirada o excesso de umidade. Assim, as partículas apresentarão o máximo de resistência mecânica quando completamente secas e, o mínimo quando completamente saturadas e valores intermediários para diferentes teores de umidade entre esses extremos.

O teor de umidade de um colmo de bambu recém-cortado é de aproximadamente 80%. Este valor varia em função da idade e da posição escolhida para o corte para a amostragem além da época do ano em que foi cortado (BERALDO, 2003).

O bambu é um material higroscópico, que perde e ganha umidade de acordo com a umidade relativa do ambiente, até atingir sua umidade de equilíbrio que está

na faixa de 13 à 20%, respectivamente para os gêneros *Phyllostachys* e *Dendrocalamus* (HIDALGO-LOPEZ, 2003).

A umidade do bambu decresce conforme a altura, sendo a região basal, com maior teor de umidade, podendo-se estabelecer que os valores encontrados nesta região do colmo correspondem aos teores máximos de umidade (LIESE, W.; 1998) conseqüentemente ocorrendo nesta região, maior contração.

2.2.5 Tipos de adesivos

A adesão entre componentes de madeira, bem como entre outros materiais, depende de uma série de parâmetros relacionados às características físico-químicas do adesivo e do material a serem colados, do procedimento adotado na colagem, da forma geométrica e do tamanho das peças a serem coladas e, ainda, das condições a que as peças serão expostas, quando em serviço (SOBRAL FILHO, 1982; MARRA, 1992). A resistência, a estabilidade e a vida útil de uma estrutura colada dependem, em grande parte, da resistência, rigidez e durabilidade das ligações.

Além da escolha do adesivo, é importante definir o processo de colagem ideal para cada espécie, além de considerar, também, o tipo de fabricação e o nível de impacto que o produto vai passar. Para fazer a análise é preciso levar em conta a densidade de cada espécie, sua porosidade, dureza e conteúdo de resinas para, assim, estudar a aceitação do adesivo. Os adesivos orgânicos são divididos em naturais e sintéticos, sendo estes, os mais importantes empregados na indústria madeireira por apresentarem grande resistência à ação da água e de microorganismos.

• Termoplásticos

A maior parte dos adesivos termoplásticos é constituída por cadeias principais muito longas, de átomos de carbono ligadas covalentemente. As cadeias moleculares longas estão ligadas uma às outras através de ligações secundárias. Apresentam como característica principal a sua cura reversível. O grupo de acetatos sintéticos polivinílico, que são adesivos pré-polimerizados, é empregado em colagem de madeira, na qual a cura é feita por perda do solvente dispersante. Tem vida útil longa devido à alta estabilidade química e física. Tem grande resistência à ação de

microorganismos, apresentam propriedades de contato e prensagem exigindo pouca pressão na prensa (JESUS, 2000).

- **Termofixos**

Resinas termofixas são as que sofrem transformações irreversíveis quando submetidas ao aumento de calor, devido à formação de ligações covalentes, diferentemente dos termoplásticos que amolecem e fluem quando o calor e pressão são aplicados em mudanças reversíveis. Geralmente, simultânea a reação de polimerização se dá a cura, na qual o produto é estruturado tridimensionalmente, podendo ser degradado, mas não pode ser fundido (Billmeyer, 1970). Os termofixos não podem ser moldados após a cura, sendo que a conformação final do produto é dada através das formas.

O processo de cura de resinas é exotérmico, sendo crítico quando secções espessas são moldadas (De e White, 1996). Ou seja, a cura dos termofixos em molde aquecido e mostraram a existência de uma espessura crítica. Williams *et al.* (1985) encontraram que o plano mais quente nem sempre coincide com a linha central (menor temperatura) e que o tempo do ciclo de cura (maior espessura implica em maior tempo de prensagem) não é proporcional à espessura da peça.

A matriz polimérica escolhida foi a termofixa, que são particularmente adequadas como materiais para fabricação de compósitos, pela sua facilidade de adesão com as fibras. Foram exploradas as vantagens da cura à quente, facilidade da aquisição comercial e de processos de baixo custo. Dentre as resinas termofixas optou-se pelo FF que necessitam de aquecimento para sua reticulação.

A fabricação de painéis de bambu não apresenta sua estrutura e propriedades físico-mecânicas diferentes das estruturas das madeiras tradicionais. O adesivo fenólico utilizado, não foi modificado, pois a finalidade é de produzir painel que apresente resistência à umidade e resistência semelhantes ou superiores à estabelecida na Tabela 2.7.

Este adesivo, cuja estrutura química é apresentada na Figura 2.13 possui excelente propriedade de adesão, com resistência à umidade e ao oxigênio. Apresentam boa resistência ao calor e a produtos químicos. Seu ponto fraco são os

grupos hidroxila (OH) que o tornam sensível às substâncias alcalinas. (BATISTA, 2000).

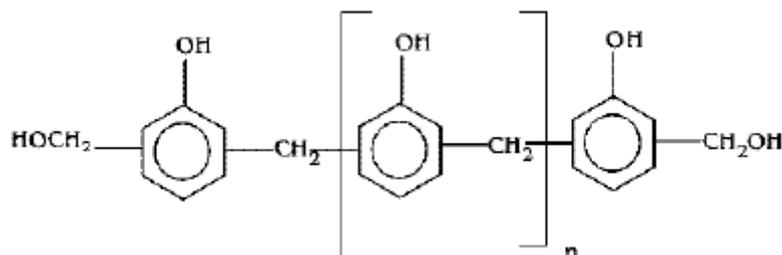


Figura 2.13 – Estrutura do adesivo fenol-formaldeído, PREECHATIWONG *et al.*, 2006

A cura dessa resina termorrígida, após sua polimerização, desenvolve com a superfície lignocelulósica, ligações cruzadas conferindo ao painel propriedades físicas e mecânicas adequadas em função do tempo, temperatura e do teor aplicado, baseado nos requisitos de projeto. No caso, a funcionalidade do monômero é que vai definir as características microestruturais da rede tridimensional, pois no decurso do tempo da cura, ocorre aumento do peso molecular do polímero. Sendo o formaldeído bifuncional e o fenol trifuncional, podem ser criadas três ligações, na razão molar 3:2. Há necessidade de adição de calor fornecido pela prensa, em torno de 130° C, embora a polimerização seja exotérmica, para que a cura se processe sob condições controladas, com vistas ao desempenho físico-mecânico do painel. A reação que se processa durante a polimerização é a de policondensação, podendo ser tanto em meio ácido como em meio básico, não sendo necessária a adição de catalisadores.

2.2.6 Mecanismos de adesão

Para composição de painel de madeira reconstituída, que é um material compósito, é necessário haver interação física e/ou química entre a matriz polimérica e o material lignocelulósico para que haja transferência dos esforços mecânicos.

No processo de adesão, o adesivo deve umedecer as fibras. Em seguida, deve fluir de forma controlada e durante a prensagem, adquirir a forma sólida. Uma ótima

ligação requer íntimo contato entre o adesivo e fibra. Isto é conseguido utilizando pressão e aquecimento (se for o caso da resina escolhida), ajustando a viscosidade do adesivo, transferindo o fluxo através dos pontos de contato. É bem conhecido que a compatibilidade entre o material lignocelulósico e a resina tem um papel fundamental na determinação das propriedades dos compósitos. Os materiais lignocelulósicos possuem grupos hidroxilas polares na superfície devido à celulose e à lignina, sendo que estes grupos têm grande facilidade em interagir com matrizes poliméricas polares, como no caso de resinas fenólicas. KNIGHT (1952), em seu trabalho, cita que Mc Bain define a adesão mecânica e a adesão específica, enquanto que a adesão química é citada por HOEKSTRA & FRITZIUS (1951).

- **Adesão mecânica** - O mecanismo de adesão ocorre através de enganchamento (*interlocking*) mecânico. A penetração e fluidez da resina em substratos porosos levam à formação de ganchos fortemente presos ao substrato, após a solidificação deste. Este tipo de adesão é eficaz quando a força é aplicada paralelamente à interface, aumentando a tensão de cisalhamento. Em muitos casos, a adesão mecânica não ocorre sem auxílio de outro mecanismo.
- **Adesão química** - A adesão ocorre através de ligações primárias (iônicas, covalentes, coordenadas e metálicas) e/ou através das forças intermoleculares. Acredita-se atualmente, que a adesão na interface, deve-se à ação das forças secundárias intermoleculares. Adesão química é formada pela adesão entre grupos químicos sobre as superfícies do compósito.
- **Adesão específica** – Processo ocorre entre duas superfícies lisas, onde as forças de adesão entre as macromoléculas são atribuídas às ligações químicas secundárias de atração, em especial as pontes de hidrogênio (KOCH *et al.*, 1987). Consideram-se também as forças entre as moléculas não polares, também conhecidas como forças de dispersão, responsáveis pela formação de cristalitos dos adesivos.

Adesão se daria através da difusão de segmentos de cadeias de polímeros. As forças de adesão podem ser visualizadas como as mesmas produzidas pela adesão mecânica. No entanto, as aplicações dessa teoria também são limitadas. A

mobilidade de longas cadeias de polímeros é bastante restrita, limitando-se severamente à interpenetração molecular proposta nesta teoria.

Para que ocorra adesão significativa entre duas superfícies, as camadas de polímeros hidratados devem ser comprimidas, o que termodinamicamente não é favorável.

Independente das teorias envolvidas na adesão pode-se dizer que o desenvolvimento de uma boa colagem depende essencialmente de três requisitos: adequado umedecimento proporcionado pelo adesivo líquido; cura do adesivo; suficiente capacidade de modificação da forma por parte do adesivo. Durante o processo de colagem podem-se atribuir ao adesivo as seguintes funções de movimento e mobilidade:

- a) **Fluidez** – refere-se ao escoamento da massa líquida do adesivo no plano de superfície do substrato;
- b) **Transferência** – refere-se ao movimento pelo qual o adesivo transfere-se ao substrato;
- c) **Penetração** – movimento do adesivo no sentido de penetrar a estrutura capilar e porosa do substrato;
- d) **Umedecimento** – movimento do adesivo no sentido de recobrir a estrutura microscópica do substrato adquirindo maior proximidade e contato molecular;
- e) **Cura** – movimentos envolvidos na mudança do estado líquido, incluindo difusão/evaporação do solvente, orientação molecular, polimerização e formação de ligação cruzada.

2.2.7 Conformação dos painéis

É recomendado por MALONEY (1993) que a razão de compressão, obtida ao dividir a densidade das chapas pela média das densidades das madeiras, deva ser superior a 1,30, que é o valor mínimo recomendado para fabricação de chapas com boa resistência mecânica.

O aparato e os equipamentos utilizados para confecção de painéis, para a orientação de partículas, são como apresentado na Figura 2.14, sendo: 1 – Estrutura

de madeira; 2 – Tampa de descarga; 3 – Lâminas de ferro; 4 – Caixa formadora; 5 – Colchão formado.

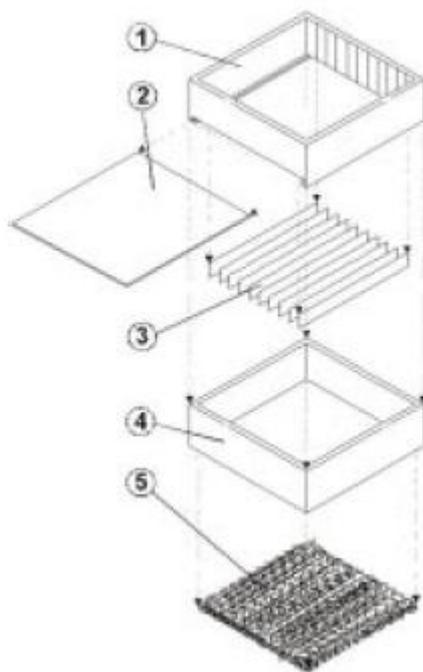


Figura 2.14 – Caixa formadora utilizada orientar as partículas na formação do colchão. Fonte: MENDES, 2001

A operação de prensagem tem como finalidade consolidar as partículas componentes do colchão em uma espessura previamente definida, e a temperatura deve polimerizar a resina sem que haja a degradação das fibras celulósicas e da própria resina. Durante esse processo, elimina-se parte dos espaços vazios do colchão, comprimindo a estrutura e, na seqüência, é assegurada a retenção do colchão consolidado após liberação da pressão com a abertura da prensa (KELLY, 1997). A prensagem é realizada para retirar o excesso de água que restou nos painéis após a absorção pelas fibras da resina utilizada.

De modo geral, a pressão aplicada varia de 12 a 40 kgf/cm². A principal variável que afeta a pressão é a densidade da matéria-prima. A pressão deve proporcionar suficiente contato entre as partículas e a diminuição dos espaços

vazios, dentro de um tempo de fechamento adequado que permita a penetração da resina (MALONEY, 1989).

2.2.8 Propriedades físicas dos painéis

As propriedades físicas dos painéis, geralmente, são expressas pela densidade, razão de compactação, absorção de água e inchamento em espessura após imersão em água por 2 e 24 horas. Aos resultados destas propriedades são associados ao grau de resistência à umidade. A seguir serão discutidas estas propriedades.

- Densidade

A densidade é um importante parâmetro para definir a razão de compactação, que é a relação entre a densidade do painel e a densidade do material empregado. A determinação deste parâmetro contribui para a avaliação das chapas. A densidade é considerada como um parâmetro de maior importância para determinação da qualidade da madeira. A densidade indica a quantidade aproximada de espaços vazios disponíveis para receber líquidos, como por exemplo, os adesivos. Assim, quanto menor for a densidade, maior será a permeabilidade de sua estrutura e, provavelmente, mais forte será a ligação interfacial entre o adesivo e o material lignocelulósico (MARRA, 1992). No entanto, quanto menor for a densidade, menor será sua resistência mecânica (TSOUMIS, 1991). De acordo com MALONEY (1993), prefere-se o uso de espécies de baixa densidade (0,3 a 0,5 g/cm³), devido ao fato de que a madeira pouco densa permite sua compressão em um painel de média densidade, com a garantia de se formar suficiente contato entre as partículas, permitindo boa ligação. Portanto, espécies mais densas não podem ser usadas na produção de painéis de média densidade por não atingirem uma boa ligação, mas podem ser empregados na produção de painéis de densidade mais elevada. Densidade aparente se refere à densidade medida nas condições de atmosfera à 20°C de temperatura e UR de 65 %, na qual a umidade de equilíbrio de madeiras é 12 %, valor de referência adotado pela NBR 7190/1997.

- Razão de compactação

A razão de compactação é a relação entre a densidade do painel de da densidade do material lignocelulósico utilizada na sua manufatura (Equação 2.1). Para MALONEY (1989) a densidade da madeira tem sido utilizada para selecionar espécies mais aptas para confecção de painéis, usualmente na faixa de 0,3 à 0,5 g/cm³. Nesta faixa é possível que, através da prensagem, obtenha-se a densidade pré-estabelecida, através de adequado contato entre as lâminas, garantindo a adesão. No presente trabalho, a RC escolhida foi de 1,296, considerando que a densidade dos painéis seja de 0,70 g/cm³, resultado que mais se aproxima do valor mínimo indicado por MALONEY (1993) de 1,30.

$$RC = \frac{d_{\text{painel}}}{d_{\text{bambu}}} = \frac{e_{\text{colchão}}}{e_{\text{chapa}}} \quad \text{Eq. 2.1}$$

Sendo:

RC: Razão de compactação;

d_{painel} : densidade da chapa (kg/m³);

d_{bambu} : densidade do bambu (kg/m³);

e_{painel} : espessura do colchão (mm);

e_{chapa} : espessura da chapa (mm).

- Absorção de água e inchamento

Segundo BODIG & JAYNE (1982) a retração e o inchamento das fibras lignocelulósicas são resultados da adição de moléculas de água nas regiões amorfas das microfibrilas. Os espaços entre elas estão disponíveis para a deposição de substâncias químicas e absorção de água. Esses espaços são os principais responsáveis pelo inchamento ou retração em função da variação da umidade. As fibras vegetais têm grande capacidade de absorção de água, o que faz com que a água seja drenada para dentro. Com a absorção, as fibras se expandem e durante a cura tendem a perder umidade para a matriz, retraindo-se, daí o objetivo de se

determinar o teor de umidade aceitável para a espécie em estudo, indicando ou não sua utilização.

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

É necessário registrar que devido a pouca disponibilidade de literatura específica sobre fatores que influenciam a confecção de painéis utilizando bambu como matéria-prima, os mesmos procedimentos do processo para obtenção de painéis OSB à base de *Pinus* foram adotados.

3.1 Materiais

3.1.1 Adesivo de Fenol-Formaldeído

O adesivo empregado foi a resina de Fenol-Formaldeído, CASCOPHEN, gentilmente fornecida pela empresa Hexion, cujas características estão descritas na Tabela 3.1. As porcentagens de resina utilizadas foram 4, 6 e 8% em massa com base na quantidade de bambu seco.

A impregnação da resina no bambu se deu em um tambor giratório, dotado de bico de ar comprimido que aplicou o volume contido no recipiente junto ao equipamento.

Tabela 3.1 –Características da resina fenólica CASCOPHEN, da Hexion

Fenol-formaldeído	HL- 2080
Teor de sólidos (1g/3h/105°C), %	49 - 51
Viscosidade Brookfield (LVF 2/30/25°C, cP	400 - 800
pH (25°C)	11,5 – 13,0
Tempo de gelificação (121°C), minutos	6 - 9

3.1.2 Bambu

Foi utilizada nesta pesquisa a espécie de bambu *Dendrocalamus giganteus*, com idade entre três e cinco anos, que segundo Koga (1988) é potencialmente viável esta idade. A extração da matéria-prima se deu em 04 e 05 de abril de 2008, proveniente de plantios localizados no distrito de Cacatu, município de Antonina, no

Estado do Paraná, sob coordenadas UTM: E= 726.675 m e N = 7.196.450 m, ou ainda sob longitude - 48°42'40", e latitude -25°17'43", relativos a Greenwich, conforme Figura 3.1.

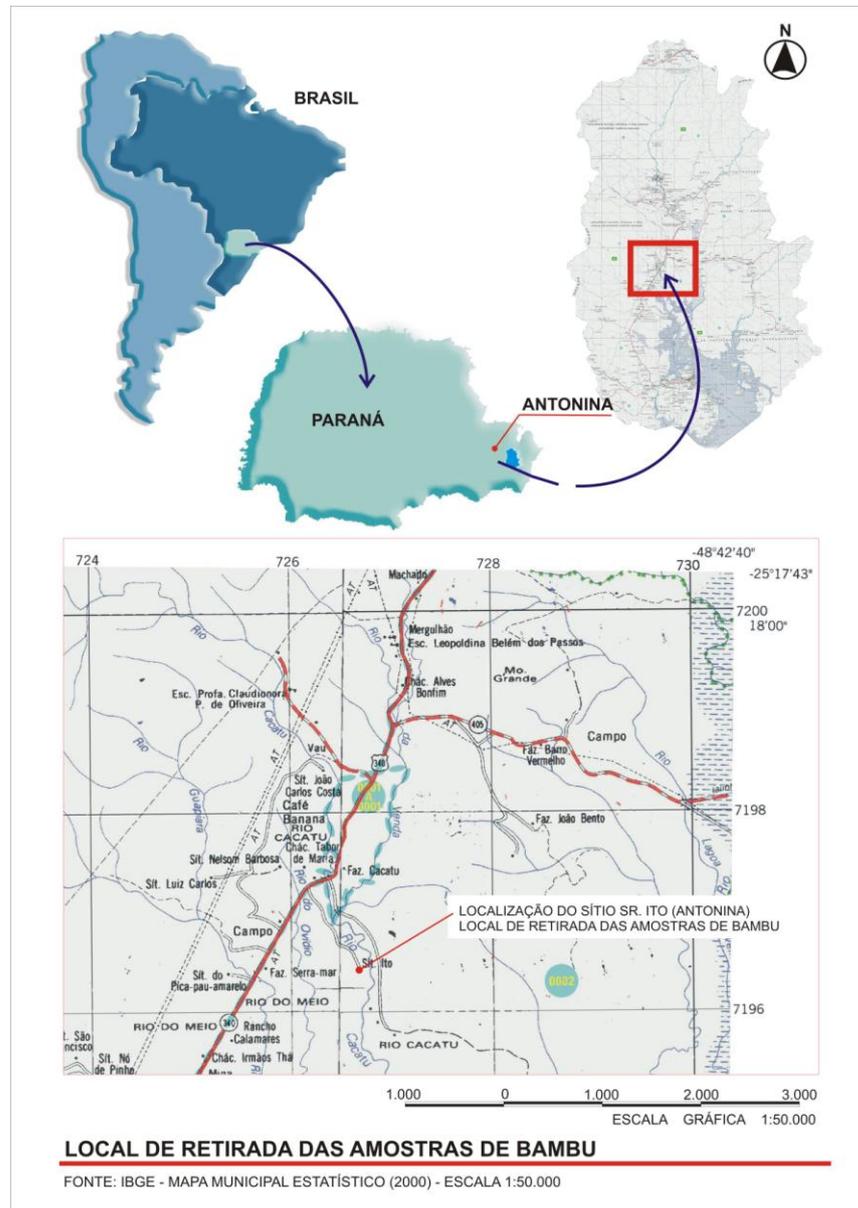


Figura 3.1 – Mapa da retirada das amostras de Bambu (Autor, 2008).

Na Figura 3.2 tem-se a vista geral de uma moita, de onde foram retirados colmos após análise da idade, do diâmetro basal, da posição do espécime e identificação.



Figura 3.2 – Touceira típica de bambu *Dendrocalamus giganteus* e identificação e seleção dos colmos. Fotos do Autor.

3.1.3 Seqüência de Experimentos

A seqüência dos experimentos pode ser resumida no esquema da Figura 3.2. Neste trabalho, foram executadas as avaliações das propriedades físicas dos colmos cortados no bambuzal, tais como: diâmetros da base e da ponta e do número de nós, e massas. As massas de galhos, folhas, ponteira e colmo limpo serviram para verificar o rendimento do corte, com objetivo de fornecer subsídios para trabalhos posteriores. Com o bambu estocado na UFPR foi dada continuidade às avaliações das características físicas, como: altura, diâmetro, massa e número de nós para cada 1/3 da altura do colmo; além das características químicas: absorção de água e medida de pH. Na seqüência, os colmos da região inferior (A) foram picotados e classificados. Os cálculos das proporções de matéria-prima/ resina / umidade encontram-se no APÊNDICE A. No item produção de painéis estão descritas: as condições em que foram executadas; os tratamentos a que as partículas foram submetidas após a coleta da matéria-prima e as condições de prensagem. Os

parâmetros referentes à manufatura dos corpos de provas foram detalhados, assim como o processo de fabricação. Foram aplicados os mesmos processos mecânicos de desdobramento do bambu que à semelhança da do *Pinus*, desde seu estágio inicial até a confecção do painel de OSB. A diferença é que os colmos de bambu coletados foram os de maior diâmetro (mínimo 0,20 m na altura do primeiro corte), visando otimização do rendimento, sendo que no caso do *Pinus* utilizam-se diâmetros maiores. Uma das limitações dos bambus é que são ocos, com paredes de espessura variável. Analogamente, os ensaios físicos e mecânicos também foram os mesmos utilizados na literatura técnica para confecção de painéis de OSB de *Pinus*.

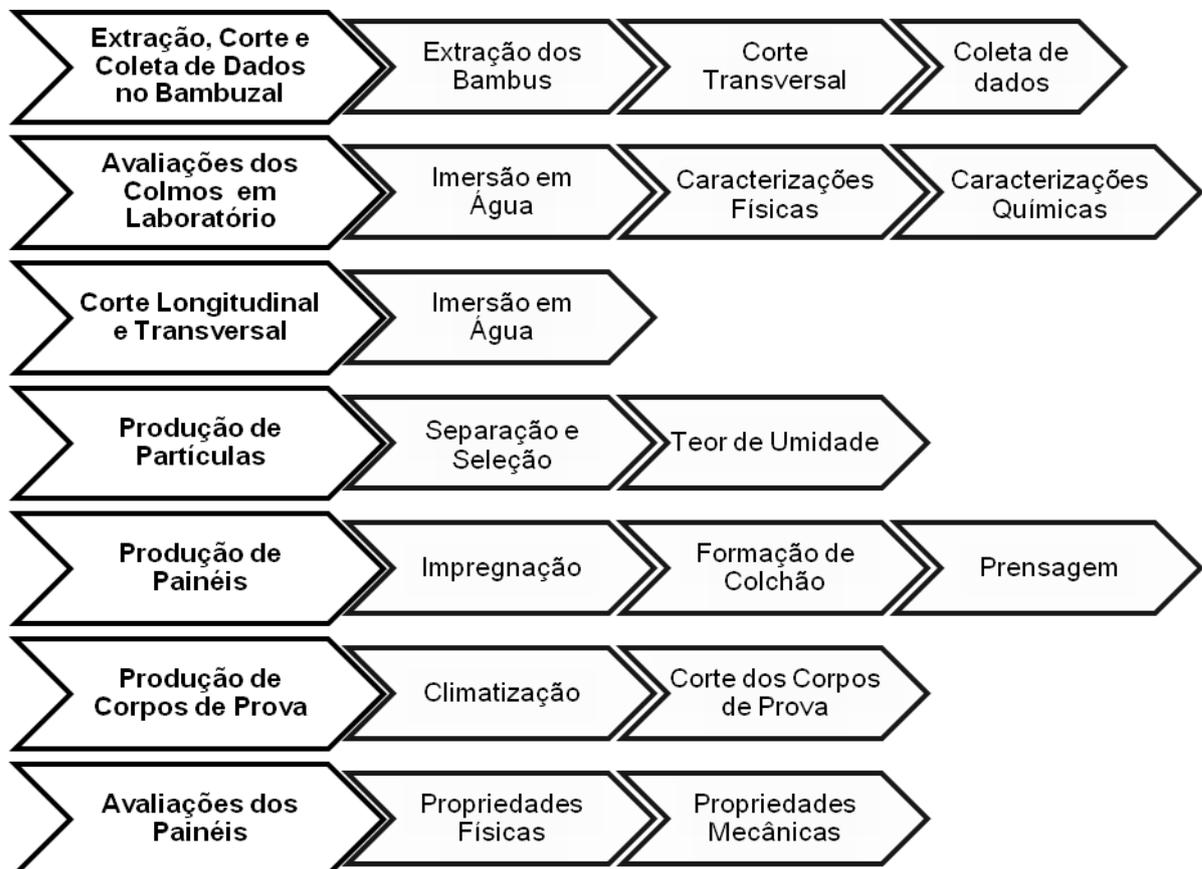


Figura 3.3 – Fluxograma do procedimento experimental de produção do OSB de bambu *D. giganteus*

3.2 Extração, Corte e Coleta de Dados no Bambuzal

3.2.1 Extração dos bambus

O período de corte foi de 04 a 05 de abril, na estação de outono. A época de corte tem influência no que diz respeito à cura da resina tendo em vista que a variação dos teores de açúcares no decorrer das estações do ano. O corte foi realizado respeitando o período de brotação dessas touceiras que, segundo o proprietário da área é de novembro a fevereiro. Neste período os teores de amido aumentam e que favorecem aparecimento de insetos comprometendo sua utilização como matéria prima, inclusive para trabalhos artesanais.

Inicialmente, foi convencionado como o primeiro corte os seccionados transversalmente à altura padrão de 0,80 m do solo, utilizando-se de ferramenta manual (machado).

Para o corte no bambuzal foram escolhidos vinte colmos das touceiras que nunca foram manejadas anteriormente. Os colmos sem defeitos representativos, foram escolhidos através seleção visual. O sistema utilizado na escolha visual, teve como objetivo obter menor variabilidade longitudinal de cada colmo e suas respectivas propriedades físico-mecânicas nas lâminas utilizadas para a confecção dos painéis.

Um povoamento de bambus contém colmos de diversas dimensões e idades. A avaliação das idades é feita visualmente, segundo LIESE (1985): para fins de padronização os bambus são enquadrados como brotos com até 1 ano, jovens de 1 a 3 anos e maduros com mais de 3 anos. Os bambus jovens, que apresentam penugem áspera marrom quase dourada, foram evitados, pois são quebradiços. A coleta dos bambus foi feita entre os que não apresentavam brotos, visto que é indicativo que material obtido contém um menor teor de açúcares.

Foram escolhidas amostras de colmos com alturas entre 24-36 metros, com diâmetro basal de no mínimo 20 centímetros. O corte dos colmos deu-se em média acima de 0,80 m contíguo ao 5º ou 6º diafragma (convencionada como 0% da altura útil), conforme a Figura 3.3. Justifica-se a utilização da altura padrão de 0,80 m como altura de corte pelo fato da proximidade dos nós na parte inferior, implicarem no baixo aproveitamento da massa dos internós, e à nível do solo os diâmetros são

superiores à 30 cm, conforme foto abaixo, sem aproveitamento. Ainda pela foto, comparando a altura dos colmos com a referência métrica, comprova-se a proximidade entre os nós além das dimensões da base.



Figura 3.4 – Altura padrão do primeiro corte. Foto do Autor (2008).

3.2.2 Corte transversal dos colmos no bambuzal

O segundo corte, seccionado transversalmente na altura apical correspondente a um diâmetro mínimo igual a 10 cm, foi executado através de serra elétrica portátil. Considera-se assim, nessa região, 100% do comprimento útil, ver Figura 3.5. As ponteiros e ramificações depois de cortadas, identificadas e pesadas, foram deixadas no local. Cabe ressaltar que na parte superior de alguns colmos foram constatadas quebras e seccionamentos, pela ação do vento e roedores, implicando no comprometimento de medidas e pesos.

Ainda no campo antes do transporte, os colmos foram cortados transversalmente a cada 1/3 da altura útil para facilitar o transporte e análise das propriedades em função da altura, ou seja, cada uma das partes seccionadas com comprimentos variáveis. Cada colmo foi identificado por um número e cada terça

parte da altura por letra correspondente: inferior (A), intermediária ou média (B) e superior (C), Por exemplo, o colmo de número 4 foi assim identificado: 4A, 4B e 4C.

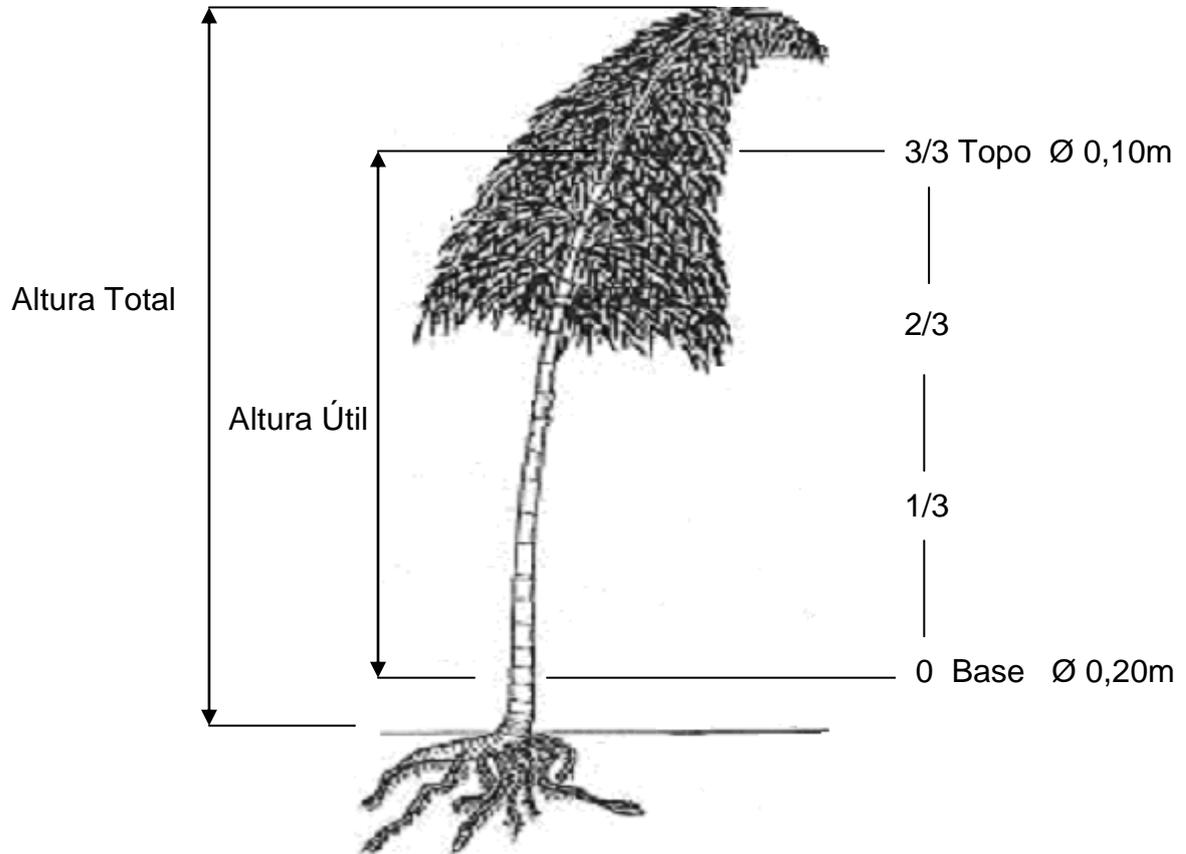


Figura 3.5 – Esquema de corte do colmo de bambu (*D. giganteus*) que será utilizado na fabricação de painel OSB. Fonte – Proyeto Guadua

3.2.3 Coleta de dados

No campo foram coletados seguintes dados:

- medida dos diâmetros e das alturas (total e útil) dos colmos no bambuzal;
- determinação das massas parciais dos colmos no local através balança marca Filizola;
- medida da massa das ramificações no local por meio de dinamômetro.

Em seguida os colmos cortados dos foram amarrados segundo sua numeração e recobertos com lonas de polietileno para transporte, protegidos da radiação solar e vento. A seguir foram encaminhados via transporte rodoviário, ao Laboratório de Madeiras da Universidade Federal do Paraná.

3.3 Avaliações dos Colmos em Laboratório

Após recebimento na UFPR, os colmos foram imersos em água corrente por 72 horas, para retirada parcial de amido e de contaminantes superficiais. Na seqüência, ficaram mais 72 horas ao ar livre, à sombra, na posição vertical para retirada do excesso de água. Análogo ao processamento de coníferas, com este procedimento pretende-se evitar rachaduras nos colmos em função da liberação de tensões após os cortes transversais.

3.3.1 Diâmetros em função das alturas

Foram mensurados os diâmetros externos a cada terça parte da altura útil, sendo tomadas as medidas perpendiculares entre si. Os diâmetros foram calculados pela média aritmética das duas medidas de diâmetro mostradas na Figura 3.6, tendo em vista a assimetria dos colmos, pois os colmos se desenvolvem sob ação do peso próprio, da sua posição na touceira e principalmente do vento. A Equação 3.1 apresenta o cálculo utilizado para a determinação do diâmetro externo médio.

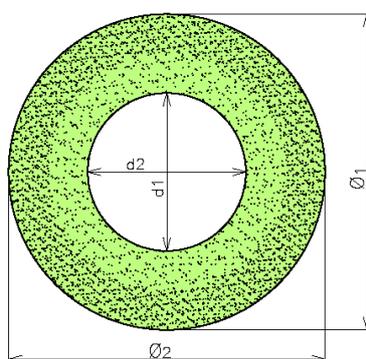


Figura 3.6 - Esquema da determinação dos diâmetros externos dos colmos.

Figura do Autor.

$$\phi = \frac{\phi_1 + \phi_2}{2} \quad \text{Eq. 3.1}$$

Sendo:

ϕ : Diâmetro nominal médio

ϕ_1 e ϕ_2 : Diâmetros externos ortogonais

3.3.2 Ensaio de absorção de água em amostras de bambu

Para o ensaio de absorção de água (AA) foram utilizados corpos de provas em forma de anéis com 5 a 6 cm de comprimento, nas 3 alturas dos colmos (Inferior A, Intermediária B e Superior C). A absorção de água foi calculada por meio da Equação 3.2. A massa inicial seca dos corpos de prova (m_1) foi obtida após 24 horas de permanência em estufa a 105 +/- 3° C, e, a massa saturada (m_2) foi determinada após 24 horas de imersão em água, segundo a EN 323-1993.

$$AA(\%) = \frac{m_2 - m_1}{m_1} * 100 \quad \text{Eq. 3.2}$$

Sendo:

AA: Absorção de água

m_1 : Massa inicial

m_2 : Massa final

3.3.3 Determinação da densidade básica

A metodologia seguida para determinação da densidade básica foi o do método hidrostático, a qual é dada pela razão entre o peso da amostra seca em estufa pelo seu volume verde (saturado), segundo VITAL, 1984. A densidade básica do material foi calculada em corpos de prova (anéis circulares), retirados da parte superior de cada terça parte da altura útil. A metodologia para a avaliação consta da obtenção da relação entre a massa seca da amostra determinada em estufa à 105

+/- 3°C até peso constante, e, seu volume saturado em água, determinado pelo deslocamento da água em proveta graduada.

As determinações da densidade básica foram executadas em amostras retiradas em formato de anéis, a saber: 1/3 (A), 2/3 (B) e 3/3 (C) da altura útil de cada um dos colmos. Foram serradas em cada colmo, amostras em formato de anéis de 5,0 a 6,0 cm de comprimento, sendo embaladas em sacos plásticos identificados para evitar perda de umidade durante o deslocamento. Posteriormente, no laboratório os anéis foram cortados por meio serra fita nas dimensões de 1,0 x 2,5 x 5,0 cm, sendo esta última no sentido longitudinal para fins de comprovação de valores.

As densidades dos corpos de provas foram calculadas nas três partes do comprimento útil, sendo avaliadas pela expressão da Equação 3.3. O procedimento foi o seguinte:

- saturação completa das amostras em água com pH = 7;
- determinação do volume imerso da amostra (V_v);
- determinação do peso úmido da amostra (P_u), removendo-se água superficial;
- secagem da amostra em estufa a $105 \pm 2^\circ \text{C}$ até peso constante (estufa dotada de termostato, marca PH Científica);
- determinação do peso seco da amostra (P_s) através balança digital Marte modelo AS 5500C, carga máxima de 5.000 g e resolução de 0,25 g;
- cálculo da densidade básica através da Equação 3.3.

$$D_b = \frac{P_s}{V_v} \quad \text{Eq. 3.3}$$

Sendo:

D_b : Densidade básica

P_s : Peso seco

V_v : Volume verde

3.3.4 Determinação do pH

Depois de selecionadas as amostras, foram serrados próximos aos internós nos terços da altura útil e, com o uso de formão, foram transformadas em tiras recortadas em pedaços de comprimento médio de 1 cm. Na seqüência foram colocados 100g por amostra (cavacos) no moinho marca MARCONI, Modelo MA-340, no Laboratório de Celulose da UFPR. Com a portinhola fechada e o compartimento devidamente acoplado, os cavacos foram colocados na abertura superior. Após a trituração, o material foi despejado nas peneiras, na seguinte ordem: 40 mesh, 60 mesh e resíduos. Destes materiais foi retirado em média, 50g da peneira de 60 mesh. O material de cada amostra foi acondicionado em saco de polietileno transparente e identificado. Obs.: 1 mesh é equivalente a uma abertura por polegada linear.

Os materiais foram levados para o LAMAR da UTFPR, onde foram executadas seqüencialmente: uma leitura inicial do pH e outra final após 24 horas. Antes de cada avaliação foi executada a calibração do pHmetro de bancada digital PHS-3B. Foram utilizados 50% do volume de material particulado, mais 50% de água deionizada. Após agitação manual, foi introduzido o eletrodo na mistura, e após 5 minutos, estabelecido o equilíbrio no display, fez-se a leitura. Após a lavagem do eletrodo com água destilada, foi enxugado com material absorvente, repetindo-se o processo para cada amostra.

3.4 Corte Longitudinal e Transversal

A seguinte seqüência de cortes foi estabelecida tal como é ilustrado na Figura 3.7. Na Figura 3.7 são apresentadas as seguintes seqüências: 1 – Corte longitudinal do colmo; 2 – Corte transversal entre os internos; 3 – Obtenção de blocos padronizados por meio de disco de corte; 4 – Obtenção de partículas com dimensões padrões por meio de corte nas direções tangencial (T) e radial (R) utilizando um picador de lâminas rotativas.

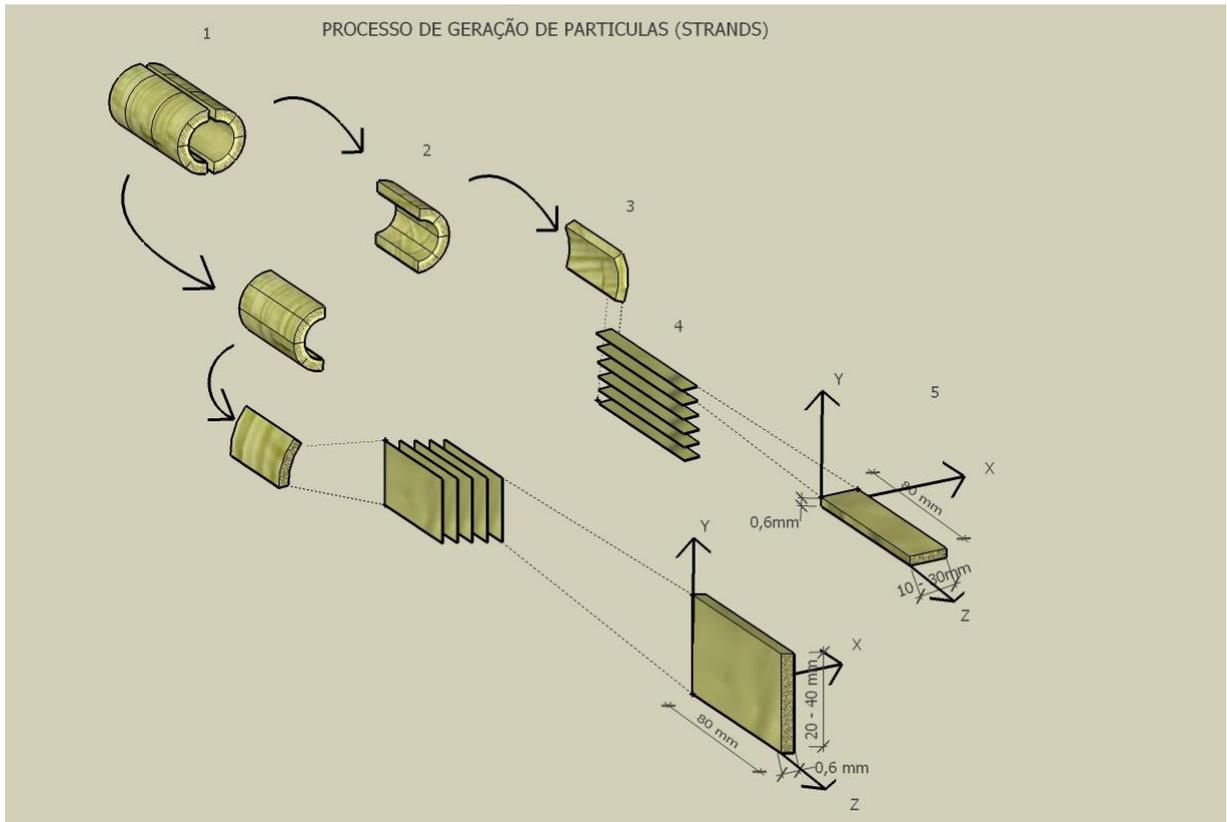


Figura 3.7 – Ilustração do processo de obtenção de partículas de *Dendrocalamus giganteus*. Figura do Autor.

No campo, os vinte colmos selecionados foram cortados transversalmente por meio de ferramenta manual na parte inferior, e serra circular portátil na parte superior, modelo Maksiva, potência 3 HP, 220V, utilizando uma lâmina circular de \varnothing 0,30m, nas três partes previamente determinadas. Após o corte realizado no campo, foram geradas sessenta partes com comprimentos variáveis em torno de 5,0 a 6,5 m.

Após o transporte rodoviário para o Laboratório de Madeiras da UFPR, depois da devida identificação e tratamento em água, as sessenta partes foram encaminhadas para o seccionamento longitudinal, para tanto foi utilizada uma serra fita, conforme pode ser visto na Figura 3.8. Este corte corresponde à primeira sequência 1 da Figura 3.7. Em seguida o material passou pelos cortes radiais e tangenciais, também utilizando uma serra fita para o corte.



Figura 3.8 – Antes e após o corte longitudinal. Foto do Autor.

Durante a passagem pela serra fita os colmos foram separados em duas partes, sendo que a simetria das partes dos colmos foi proporcionada pelo uso da guia metálica. Cada metade destinada à obtenção de lâminas foi identificada ao longo de todo o comprimento para que fossem posteriormente laminadas para: corte radial (R) e corte tangencial (T), tal como ilustra a segunda sequência da Figura 3.7.

Após o processo de corte, as amostras verdes permaneceram imersas em água corrente por 72 horas para retirada parcial de amido e de contaminantes, no tanque de alvenaria impermeabilizado devidamente revestido com plástico de dimensões internas iguais a 6,00 m de comprimento, 0,70 m de profundidade e 0,65 m de largura no Laboratório de Madeiras na UFPR.

3.5 Produção de Partículas

Depois da imersão em água, as partes destinadas ao corte T e R foram cortadas transversalmente e transformadas em blocos de amostras com dimensões padronizadas de 0,08m por meio de serra-fita, conforme a sequência 3 ilustrada na Figura 3.7. Estas amostras foram cortadas com comprimento de 0,08 m, por causa

da dimensão da abertura do picador de disco rotativo, Figura 3.9, que foi utilizado para obter as partículas.

Os nós (diafragmas) foram desprezados, neste trabalho tendo em vista os resultados dos desempenhos mecânicos previamente estudados e apresentados Tabela 2.3. Contudo, num processo industrial, com vistas à otimização da utilização da biomassa da altura útil, o procedimento é o mesmo, contemplando a utilização dos nós.



Figura 3.9 - Confeção dos blocos (*blocks*) padronizados. Fotos do Autor.

Ainda antes de passar no picador, as amostras foram submetidas a mais cortes nas partes externa e interna, visando a regularização e padronização do bloco, antes de serem pressionadas contra as facas do picador para produzir as partículas com orientações radiais e tangenciais.

As lâminas do picador foram reguladas para que fossem obtidas partículas com 6 mm de espessura e comprimento de 80 mm, proporcionando um coeficiente de esbeltez (razão entre o comprimento e espessura) de 133,33.

Após a passagem pelo picador, as partículas (*strands*) oriundas do corte radial e tangencial, vide Figura 3.10, foram encaminhadas à estufa de ventilação forçada, onde permaneceram a 105 ± 2 ° C até atingirem o teor pré-estabelecido de umidade de 3% a 4%.



Figura 3.10 – Partículas oriundas do corte tangencial, à esquerda, e radial, à direita. Foto do Autor.

3.5.1 Separação e seleção das partículas por tamanho e qualidade

Após a estocagem, as partículas de cortes diferentes foram peneiradas e separadas em finas e grossas. As partículas com dimensões inadequadas foram retiradas e descartadas após análise visual. Foram utilizados os materiais retidos em peneira de malhas de 1.½” de abertura. De forma a homogeneizar o material, este foi agitado manualmente por aproximadamente 10 minutos. Após este período, foi determinada a massa do conteúdo de material retido em cada uma das peneiras, para o cálculo do rendimento. O material foi em seguida medido com o auxílio de uma régua metálica de precisão para determinar a largura máxima e mínima das partículas. As partículas passantes foram consideradas como *strands* de qualidade inferior não sendo utilizadas na composição do painel.

3.5.2 Teor de umidade das partículas

É importante que as partículas possuam o mesmo teor de umidade, pois, do contrário, haveria comprometimento da colagem por ocasião da impregnação da resina. Os gases de alívio, originários do vapor de água excedente e vapores não condensáveis, se manifestam na forma de “estouros” em painéis de madeira reconstituídos durante a prensagem, que justifica o controle da umidade.

O Teor de umidade foi calculado segundo a Equação 3.4.

$$U = \frac{M - M_s}{M} * 100\% \quad \text{Eq. 3.4}$$

Sendo:

U: Teor de umidade (%);

M: Massa original da amostra (g);

Ms: Massa seca (g).

Amostras com elevado teor de umidade apresentam dificuldade no manuseio, ao passarem no picador, pois as partículas são destruídas apresentando superfícies irregulares e encrespadas, evidenciando maior absorção de água, que exigem maior consumo de resina. Em função do parágrafo acima, parte das partículas foram desprezadas, pois não apresentava superfícies adequadas em função da umidade, o que implica em maior consumo de energia para secagem até o percentual previsto.

3.6 Produção dos Painéis

Foram consideradas, para efeito de cálculo de material, as dimensões de painéis de (0,47 x 0,47 x 0,015) m. Para efeito de cálculo foi considerado que a umidade de equilíbrio é de 12 % e que a umidade das partículas eram aproximadamente de 3% (APÊNDICE A). Foi considerado para fins de cálculo de materiais, que a espessura nominal dos painéis seria de 15 mm, sendo que haveria

25 % de partículas nas camadas externas e 50% na região interna, as partículas estariam orientadas ortogonalmente. Neste trabalho, apenas as lâminas provenientes da parte (A) da altura útil foi utilizado para a confecção dos painéis, visto que a densidade obtida deste material permite a obtenção de valores comparáveis aos de OSB de madeira.

Para a composição dos painéis de OSB de Bambu foi feito um planejamento experimental fatorial completo de 2 níveis. Os fatores escolhidos para a composição dos painéis foram: a direção do corte das partículas (Radial e Tangencial), teor de resina 4, 6 e 8 %, totalizando 14 experimentos, conforme apresentado na Tabela 3.2.

Embora a emulsão de parafina seja indicada para aplicação nos trabalhos de OSB na proporção de 1% em relação à massa das fibras secas, tendo a finalidade de reduzir a higroscopicidade das fibras, no presente estudo optou-se pela sua não utilização.

Tabela 3.2 – Planejamento Experimental

Identificação do Painel	Corte	Adesivo (%)
1° / 5°	Tangencial (T)	4
6°/10°		6
10°/15°		8
16°/20°	Radial (R)	4
21°/25°		6
25°/30°		8

Os painéis foram compostos de forma que a taxa de compactação fosse maior do que 1,3 e que a densidade do painel fosse aproximadamente de 70 g/cm³. A espessura do painel estimada em 1,5 cm foi composta em três camadas sendo as externas de 25% e a interna 50%.

3.6.1 Impregnação

Após a secagem das partículas, elas foram em seguida levadas ao tambor rotativo, onde sofreram a aspersão de resina por meio de ar comprimido, de acordo com os teores de resinas adotados, quais sejam: 4, 6 e 8 %, tendo como referência a massa seca do material.

A mistura foi retirada do tambor giratório após sofrer a impregnação atomizada, com tempo determinado pela quantia previamente calculada de resina. Em seguida foi para caixa formadora de forma quadrada (0,47 x 0,47) m de madeira composta de lâminas seccionadoras, que permitem a passagem das partículas longas após agitação manual ou mecânica, direcionando a formação das três (ou mais) camadas ortogonalmente entre si.

3.6.2 Formação de colchão

O colchão foi formado em uma caixa de madeira com 0,47 x 0,47 m de dimensões internas e espessura de 1,5 cm, sendo que as partículas passam através de lâminas metálicas dispostas na parte superior. O material foi lançado manualmente sendo orientados pela ação da gravidade por meio de canaletas metálicas, ortogonalmente para cada camada. Pretende-se com estes procedimentos, eliminar e/ou reduzir o efeito de borda, para que as dimensões sejam respeitadas por ocasião do esquadrejamento em serra circular.

Estas camadas sofrem uma pré-prensagem à frio (1 minuto) de forma a deixar o painel parcialmente consolidado e para que o painel possa ser levado para os pratos já pré-aquecidos da prensa hidráulica.

3.6.3 Prensagem

A pressão aplicada da prensa foi de 40 kgf/cm², tendo sido a prensagem feita no tempo de 8 minutos e à temperatura de 180⁰C. A espessura do painel foi determinada pela utilização de espaçadores metálicos de 1,5cm, Figura 3.11.

Depois de prensados, os painéis foram condicionados em estufa climatizada, com umidade relativa de 65 +/- 5%, e temperatura de 20 +/- 1° C, até atingir umidade de equilíbrio em torno de 12%, no Laboratório de Madeiras da UFPR.

Após seguir os procedimentos para a confecção de painéis OSB de partículas de madeiras, da espécie das coníferas, os painéis resultantes exibem estrutura e aspectos similares aos painéis mostrados na Figura 3.12.



Figura 3.11 – Prensagem do painel. Foto do Autor.



Figura 3.12 – Paineis tipo OSB com bambu *D.giganteus* já consolidado. Foto do Autor.

3.7 Produção dos Corpos de Prova

O desempenho mecânico dos corpos de prova foram avaliados pelo conjunto de procedimentos normalizados para a obtenção de propriedades e/ou parâmetros do material ensaiado. A utilização de ensaios padronizados visa à comparação de valores obtidos em diferentes locais e/ou equipamentos de ensaios. No caso específico deste trabalho, foi utilizada a norma EN-310 e ASTM -1037 para otimização de cortes dos painéis, Tabela 3.3.

As normas existentes referem-se às madeiras, porém são freqüentemente utilizadas para outros materiais lignocelulósicos, tais como: o bambu, bagaço de cana, rami, juta e sisal (D' Almeida, 1981).

Depois de prensados, os painéis foram condicionados em estufa climatizada, com umidade relativa de 65 +/- 5%, e temperatura de 20 +/- 1° C, até atingir umidade de equilíbrio em torno de 12% no dia 18 de novembro de 2008. Após a identificação dos 30 painéis, (sendo corte T, do 1° até o 15° e, corte R do 16° até o 30°), para a extração de corpos de prova foram cortados conforme a Figura 3.3 e levados para sala de climatização, antes de serem realizados os ensaios físicos e mecânicos.

Tabela 3.3 – Avaliação das propriedades dos painéis OSB e normas utilizadas.

Ensaio		Número de corpos-de-prova por chapas	Dimensões corpos-de-prova (mm)	Procedimentos recomendados pela norma
Flexão estática (FE)	Mecânicos	4	350 x 50	EN 310-1993
Compressão paralela à Superfície (CP)		4	100 x 25	ASTM D-1037 B
Ligação interna (LI)		5	50 x 50	EN 319-1993
Inchamento em espessura (IE) e Absorção de água (AA)	Físicos	5	50 x 50	EN 317-1993
Densidade (DP)		5	50 x 50	EN 323-1993

A obtenção dos corpos de provas foi feita em serra manual, mod. 1587 Bosch nas dimensões finais previstas pela EN-310 -1993 e ASTM 1037-1996, respeitando-se as bordas de arestas, tal como apresentado na Figura 3.13.

Tendo em vista a otimização do uso do painel, foi levada em consideração a espessura de 1,5 mm da lâmina, o que implicou numa seqüência cuidadosa de cortes. A identificação rigorosa de cada corpo de prova deu-se os numerando de acordo com cada tipo de corte na seguinte seqüência: número do painel, percentual de resina, tipo de ensaio. Por exemplo, para o 3º corpo de prova de Absorção de Água do painel 30 do corte Radial a identificação ficou sendo: 30 R, AA-3.

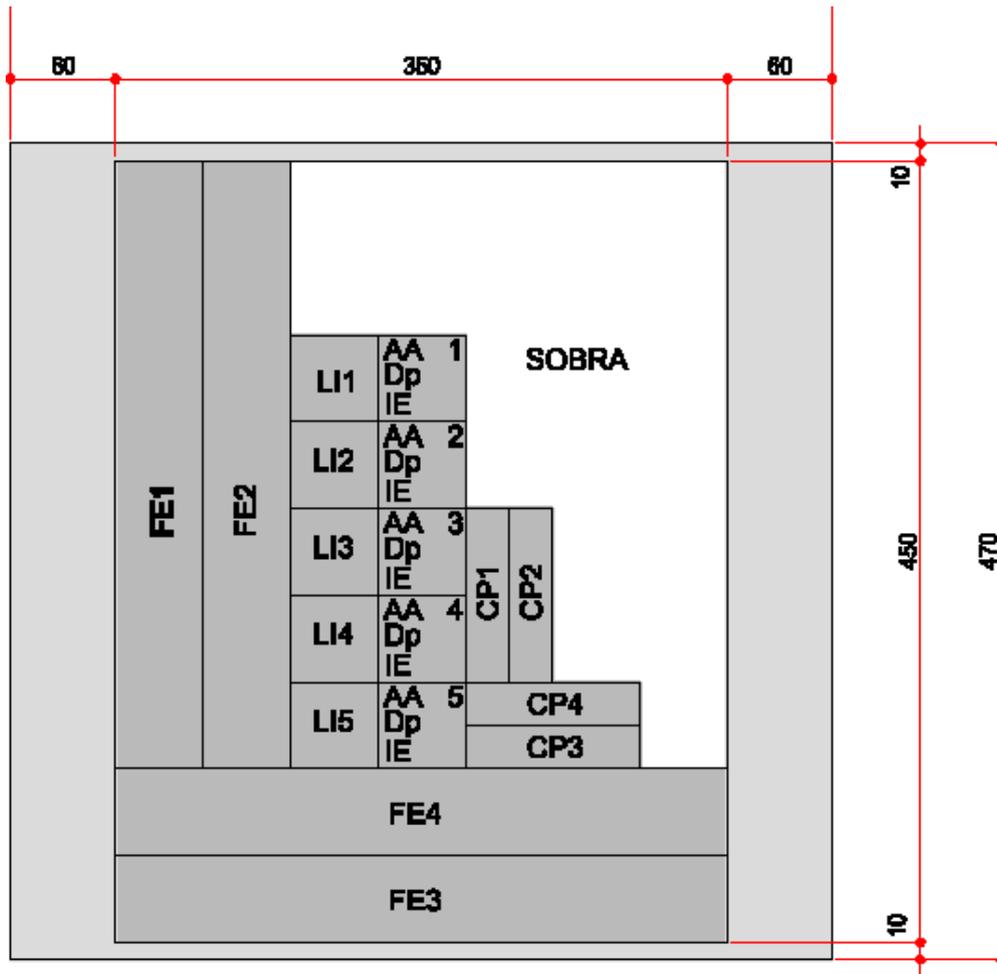


Figura 3.13 –Esquema para retirada dos corpos de prova de OSB obtidos do *Dendrocalamus giganteus*. Figura do Autor.

Sendo FE: Flexão estática (50x350); LI: Ligação interna (50x50); AA: Absorção de água (50x50); IE: Inchamento em espessura (50x50); CP : Compressão paralela (25x100), e ; Dp: Densidade do painel (50x50).

3.8 Propriedades Físicas dos Painéis

Para obtenção da densidade de cada painel, determinou-se, inicialmente, a densidade de cada corpo-de-prova, obtendo-se desta forma, uma densidade média das relações entre as dimensões e a massa para cada uma das composições.

3.8.1 Determinação da densidade do painel

A determinação da densidade dos painéis foi executada em conformidade com a EN 323-1993, com corpos de provas quadrados de 50 ± 1 mm conforme Figura 3.13. Os corpos de provas foram acondicionados em câmara climatizada (20° C e 65% de UR) até atingirem pesos constantes. Sua espessura foi determinada com paquímetro digital marca Mitutoyo, no ponto de intersecção das diagonais. Deve-se lembrar que, aumentando a densidade do painel proporcionando maior contato entre as lâminas, implica em menor perda de resina. Foi determinada a relação entre massa e volume, sendo que os mesmos corpos de prova foram utilizados nos ensaios de Ligação Interna.

A densidade dos painéis foi calculada segundo a Equação 3.5.

$$Dp = \frac{m}{b_1 * b_2 * e} * 10^6 \quad \text{Eq. 3.5}$$

Sendo:

Dp: densidade (kg/m^3);

M: massa (g);

b1, b2: arestas do quadrado (mm);

e : espessura (mm).

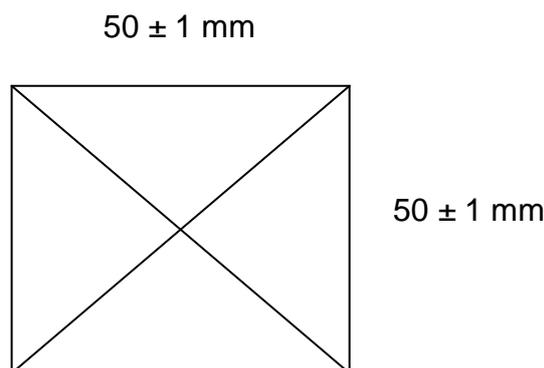


Figura 3.14 – Dimensões do corpo de prova para ensaio de densidade.

3.8.2 Inchamento em espessura (IE)

Os valores médios do inchamento em espessura foram obtidos segundo a norma EN 317-1993, após 2 e 24 horas de imersão dos corpos de prova em água.

O inchamento é um processo de aumento de volume quando é exposto à umidade, fator esse, limitante em relação ao uso quer interna ou externamente. Segundo Brito (1995), o inchamento em espessura é uma das propriedades mais importantes em termos de estabilidade dimensional dos painéis, e pode ser afetada pela espécie de madeira, geometria das partículas, nível de resina, eficiência da aplicação da cola e condições de prensagem. A espessura foi medida usando um paquímetro Mitutoyo com resolução de 0,1 mm no centro geométrico dos painéis.

Para o ensaio de inchamento em espessura, foi medida a espessura dos corpos de prova na interseção das diagonais antes e após sua imersão em água limpa, com pH 7 ± 1 e temperatura de $20 \pm 1^\circ\text{C}$. As medidas de IE dos corpos-de-prova imersos em água foram executadas em 2 horas e 24 horas respectivamente. O inchamento em espessura, dado em porcentagem, foi calculado através da Equação 3.6.

A celulose, embora seja insolúvel em água, possui afinidade por esta. Quando seca, absorve a umidade do ar até alcançar equilíbrio com a atmosfera; a quantidade de água absorvida aumenta junto com a UR, sendo este fenômeno denominado *histerese*. A absorção de agentes químicos, no caso a resina, pela fibra de celulose é acompanhada por seu intumescimento. Este fenômeno altera dimensionalmente o painel, que deverá estar dentro de limites pré-estabelecidos pelas Normas. A extensão do intumescimento final em água varia de fibra para fibra e está relacionado com a cristalinidade e orientação da amostra, no sentido longitudinal das fibras de celulose.

$$IE = \frac{e_2 - e_1}{e_1} * 100 \quad \text{Eq. 3.6}$$

Sendo:

IE: Inchamento em espessura (%);

e_1 : espessura inicial (mm);

e_2 : espessura final (mm).

3.8.3 Ensaio de absorção de água (AA)

Para o ensaio de absorção de água foi determinada a massa dos mesmos corpos de provas entre 2 e 24 horas, antes e depois da imersão em água, segundo a EN 323-1996. A absorção de água foi determinada através da Equação 3.7.

$$AA = \frac{m_2 - m_1}{m_1} * 100 \quad \text{Eq. 3.7}$$

Sendo:

AA: absorção (%);

m_1 : massa inicial (g);

m_2 : massa final (g).

3.9 Propriedades Mecânicas dos Painéis

Os requisitos em termos de valores limites para as propriedades mecânicas do painel tipo OSB definido na Norma EN 300 e ASTM D-1037 B podem ser resumidos como apresentado na Tabela 2.5 – Desempenho Mecânico EN-300. Os valores indicados correspondem ao percentual 95 (5 % no caso do Inchamento em Espessura) e caracterizam-se por um teor de umidade no material correspondente a 65 % de umidade relativa e à temperatura de 20° C. Isto significa que as propriedades mecânicas especificadas devem ser controladas de acordo com os princípios estatísticos e que 95 % dos resultados dos ensaios sobre as amostras individuais devem ser superiores (ou inferiores, no caso do inchamento em espessura) ao valor limite do requisito respectivo.

Os ensaios mecânicos foram realizados em máquina universal eletromecânica, marca EMIC DL-30, dotada de sistema computadorizado para controle de variáveis do ensaio e coleta de dados de carga e deslocamento, no laboratório de Ensaios de Madeiras, com emissão de gráficos.

3.9.1 Ensaio para determinação da ligação interna (LI)

Ensaio de adesão interna ou de tração perpendicular ao plano do painel foi realizado segundo a norma EN 319/1993 que prescreve a utilização de corpos de prova quadrados, com 50 +/- 1 mm de aresta. A densidade dos corpos de provas foi previamente determinada para fins de aproveitamento de material. Nas faces externas do corpo de prova foram coladas madeiras da espécie cambará. Os corpos de prova foram tracionados até o seu rompimento, indicando o grau de adesão entre as partículas. A velocidade de tração aplicada aos corpos de prova foi de 1,5 mm por minuto. Adesão interna foi calculada pela Equação 3.8.

$$LI = \frac{F_{m\acute{a}x}}{a * b} \quad \text{Eq. 3.8}$$

Onde:

LI : ligação interna (MPa);

F_{max} : carga máxima (N);

a : comprimento do corpo de prova (m);

b: largura do corpo de prova (m).

3.9.2 Ensaio de resistência à compressão (CP)

Nos ensaios de compressão paralela e perpendicular, a aplicação de esforços perpendiculares à superfície do painel foi feita segundo a ASTM -1037 B, nas dimensões de 25 x 100 mm, ou seja, na relação 1:4.

3.9.3 Ensaio de resistência em flexão

O ensaio de resistência em modo de flexão seguiu a norma EN-310/1993 para o cálculo do módulo de elasticidade (ME) e de resistência em flexão (TR). IWAKIRI (1989) em seu trabalho afirma que o módulo de elasticidade é o parâmetro que indica a rigidez do material, enquanto a tensão de ruptura é a propriedade que determina a utilização dos painéis para uso estrutural.

Os corpos de provas foram confeccionados com comprimento 20 vezes a sua espessura nominal adicionado de 50 mm, sendo neste caso específico, 300 mm de comprimento mais 50 mm +/- 1 mm de largura. A largura é medida na metade do comprimento e a espessura no encontro das diagonais. O corpo de prova foi apoiado em suportes com a distância de 20 vezes a espessura nominal, 300 mm. A aplicação da carga deu-se no centro geométrico do corpo de prova. O módulo de elasticidade foi calculado utilizando a região linear da curva de leituras de carga /deformação por meio da Equação 3.9.

$$ME = \frac{I_1^3 * (F_2 - F_1)}{4 * b * e^3 * (a_2 - a_1)} \quad \text{Eq. 3.9}$$

Sendo:

ME: módulo de elasticidade (MPa);

a_1 e a_2 : deflexão na metade do vão (m);

l : distância entre os apoios (m);

b : largura do corpo de prova (m);

e : espessura do corpo de prova (m);

$F_2 - F_1$: incremento de carga (N).

Para o cálculo da resistência em flexão foi usada a Equação 3.10, na qual é considerada a força máxima.

$$RF = \frac{3 * F_{máx} * I_1}{2 * b * e^2} \quad \text{Eq. 3.10}$$

Sendo:

RF : Resistência em flexão ou tensão máxima (MPa);

I_l : distância entre apoios (m);

b: largura do corpo de prova (m);

e : espessura do corpo de prova (m);

$F_{m\acute{a}x}$: força máxima (N).

Os ensaios de resistência em flexão, para obtenção do módulo de elasticidade e da tensão de ruptura, foram executados em máquina universal de ensaio DL-30, marca EMIC, dotada de sistema computadorizado para controle de variáveis do ensaio e coleta de dados de força e deslocamento.

3.10 Análise Estatística

De modo a dar tratamento estatístico aos dados obtidos, um número mínimo de 5 espécies foi obtido em cada amostra de dados. Foram calculados e comparados os valores das médias aritméticas com as medianas, de modo a verificar se os dados se distribuíam de forma homogênea próxima à distribuição normal. O desvio padrão foi calculado e utilizado no cálculo do coeficiente de variação. Assim em todas as Tabelas são apresentados os valores de média aritmética, mediana, desvio padrão e coeficiente de variação. A partir destes parâmetros foi feita uma comparação de médias utilizando a distribuição de probabilidade de Fisher (F), na qual a hipótese nula é que as médias são iguais, o nível de significância utilizado foi de 0,05 (5%). Quando as médias foram consideradas semelhantes, segundo o teste, os valores médios apresentados nas Tabelas receberam o mesmo índice, composto de letras minúsculas do alfabeto, quando as médias foram estatisticamente diferentes receberam letras diferentes.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise dos Colmos

4.1.1 Avaliações dos colmos no bambuzal

A Figura 4.1 mostra uma touceira típica da qual foram retiradas algumas das amostras de bambu. As escolhidas apresentavam sinais de manchas e ramificações por serem indícios da idade indicada para extração. Foram retiradas cinco amostras de bambu mais representativas de quatro touceiras existentes na área.



Figura 4.1 – Touceira típica de bambu *Dendrocalamus giganteus* utilizada na fabricação de OSB. (Foto do Autor, 2008)

Os resultados das propriedades físicas determinadas na coleta de dados feita ainda no bambuzal estão apresentados na Tabelas 4.1 e 4.2

Tabela 4.1 - Resultados das medidas físicas dos colmos.

	Diâmetro da base (m)	Diâmetro da ponta (m)	Altura do corte em relação ao solo (m)	Número de nós ao longo da altura útil a 3 alturas (un)		
				Inferior (A)	Média (B)	Superior (C)
Média	0,17	0,11	15,3	13,6 ^a	9,5 ^b	10,9 ^c
Mediana	0,17	0,11	15,2	14,0	10,0	10,0
Desvio Padrão	0,01	0,01	2,0	1,8	1,3	2,3
Coefficiente de Variação (%)	7	13	13	13	14	21

Tabela 4.2 - Informações das massas dos colmos de bambu coletados

	Massa total do colmo cortado (kg)			Massa de galhos e folhas (kg)	Massa da ponteira (kg)	Massa do colmo limpo (kg)
	Inferior (A)	Média (B)	Superior (C)			
Média	45 ^a	26 ^b	16 ^c	8,0	7,2	86,8
Mediana	44	26	15	8,0	7,1	83,0
Desvio Padrão	6	4	4	1,9	1,5	12,1
Coefficiente de Variação (%)	14	16	24	24	21	14

Na exploração florestal utiliza-se quase que exclusivamente o comprimento útil, denominado comercial, que no presente estudo foi em média de 15,6 m. No primeiro corte dos colmos, o diâmetro médio encontrado foi de 0,17 m e, na região superior ou apical, o diâmetro médio foi de 0,11 m. A parte apical foram desprezadas para fins deste estudo, assim como galhos e folhas, que representaram 8 e 7 %, respectivamente, da massa média dos colmos cortados.

Houve uma diferença estatística significativa para um nível de significância de 0,05 usando a distribuição de probabilidade de Fisher (F) entre os valores médios

encontrados para os números de nós e as massas para das regiões inferior (A), média (B) e superior (C). Assim a região inferior é a de maior número de nós, seguida pela parte superior e depois a média. No que tange as massas destas regiões, as massas diminuíram da base para o topo.

Constata-se que na espécie estudada, o comprimento internodal é inversamente proporcional ao número de nós, assim, na parte inferior o comprimento é menor, atingindo o máximo na parte intermediária, e decrescendo na parte superior.

Comparando-se as propriedades físicas médias das regiões do material coletado neste estudo com o da Tabela 2.6, para a mesma espécie, constata-se que os resultados são próximos aos obtidos por SALGADO e AZZINI (1994).

4.1.2 Avaliações dos colmos em Laboratório

As espessuras dos colmos nas regiões inferior, intermediária e superior foram em média iguais a 1,6; 1,3 e 1,1 cm, respectivamente, conforme apresenta a Tabela 4.3. Os diâmetros médios a partir do qual foi feito o primeiro corte transversal para extração do colmo foram: 17,2; 14,0 e 12,6 cm. As diferenças encontradas tanto para a espessura quanto para o diâmetro dos colmos são estatisticamente significativas entre as regiões.

A Figura 4.2 mostra a relação entre espessura e diâmetro. É possível perceber que há também uma variação na densidade de fibras da parte externa para a interna na direção radial do colmo, (vide Figura 4.3), sendo maior na região externa.

Na Figura 4.3 é possível observar a heterogeneidade e variação da fração volumétrica das fibras na espessura do sentido interno para o externo do colmo do bambu *Dendrocalamus giganteus*: região Externa (E) na Foto A, região Média (M) na Foto B e região Interna (I).

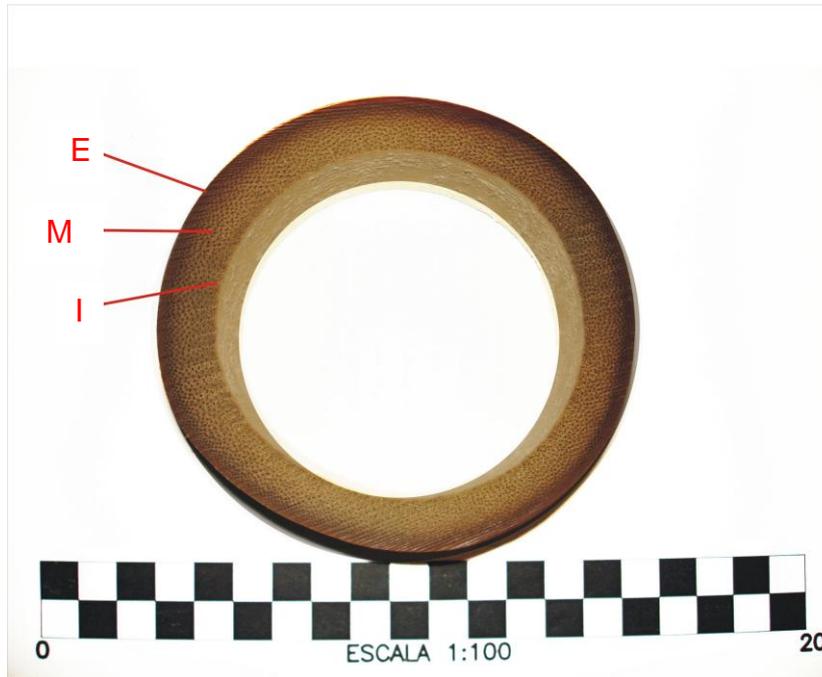


Figura 4.2 – Vista superior de um colmo cortado transversalmente, na seção intermediária do *Dendrocalamus giganteus*.

Sendo: **I** a camada interna, **M** a média e **E** a externa. Foto do Autor.

Tabela 4.3 – Tabela com as espessuras e os diâmetros das regiões inferior, intermediária e superior dos colmos de *Dendrocalamus giganteus*.

Identificação dos Colmos	Espessura (cm)			Diâmetro (cm)		
	Inferior (A)	Média (B)	Superior (C)	Inferior (A)	Média (B)	Superior (C)
Média	1,6 ^a	1,3 ^b	1,1 ^c	17,2 ^d	14,0 ^e	12,6 ^f
Mediana	1,6	1,3	1,1	17,0	13,9	12,2
Desvio Padrão	0,2	0,2	0,1	1,3	1,3	1,6
Coefficiente de Difusão (%)	10,5	12,3	11,0	7,4	9,1	12,4

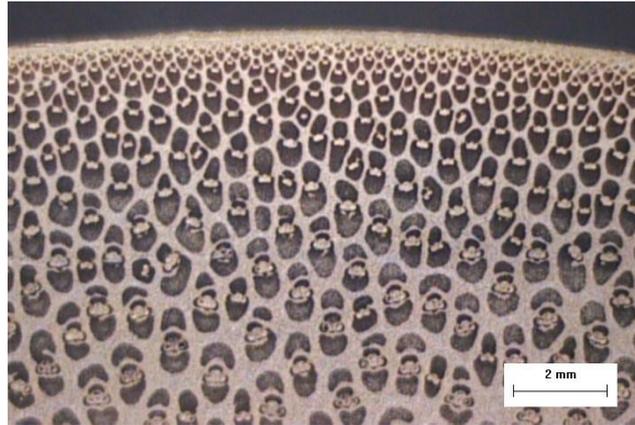


Foto A

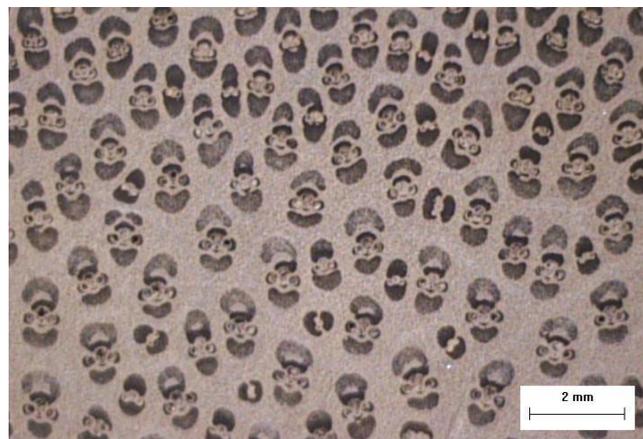


Foto B

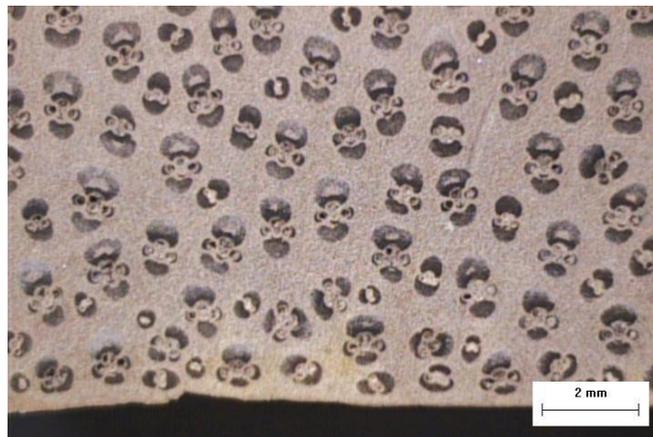


Foto C

Figura 4.3 – Corte transversal do bambu *Dendrocalamus giganteus* no comprimento intermediário. Fotos do Autor (aumento de 16 vezes).

Os resultados da densidade e da absorção de água são apresentados na Tabela 4.4. Há diferença estatística significativa entre as 3 partes do colmo, tanto no que tange à densidade quanto à absorção de água. O tratamento estatístico empregado foi a de comparação de médias, utilizado a distribuição estatística de Fisher. O aumento da densidade é acompanhado por uma diminuição na absorção de água, o que é bastante compreensível, visto que a estrutura está mais fechada e impermeável à difusão e à absorção.

Tabela 4.4 – Valores das densidades e das absorções de água das regiões inferior (A), média (B) e superior (C) dos colmos

	Densidade (kg/m ³)			Absorção de Água (%)		
	A	B	C	A	B	C
Média	0,54 ^a	0,61 ^b	0,73 ^c	104 ^d	70 ^e	47 ^f
Mediana	0,53	0,59	0,70	102	71	38
Desvio Padrão	0,09	0,09	0,15	33	25	22
Coefficiente de Variação (%)	17	15	20	32	36	47

As Fotos da Figura 4.4 foram tiradas por meio da câmera LG Honey Well, modelo GC 40 SN-G com lente TV Lens, 16 mm (Aumento 1:16), acoplado ao microscópio Jenavert do Laboratório de Metalografia da UTFPR. A Foto A foi obtida da região inferior (A), a Foto B da região média (B) e a Foto C da região superior (C) do colmo. Com base na seqüência de Fotos é possível explicar o aumento da densidade básica da região inferior para a superior do colmo em função da variação da estrutura anatômica, ou seja, por causa da maior relação concentração de feixes de fibras e tecido parenquimatoso na parte superior do bambu.

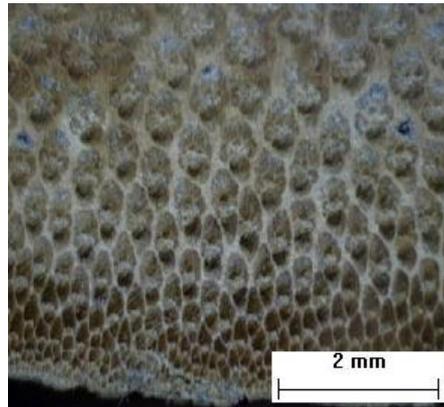


Foto A

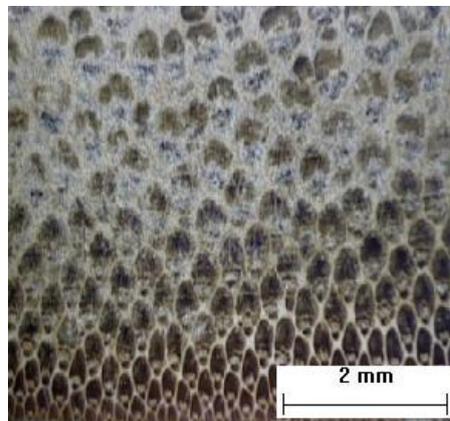


Foto B

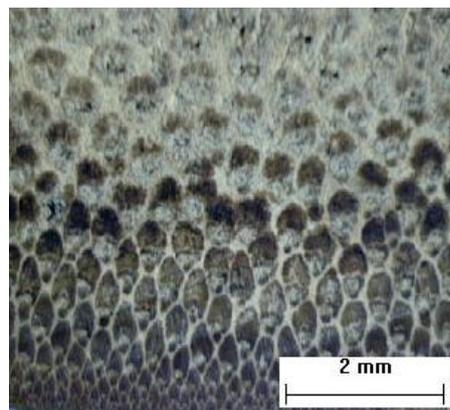


Foto C

Figura 4.4 – Fotos comparativas das secções transversais, A, B e C. Fotos do Autor.

4.2 Avaliação do pH

As propriedades mecânicas estão correlacionadas positivamente com o pH do material lignocelulósico. A absorção de água está correlacionada negativamente com este fator (Nelson, 1973). Há necessidade de proceder a avaliação do pH tendo em vista a possibilidade de pré-endurecimento do adesivo, implicando negativamente na sua fluidez, umectação e penetração.

A média aritmética dos valores de pH das 20 amostras da parte A (região inferior) foi de 5,35 e após 72 horas 5,32; da parte B (região média) foi de 5,38 e após 72 horas 5,34; da parte C (região superior) foi de 5,59 e após 72 horas 5,54. Assim não houve uma diferença estatística significativa entre as médias, e os colmos foram considerados ácidos e mantiveram esta acidez após 72h. Assim não houve uma oxidação (fermentação) significativa do material orgânico no intervalo de tempo dos testes. Tal avaliação foi executada antes da laminação e 72 horas após. Este procedimento é necessário para verificar se há variação do pH antes e após o processamento da matéria-prima que possa alterar a compatibilidade da resina com o material lignocelulósico. Assim não houve necessidade de correções do pH antes do processo de impregnação do adesivo.

4.3 Análise de Partículas

A retirada dos diafragmas causou uma redução da massa para laminação de 60% na direção tangencial e 55% na direção radial, segundo dados contidos na Tabela 4.5. O rendimento obtido na laminação na direção tangencial foi de 74 % e na direção radial de 56 %, esta diferença foi estatisticamente significativa a um nível de significância de 0,05 utilizando a distribuição de probabilidade de Fisher. Houve maior dificuldade em obter partículas das amostras na direção radial, devido seu formato geométrico (*block*) ser curvilíneo. Durante a laminação ocorreu o efeito “rebote”, ou seja, o rompimento mecânico brusco entre um número maior de fibras

externas e menos fibras internas provocando o encrespamento da superfície, Figura. 4.5.



Figura 4.5 – Corte Radial e Tangencial (Aumento de 16 X). Foto do Autor. 2008.

Tanto no corte tangencial quanto no corte radial, as lâminas foram reguladas para 6 mm de espessura e 80 mm comprimento. As dimensões do material proveniente do picador para o corte tangencial variaram em largura de 40 até 30 mm. As provenientes do corte radial entre 20 e 10 mm, sendo que os comprimentos permaneceram 80 mm. Observou-se durante a utilização do picador que, apesar das lâminas metálicas terem sido substituídas para corte radial, sofreram maior desgaste em menos tempo que para o corte tangencial. A superfície das partículas oriundas do corte radial é mais irregular, aumentando a área específica, o que pode implicar em maior consumo de resina para recobrimento.

Tabela 4.5 – Relação entre a massa dos colmos com e sem diafragma e ainda a massa das partículas resultantes dos cortes tangenciais e radiais

Identificação dos Painéis	Tangencial (kg)		Radial (kg)		Partículas (kg)	
	Com Diafragma	Sem Diafragma	Com Diafragma	Sem Diafragma	Tang	Rad
Média	21,8 ^a	13,0 ^b	22,6 ^c	13,3 ^d	10,3 ^e	7,3 ^f
Mediana	21,3	12,4	22,1	13,2	9,7	7,0
Desvio Padrão	3,8	3,3	3,5	3,1	3,0	1,3
Coefficiente de Variação (%)	17	25	16	23	29	18

4.4 Análise das Propriedades Físicas dos Painéis

Não houve qualquer “estouro” de painéis, pois a umidade foi controlada e avaliada em triplicata para os materiais contidos em sacos de polietileno, permanecendo na faixa de 3 a 4% de umidade.

Comparando as densidades dos painéis em função das concentrações de resina feitas com bambus cortados na direção tangencial e radial, Tabela 4.6, as composições com 4% de resina foram consideradas significativamente menores sem diferença entre as direções de corte. Os painéis com 6 e 8 % apresentaram diferenças de densidade em função da direção de corte do bambu, mas não em relação à quantidade de resina, sendo maior a densidade nestes casos na direção radial.

Os valores de razão de compactação estão apresentados na Tabela 4.7, todos os valores foram maiores do que o valor mínimo indicado por MALONEY (1993) de 1,30, isto ocorreu porque as densidades dos painéis foram maiores do que 0,70 g/cm³, utilizado como base de cálculo das proporções.

Tabela 4.6 – Valores de densidade feitos com a região superior dos colmos (A) e montados com partículas oriundas do corte tangencial e radial.

Identificação dos Painéis	Densidade (g/cm ³)					
	Tangencial			Radial		
	4%	6%	8%	4%	6%	8%
Média	0,77 a	0,83 b	0,81b	0,80 a	0,87 c	0,88 c
Mediana	0,75	0,82	0,80	0,81	0,87	0,89
Desvio Padrão	0,07	0,07	0,09	0,07	0,07	0,08
Coefficiente de Variação (%)	8,79	8,38	10,89	8,69	8,18	8,83

Tabela 4.7 – Valores de razão de compactação (densidade média do painel/densidade média do bambu, sendo a densidade do bambu igual a 0,54 g/cm³)

Corte	Resina (%)	Densidade Média dos Painéis (g/cm ³)	Razão de Compactação
Tangencial	4	0,77 a	1,42
	6	0,83 b	1,53
	8	0,81 b	1,50
Radial	4	0,80 a	1,49
	6	0,87 c	1,61
	8	0,88 c	1,63

Tanto os valores médios de absorção de água quanto de inchamento em espessura, Tabelas 4.8 e 4.9, apresentam diferenças estatisticamente significativas entre 2 e 24 horas em água para todas as composições de painéis. Os resultados de absorção de depois de 2 e 24 horas para os painéis com partículas geradas a partir do corte tangencial apresentaram uma diminuição com o aumento da quantidade de resina de 4 para 6 %, porém essa estabilizou de 6 para 8%. Os painéis compostos de partículas oriundas do corte radial, entretanto, continuaram diminuindo a absorção de forma significativa com o aumento da quantidade de resina. Os valores médios de inchamento em espessura dos painéis são diferentes quando preparados com diferentes quantidades de adesivo. Quanto maior a quantidade de adesivo

menor a absorção de água dos painéis, e coerentemente, menor o inchamento em espessura.

Quanto às propriedades de absorção de água e inchamento em espessura dos painéis, é possível inferir que de modo geral quanto mais resina melhor para as propriedades estudadas, até que haja uma cobertura efetiva da superfície que impeça a absorção de água pelos poros das fibras.

Tabela 4.8 – Valores de absorção de água e de inchamento em espessura dos painéis feitos com a região inferior (A) dos colmos e montados com partículas oriundas do corte tangencial

	Absorção de Água (%)						Inchamento em Espessura (%)					
	2 h			24 h			2 h			24 h		
	4 %	6 %	8 %	4 %	6 %	8 %	4 %	6 %	8 %	4 %	6 %	8 %
Média	40 a	24 b	22 b	55 c	39 d	36 d	23 e	12 f	7 g	27 h	18 i	11 j
Mediana	40	23	20	54	39	37	23	11	7	27	17	11
Desvio Padrão	7	8	11	5	8	13	3	5	3	3	5	4
Coeficiente de Variação (%)	18	31	49	9	20	36	13	43	36	12	29	34

Tabela 4.9 – Valores de absorção de água e de inchamento em espessura dos painéis feitos com a região inferior (A) dos colmos e montados com partículas oriundas do corte radial

	Absorção de Água (%)						Inchamento em Espessura (%)					
	2 h			24 h			2 h			24 h		
	4 %	6 %	8 %	4 %	6 %	8 %	4 %	6 %	8 %	4 %	6 %	8 %
Média	36 a	21 b	15 c	50 d	37 e	29 f	19 g	10 h	7 i	26 j	16 k	11 l
Mediana	37	20	15	49	36	28	20	9	7	25	16	12
Desvio Padrão	6	7	7	5	8	8	3	3	2	3	4	4
Coeficiente de Variação (%)	17	31	48	11	20	29	15	31	33	13	22	32

Há diferenças significativas nos valores de absorção de água em relação à direção de corte Tangencial e Radial do bambu para as concentrações de 4 e 8% de resina, independente do tempo, entretanto, esta diferença não é muito grande. Os painéis com partículas oriundas do corte Tangencial absorveram mais que as do corte Radial. No caso dos painéis com 8% de resina as com partículas oriundas do corte radial eram mais densas.

Quanto aos valores de inchamento em espessura não há diferenças significativas em relação à direção de corte Tangencial e Radial do bambu para qualquer concentração de resina ou tempo.

Segundo a EN-300/1993 os valores de inchamento em espessura, após 24 horas de imersão em água, aceitos para painéis de OSB/3 de *Pinus*, é de 15% para qualquer espessura de painel. Assim somente os painéis com 8% de resina estão abaixo deste valor.

4.5 Análise das Propriedades Mecânicas dos Painéis

4.5.1 Ligação Interna

Para a análise da ligação interna foram rompidos 150 corpos de prova para ensaios de Ligação Interna (LI). Este ensaio fornece valores correspondentes à adesão entre partículas das amostras submetidas aos esforços de tração.

A análise da ligação interna baseada nos resultados apresentados na Tabela 4.10 indica que mesmo a menor quantidade de resina de 4% pode ser usada, visto que apresenta o valor de LI é maior do que o mínimo de 32 MPa previsto pela norma Européia para OSB de madeira, para a espessura média de 16 mm dos painéis obtidos. Não há diferença entre o painel confeccionado com partículas cortadas na direção tangencial em relação à radial para uma concentração constante de resina.

Apesar das partículas obtidas do corte radial apresentarem um aspecto mais rugoso, esta característica não influenciou nos resultados de ligação interna, como poderia se esperar por favorecer a adesão mecânica.

Tabela 4.10 – Valores de ligação interna dos painéis feitos com a região inferior (A) dos colmos e montados com partículas oriundas do corte tangencial e radial

Identificação dos Painéis	Ligação Interna (MPa)					
	Tangencial			Radial		
	4%	6%	8%	4%	6%	8%
Média	0,34 a	0,41 b	0,62 c	0,35 a	0,41 b	0,65 c
Mediana	0,33	0,43	0,59	0,36	0,42	0,65
Desvio Padrão	0,09	0,11	0,19	0,10	0,10	0,14
Coefficiente de Variação (%)	2,81	2,60	3,06	2,75	2,45	2,20

Quanto maior a concentração de resina maior o valor de ligação interna encontrado, ou seja, maior a adesão entre a fibra e a resina. Outro ponto a se considerar é o ganho de rigidez com o aumento da quantidade de resina, que é calculada sobre a massa de partículas seca.

4.5.2 Resistência à Compressão

De modo a analisar o caráter isotrópico dos painéis, as propriedades mecânicas foram determinadas a partir de corpos de prova extraídos em duas direções perpendiculares entre si, aqui denominadas de: paralela e perpendicular.

Os resultados de módulo elástico (Tabelas 4.15 e 4.16) e resistência à compressão (Tabelas 4.17 e 4.18) na direção paralela podem ser considerados praticamente equivalentes aos na direção perpendicular, com exceção de algumas concentrações: os resultados de módulo elástico em painéis confeccionados com 6% de resina e partículas oriundas do corte radial, e; os resultados de resistência à compressão de painéis com 4% de resina e partículas oriundas também do corte radial.

Quanto à origem das partículas segundo a direção do corte, houve diferença estatística para a maioria dos painéis, somente os painéis com 6% de resina cujos corpos de prova foram cortados na direção paralela apresentaram valores de módulo elástico semelhantes.

Tabela 4.11 – Valores de módulo elástico à compressão dos painéis feitos com a região inferior (A) dos colmos e montados com partículas oriundas do corte tangencial

Identificação dos Painéis	Módulo Elástico à Compressão (MPa)					
	Paralela			Perpendicular		
	4%	6%	8%	4%	6%	8%
Média	2738 a	3694 b	2745 a	2394 a	3436 b	2444 a
Mediana	2862	3346	2774	2357	3319	2445
Desvio Padrão	307	748	283	236	232	55
Coefficiente de Variação (%)	11	20	10	10	7	2

Tabela 4.12 – Valores de módulo elástico à compressão dos painéis feitos com a região inferior (A) dos colmos e montados com partículas oriundas do corte radial

Identificação dos Painéis	Módulo Elástico à Compressão (MPa)					
	Paralela			Perpendicular		
	4%	6%	8%	4%	6%	8%
Média	3195 a	3547 ab	3774 b	2967 ac	2806 c	3657 b
Mediana	2862	3346	2774	2357	3319	2445
Desvio Padrão	190	293	324	99	450	232
Coefficiente de Variação (%)	6	8	9	3	16	6

Tabela 4.13 – Valores de resistência à compressão dos painéis feitos com a região inferior (A) dos colmos e montados com partículas oriundas do corte tangencial

Identificação dos Painéis	Resistência à Compressão (MPa)					
	Paralela			Perpendicular		
	4%	6%	8%	4%	6%	8%
Média	12 a	18 b	15 c	13 a	20 b	14 c
Mediana	13	18	15	13	20	14
Desvio Padrão	2	1	1	1	2	2
Coefficiente de Variação (%)	18	7	6	8	8	12

Tabela 4.14 – Valores de resistência à compressão dos painéis feitos com a região inferior (A) dos colmos e montados com partículas oriundas do corte radial

Identificação dos Painéis	Resistência à Compressão (MPa)					
	Paralela			Perpendicular		
	4%	6%	8%	4%	6%	8%
Média	17 a	19 a	23 b	15 c	16 a	24 b
Mediana	17	20	23	15	16	23
Desvio Padrão	1	2	2	2	3	3
Coefficiente de Variação (%)	3	11	10	12	19	11

Quanto aos resultados de resistência à compressão em relação à direção do corte para obtenção das partículas, exceto os corpos de prova confeccionados na direção perpendicular com 4% de resina e os na direção paralela com 6% de resina apresentaram valores de semelhantes tanto com partículas oriundas do corte tangencial quando radial.

A concentração a 6% de resina foi a ótima encontrada para as propriedades dos painéis sob compressão na direção tangencial, enquanto na direção radial os melhores resultados foram obtidos com painéis feitos com 8% de resina.

A tendência quanto ao comportamento sob compressão em relação à direção de corte do corpo de prova é de isotropia.

4.5.3 Resistência em Flexão

Os valores de rigidez, encontrados por meio dos módulos elásticos em modo de flexão (Tabelas 4.11 e 4.12) apresentaram diferenças de resultados em todas as concentrações de resina em relação à posição de extração do corpo de prova, tanto para os painéis confeccionados com lâminas cortadas tangencialmente quanto radialmente. Não sendo, portanto, considerado isotrópico quanto à rigidez. Sendo os valores encontrados para a direção paralela maior do que para a perpendicular.

A concentração ideal de resina, tendo em conta a resistência em flexão, muda conforme o corte, sendo que para o corte tangencial a concentração ideal é 6% tanto na direção paralela quanto perpendicular, tal como observado nos ensaios de compressão. Entretanto, para a direção radial a concentração ideal precisa ser igual a 8% na direção paralela e, 6 ou 8% na direção perpendicular, visto que neste último caso não há diferença estatística significativa entre as duas composições.

Esta diferença de comportamento quanto à quantidade de resina ideal em relação ao corte, encontrada nos resultados obtidos nos ensaios de compressão e flexão, pode ser explicada pelo aspecto mais irregular e rugoso das partículas após o corte radial feito no picador. Durante o processamento foi observado o efeito “rebote”, ou seja, o rompimento mecânico brusco entre um número maior de fibras externas e menos fibras internas provocando o encrespamento da superfície, Figura. 4.5. Levando em consideração que foi observada uma redução de 50% na largura das lâminas cortadas na direção radial em relação a que sofreu corte tangencial. Assim, uma superfície mais rugosa, com maior superfície específica, exige uma maior quantidade de resina para a efetiva adesão entre fibras ocorra. O excesso de resina ao contrário diminui a resistência.

Tabela 4.15 – Valores de módulo elástico em flexão dos painéis feitos com a região inferior (A) dos colmos e montados com partículas oriundas do corte tangencial

Identificação dos Painéis	Módulo Elástico em Flexão (MPa)					
	Paralela			Perpendicular		
	4%	6%	8%	4%	6%	8%
Média	5294 a	5530 a	3655 b	2367 c	3726 d	2943 e
Mediana	5321	5840	3509	2549	3657	2969
Desvio Padrão	370	852	395	289	297	197
Coefficiente de Variação (%)	7	15	11	12	8	7

Quanto à direção do corte, os painéis com partículas oriundas do corte na direção paralela nas concentrações de 4 e 8% apresentaram diferenças estatísticas significativas do módulo elástico, sendo os maiores valores na direção radial.

Tabela 4.16 – Valores de módulo elástico em flexão dos painéis feitos com a região (A) dos colmos e montados com partículas oriundas do corte radial

Identificação dos Painéis	Módulo Elástico em Flexão (MPa)					
	Paralela			Perpendicular		
	4%	6%	8%	4%	6%	8%
Média	4883 a	6011 b	7122 c	2956 d	3576 e	3332 de
Mediana	5038	6212	7088	2777	3551	3104
Desvio Padrão	587	383	428	345	65	455
Coefficiente de Variação (%)	12	6	6	12	2	14

Para painéis de OSB/3 Pinus, os requisitos em termos de valores limites de rigidez para qualquer espessura de painel, segundo a EN-300/1993, são para eixo menor de no mínimo 1400 MPa e para eixo maior 3500 MPa. Levando em conta que as partículas passantes em peneiras com malhas de 1.1/2" e 1/2" de abertura foram consideradas como *strands* de qualidade inferior, sendo utilizadas no miolo do painel na composição do painel num percentual de 50% da massa. A camada externa orientada na direção aqui chamada de paralela (eixo maior) possuía partículas de dimensão adequada. Assim a concentração de 4% é suficiente tanto para os painéis constituídos de partículas oriundas do corte tangencial quanto para do corte radial.

Quanto à resistência máxima em flexão, Tabelas 4.13 e 4.14, somente os painéis confeccionados com os cortes radiais apresentaram diferenças quanto à direção de corte do painel. A análise considerando a direção de corte tangencial somente a concentração de 4% foi considerada anisotrópica.

O mesmo comportamento observado no módulo de rigidez em flexão, vide Tabelas 4.13 e 4.14, foi observado na resistência máxima, ou seja, a necessidade de aumento de quantidade de resina para atingir valores maiores de resistência para os cortes radiais em relação aos tangenciais. Comparando as concentrações em uma única direção de extração de corpo de prova, observa-se que os valores médios de módulo elástico e resistência em flexão apresentaram um resultado melhor para os painéis feitos com bambus cortados na direção tangencial com 6% de resina, enquanto para os feitos com cortes na direção radial a concentração ideal é 8%.

No que diz respeito à direção do corte para confecção de partículas, quando houve diferença estatística entre os resultados de resistência máxima em flexão, os maiores valores encontrados eram dos painéis cujas partículas foram obtidas por meio de corte na direção radial, como em 6% na direção paralela e 8% em ambas as direções.

Tabela 4.17 – Valores de resistência em flexão dos painéis feitos com a região inferior (A) dos colmos e montados com partículas oriundas do corte tangencial

Identificação dos Painéis	Resistência em flexão (MPa)					
	Paralela			Perpendicular		
	4%	6%	8%	4%	6%	8%
Média	33 a	34 a	20 b	16 c	32 a	18 b
Mediana	33	34	20	17	32	16
Desvio Padrão	4	4	2	2	1	3
Coefficiente de Variação (%)	13	12	9	15	2	15

Tabela 4.18 – Tabela com os valores das resistência em flexão dos painéis feitos com a região inferior (A) dos colmos e montados com partículas oriundas do corte radial

Identificação dos Painéis	Resistência em flexão (MPa)					
	Paralela			Perpendicular		
	4%	6%	8%	4%	6%	8%
Média	29 a	41 b	49 c	20 d	32 e	34 e
Mediana	29	42	49	20	30	35
Desvio Padrão	4	4	5	4	3	8
Coefficiente de Variação (%)	15	10	10	20	9	22

Valores de resistência em flexão para todas as concentrações de resinas testadas são maiores do que os de OSB/3 de *Pinus* com espessura de 15 mm com relação ao eixo maior ou paralelo (20 MPa) e com relação ao eixo menor ou perpendicular (10 MPa).

A norma canadense 0437.1-93 (*Canadian Standards Association- Test Methods for OSB*) apresenta valores mínimos para módulo elástico em flexão de 5393,6 MPa em paralelo e 1470,9 MPa perpendicular e resistência em flexão de 28,4 MPa em paralelo e 12,1 MPa perpendicular. Pelos resultados obtidos, os painéis com 6% de resina apresentaram resultados satisfatórios e comparáveis aos OSB confeccionados com madeiras tradicionais de reflorestamento.

5 CONCLUSÕES

A espécie de bambu, *Dendrocalamus giganteus*, escolhida para este estudo, tem redução gradual e proporcional de espessura, diâmetro e massa, no sentido da base para o topo, assim o rendimento da biomassa é maior quando se utiliza a parte inferior do colmo. A diminuição da densidade da região inferior para a superior levou a um aumento da absorção de água. Em termos de painéis para usos estruturais, dependendo da finalidade, pode-se optar por determinada seção do colmo para a confecção de produtos específicos para cada intervalo de densidade, otimizando o gasto com resina.

A retirada dos diafragmas causou uma redução da massa para laminação de 60% na direção tangencial e 55% na direção radial. O rendimento obtido na laminação na direção tangencial foi de 74 % e na direção radial de 56 %, esta diferença foi estatisticamente significativa a um nível de significância de 0,05 utilizando a distribuição de probabilidade de Fisher.

As dimensões das partículas obtidas após passagem no picador foram: 6 mm de espessura, 80 mm de comprimento, de 40 a 30 mm de largura para o corte tangencial e entre 20 e 10 mm de largura para o corte radial. Observou-se durante a utilização do picador que, apesar das lâminas metálicas terem sido substituídas na mudança do tipo de corte, houve maior desgaste em menos tempo para o corte radial do que para o tangencial. A superfície das partículas oriundas do corte radial era mais irregular e tinha um aspecto mais rugoso.

É possível obter painéis de OSB/3 de bambu com densidades maiores do que $0,70 \text{ g/cm}^3$ e razões de compactação maiores do que 1,3, independente da direção do corte e da quantidade de resina.

As propriedades físicas de absorção e inchamento em espessura dos painéis apresentaram um aumento nos seus valores com o tempo de imersão em água de 2 para 24 horas. Foram igualmente observadas reduções nos valores de absorção e de inchamento em espessura com o aumento da concentração de resina. Somente a concentração de 8% de resina, tanto para os painéis constituídos de partículas oriundas do corte tangencial quanto radial, ficaram abaixo do admitido pela norma

Européia. Quanto a influencia do tipo de corte, dependendo da concentração, ou não houve diferença nas propriedades físicas ou esta foi muito pequena.

Quanto maior a concentração de resina maior foram os valores de ligação interna encontrados, ou seja, maior a adesão entre a fibra e a resina, independente da direção de corte. No que tange esta propriedade mesmo a menor quantidade de resina (4%) pode ser usada, visto que apresenta o valor encontrado é maior do que o mínimo de 32 MPa previsto pela norma Européia para OSB de madeira, para a espessura média de 15 mm.

Quanto ao comportamento mecânico à compressão e em flexão dos painéis, a direção do cortes (tangenciais ou radiais) para confecção das partículas influencia significativamente a concentração ótima de resina. Para os cortes tangenciais os maiores valores foram obtidos para painéis com 6% de resina, enquanto para os cortes radiais foi de 8%. Pelos resultados obtidos, os painéis com 6% de resina apresentaram resultados satisfatórios e comparáveis aos OSB confeccionados com madeiras tradicionais de reflorestamento.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Estudo do desempenho das partes intermediárias e superiores desta espécie de bambu para confecção de painéis de OSB, visto que a densidade básica tende a aumentar da base para o topo, implicando em menor gasto de resina para se obter painéis com melhor comportamento físico e mecânico.

Estudo do efeito de parafina na higroscopicidade das partículas com vistas à redução percentual de absorção de água e inchamento em espessura do painel, assim como o efeito de diferentes resinas nas propriedades mecânicas.

5.2 Considerações

Sugere-se que as dimensões dos painéis para ensaios sejam alterados de 48 x 48 cm para 50 x 50 cm, visando atendimento às dimensões prescritas pelas normas e, minimizar o efeito das bordas.

O bambu *D. giganteus*, apesar de suas limitações agronômicas e anatômicas, é indicado para a confecção de painéis de partículas orientados conforme resultados deste estudo. Há, contudo necessidade de adaptação de equipamentos para sua comercialização, além de incentivos fiscais para o plantio industrial desta matéria-prima.

REFERÊNCIAS

- ABTCP – Associação Técnica Brasileira de Celulose e Papel. **Curso de Fabricação de Celulose**. 1971.
- AMADA, S.; MUNEKATA, T.; NAGASE, Y.; ICHIKAWA, Y.; KIRIGAI, A.; ZHIFEI, Y. **The mechanical structures of bamboos in viewpoint of functionally gradient and composite material**. Journal of Composite Material, Japan, v.30, n.7, p.801-819. 1996.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. **Standard methods of evaluating the properties of wood-base fiber and particle panel materials**. In: Annual Book of ASTM Standard, ASTM D 1037-78 B. Philadelphia. 1996.
- AZZINI, A.; GONDIM-TOMAZ, R.M.A. **Extração de amido em cavacos de bambu tratados com solução diluída de hidróxido de sódio**. Bragantia, v.55, n.2, p. 215-219. 1996.
- BATISTA, M. **Revista Recuperar**. Rio de Janeiro. N34, p. 15. Março/Abril. 2000.
- BEER, J.H. **Subsistence use and market value of non-timber Forest products: the example from southeast Ásia**. In Netherlands Committee for IUCN, p.9-11, 1996.
- BERALDO, A.L. **Tecnologias e Materiais Alternativos de Construção**. Ed. UNICAMP. Campinas-SP, p 275, 2003.
- BERALDO, A.L.; AZZINI, A. **BAMBU: CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES**. Livraria Editora Agropecuária. Canoas-RS, 122 p, 2004.
- BERALDO, A.L.; ESPELHO, J.C.C. **Avaliação da durabilidade de taliscas de bambu**. Anais do 10º Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. São Pedro – SP, 2006.
- BERLYN, G.P. **Recent advances in wood anatomy** - Journal, Madison, v. 10, p. 467-476. 1964.

BILLMEYER JR, F. W. **Textbook of Polymer Science**. 6a ed. John Wiley & Sons Inc. New York. 1970.

BODIG, J.; JAYNE, B.A. **Mechanics of wood and wood composites**. New York, Van Nostrand Reynold Company Inc. 1982.

BRITO, E.O. **A viabilidade de utilização de espécies de *Pinus* para produção de chapas de composição estruturais Waferboards**. Tese Doutorado em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 1995.

BRITO, J.O.; FILHO, M.T.; SALGADO, A.L.B. **Produção e caracterização do carvão vegetal de espécies e variedades de bambu**. Piracicaba, SP. IPEF, n 36 p.13-17. 1987.

CLOUTIER, A. **Oriented Strandboard (OSB): raw material, manufacturing process, properties of wood-base fiber and particle materials**. In: 1st International Seminar on Solid Wood Products of High Technology. Belo Horizonte-MG, p.173-185, 1998

D'Almeida, M.L.O. **Caracterização química e físico-química de materiais celulósicos. Celulose e papel**. Volume I. Tecnologia e Fabricação da pasta celulósica. Cap IV, p. 98. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. São Paulo-SP. 1981

DE S.K., WHITE, J.R. SHORT. **Fibre-Polymer Composites**. Woodhead, Publishing Limited England, p. 2,3. 1996.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION WHITE J.R. **Short Fibre-Polymer Composites**. Woodhead, Publishing Limited England, p.2,3, 64 e 65. 1996.

ESPELHO, J. C. C. **Tratamento Químico de Colmos de Bambu pelo Método de Boucherie Modificado**. Tese Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, p.83, 2007.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European Standard EN 323 – Wood-based panels – Determination of density**. Bruxelas. 1993.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European Standard EN 310-1993 – Wood-based panels – Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength.** Bruxelas. 1993.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European Standard EN 317 – Particleboards and Fiberboards – Determination of swelling in thickness after immersion in water.**Bruxelas. 1993.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European Standard EN 319-Particleboards and Fiberboards – Determination of tensile strength perpendicular to the plane of the board.** Bruxelas. 1993.

GHAVAMI, K. **Bambu: um material alternativo na Engenharia.** Revista Engenharia, n. 492, p.23-27, 1992.

GHAVAMI, K.; HOMBEECK, R.V. **Application of bamboo as a construction material. Part I – Mechanical properties & water – repellent treatment of bamboo, Part II- Bamboo reinforced concret beams.** In: Latin American Symposium on Rational Organization of Building Applied to Low Cost Housing.IPT/CIB. P. 49-66. São Paulo. 1981.

GHAVAMI, K.; MARINHO, A.B. **Propriedades Geométricas e Mecânicas de Colmos dos Bambus para Aplicações em Construções.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal-SP, v. 23, n.3 p.415-424, set/dez. 2003.

HELLMEISTER, J.C. **Madeiras e suas características.** Escola de Engenharia de São Carlos – USP, pág. 3. I Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, 1983.

HOEKSTRA, J.; FRITZIUS, U.W. **Reology of adhesives; in adhesion and adhesives.** New York, Elsevier Publishing Company, 1951.

IWAKIRI, S. **Painéis de partículas orientadas OSB.** Revista da Madeira: ABPM, edição n. 41, p.52-53. 1989.

JAIN, S., KUMAR, R., JINDAL, U.C. **Mechanical behaviour of bamboo and bamboo composite.** Journal of Material Science. Amesterdan, v. 27, n. 17, p. 4598-4604. 1992

JANSSEN, J.J.A. **Designing and building with bamboo.** International Network for Bamboo and Rattan (INBAR). Technical report nº 20. Beijing. China. 2000.

JANSSEN, J.J.A. **An environmental, economic and practical assessment of bamboo as a building material for supporting structures.** In: Construction and building materials. 2005.

JARAMILLO, S.V. **La Guadua em los proyetos de inversión.** In: Anales del Congresso Mundial de Bambú/Guadua. Pereira Colombia. 1992.

JESUS, J.M.H. **Estudo do adesivo poliuretano à base de mamona em madeira laminada colada.** Escola de Engenharia de São Carlos. p. 24,-28. São Carlos-SP. 2000.

JIANG, Z.H.; MING, Y.Y. **Prospects for substiyuing bamboo-based products to wood in Yunnan.** X World Forest Congress, v. 6, Paris, pp. 479-483, 1992.

JOSEPH, K. **Influence of the Interfacial Adhesion on the Mechanical Properties and Fracture Behaviour on Short Fibre Reinforced Polymer Composites.** Eur. Polym. J, v. 32, n. 10, p. 1243-1250, 1996.

KELLY, M. W. **Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard.** Madison: USDA Forest Service General. 66 p. Techincal Report FPL-10.1977.

KNIGHT, R.A.G. **Adhesives for wood.** London. Chapman & Hall. 1952.

KOCH, G.S.; KLAREICH, F.; EXSTRUM, B. **Adhesives for the composite wood panel industry.** New Jersey, Noyes Data Corporation. 1987.

KOGA, M.E.T. - **Matérias-Primas Fibrosas.** In: D'Almeida, M.L.O. **Tecnologia de Fabricação da Pasta Celulósica.** São Paulo-SP, 2.ed., V. 1, SENAI/IPT, p.15-44. 1988.

KOLLMANN, F.P.; COTE JR, W.A. **Principles of wood science technology**. Solid wood. Germany, Spring-Verlag, Berlin.Heildberg. 560 p. 1968.

LEE, A.W.C.; BAL, X. and PERALTA, P.N. **Anatomical Features of Bamboo Internodes**.1996.

LIESE, W. **Bamboos – Biology , silvies, properties, utilization**. Eschborn, dt Ges.fur.Techn.Zusammnarbeit (GTZ), 132 p., 1985.

LIESE, W. **The anatomy of bamboo culms**. Beijing, Technical Report, International Network for Bamboo and Rattan, 203 p., 1998.

LIMA JR.; H.C., DALCANAL, P.R.; WILLRICH, F.L.; BARBOSA, N.P. **Caracterização teórica-experimental das propriedades mecânicas do bambu *Dendrocalamus giganteus* colhido em Cascavel, PR**. In: **International conference of sustainable construction into the next millenium: Environmentally friendly and innovative cement based materials**. V.1, p.394-406. João Pessoa. 2000.

LOPEZ, O.H. **Bamboo, The gift of the gods**. Oscar Hidalgo Lopez Editor. 553 p. 2003.

LOPEZ, O.H. **Manual de Construcción com bambu**. Estúdios Técnicos Colombianos Ltda – Editores, p. 71. 1981.

MAC DONALD, R. G. **Pulp an paper manufacture**. New York, Mc Graw-Hill, v. 1, 1969.

MALONEY, T.M. **Modern Particleboard and Dry Process Fiberboard Manufacturing**. Miller Freeman Publications, 689 p.,1993.

MALONEY, T.M. **Modern Particleboards and Dry Process Fiberboard Manufacturing**. Miller Freeman Publications, p. 672-689. San Francisco, 1989.

MARRA, A.A. **Technology of Wood Bonding: Principles in Practice**. New York. Van Nostrand Reinhold, p. 453-454, 1992.

MENDES, I. M. ***Pinus spp* na Produção de Painéis, de Partículas Orientadas (OSB)**. Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

MOREIRA, L.E., GHAVAMI, K. **Os méritos do bambu**. O informador das construções, pesquisas e prospecção. P. 22-23. Belo Horizonte-MG, Jan 1995.

MOSLEMI, A. A. **Particleboard**. Southern Illinois. University Press. Vol. 1. Illinois, 1974.

NASCIMENTO, A. M., DELLA LUCIA, R.M. **Propriedades físicas da madeira do bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus* (Wall) Munro)** Boletim SIF. 6. Viçosa-MG., 1994.

NELSON, N.D. **Effects of wood and pulp properties on médium-density, dry-formed hardboard**. w, v.23, n.9, p.72-80, Sep. 1973.

OLIVEIRA, J.T.S. **Caracterização da madeira de eucalipto para Construção Civil**. Tese (Doutorado em Engenharia). Escola Politécnica.Universidade de São Paulo. 429 p., São Paulo-SP, 1997.

PEREIRA, M.A.R.; GARBINO, L.V. **Desenvolvimento e produção do bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus*) com vistas sua utilização na Engenharia Agrícola**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Goiânia. 2003.

PETERSON, R.W. **Wood adhesives**.Forest Products Research Branch, nº 1055. Otawa. 1964

PREECHATIWONG, W.; MALANIT, P.; KYOKONG, B. KAMLANGDEE, N. **Effects of Polymer Impregnation on Properties of Bamboo**. Walailak University. Thasala, Thailand, p. 80, 2006.

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA. **3 – Bambu**. Certificação digital N 0210646 CA. Rio de Janeiro.

RIVERO, L.A. **Laminado Colado e Contraplacado de Bambu**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas. Programa de PÓS Graduação em

Engenharia Agrícola, Faculdade de Engenharia Agrícola, p. 25. Campinas-SP. Agosto, 2003.

ROZMAN, H.D.; KUMAR, R.N.; ADLLI, M.R.M.; ABUSAMAH; A.; MOHD ISHAK, Z. **The Effect of Lignin and Surface Activation on the Mechanical Properties of Rubberwood-Polypropylene Composites.** Journal of Wood Chemistry and Technology, v. 18, n. 4, p. 471-490, 1998.

SALGADO, A.L.B.; AZZINI, A. **Conservação do bambu.** Instituto Agrônomo de Campinas, O Agrônomo, nº 46 (1-3), p. 21-26. Campinas-SP, 1994.

SAMLAIC, J. **Os atuais problemas e as possibilidades dos adesivos para madeira.** Revista Madeira nº 374, p. 7-10. 1983.

SHULER, C.E.; KELLY, R.A. **Effect of flake geometry on mechanical properties of Eastern Spruce flake-type particleboard.** Forest Products Journal, 26(6) 24-28. 1976.

SILVA, R.M.C. **O Bambu no Brasil e no Mundo.** p. 10, 2005.

SILVA, F.A. **Tenacidade de materiais compósitos não convencionais.** Dissertação de Mestrado. – Departamento de Engenharia Civil. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2004.

SOBRAL FILHO, M. **Adesão e adesivos para madeira: teorias de adesão e a natureza das colagens com madeira.** Brasília: Ministério da Agricultura, (Série Técnica, 5), 22 p., 1982.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **Sustentabilidade Ecológica e Econômica da Cultura do Eucalipto.** 2002.

SOUZA, N.A. **Arranjos produtivos locais: o caso de chapas e laminados em Ponta Grossa.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Sociais. Departamento de Economia. Curitiba-PR. p. 3. Junho/2005

SUCHSLAND, O; WOODSON, G. E. **Fiberboard manufacturing practices in United States**. Washington, DC:USDA, 1986. 263p. (USDA. Agricultural Handbook nº 640).

SULTHONI, A. **Traditional preservation of bamboo in Java, Indonesia**. In Proceedings of the International Bamboo Workshop, Hangzhou, China, 6 – 14 October 1987, Chines Academy of forestry, Beijing, China, p.349-357, 1987.

TSOUMIS, G. **Science and Technology of Wood: structure, properties, utilization**. New York: Van Nostrand, 494 p. 1991.

UNICAMP. **Tecnologias e materiais alternativos de construção**. Bambu: características e aplicações, p. 265. Campinas. 2003.

VALLE, C.E. **Qualidade ambiental: O desafio de ser competitivo protegendo o meio ambiente**.Ed .Pioneira, 117 p. São Paulo. 1995.

VITAL, B.R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa, MG, sif- Sociedade de Investigações Florestais, Boletim Técnico, nº 1, 21 p. 1984.

WILLIAMS, R.J.J.; ROJAS, A.J.; MARCIANO, J.H.; RUZZO, M.M.; HACK, H.G. **Polymer plastics technology eng**. 1985.

APÊNDICE A – QUANTIFICAÇÃO DE MATERIAIS POR PAINEL

a) Peso do painel de dimensões: 480 x 480mm x 15mm e densidade 0,70 g/cm³

$$D = M_{12}/V \quad M_{12} = D \cdot V = 0,70 \text{ g/cm}^3 \cdot 3456 \text{ cm}^3 = 2.419,20\text{g}$$

$$M_{12} = 2.419,20 \text{ g}$$

Sendo:

D= densidade do painel (g/cm³)

M₁₂= massa do painel com 12% de umidade

V= volume do painel (cm³)

b) Cálculo das proporções de materiais:

Massa das lâminas à 0% de umidade	100%	X
Massa da resina FF	4%	Y
Massa da água	12%	Z
Total (parte em peso=M ₁₂)	116%	2.419,20g

$$100\% \text{ X} = 2.085,52\text{g}$$

$$4\% \text{ Y} = 83,42\text{g}$$

$$12\% \text{ Z} = 250,26\text{g}$$

Massa das lâminas à 0% de umidade	100%	X
Massa de resina FF	6%	Y
Massa de água	12%	Z
	118%	2.419,20g

$$X = 2.050,17\text{g}$$

$$Y = 123,01\text{g}$$

$$Z = 246,02g$$

Massa das lâminas à 0% de umidade	100%	X
Massa da resina FF	8%	Y
Massa da água	12%	Z
	120%	2.419,20g

$$X = 2016,00g$$

$$Y = 161,28g$$

$$Z = 241,92g$$

c) Quantidade de lâminas úmidas por painel:

$$M_3 = (\text{umidade desejada}/100 + 1) \times M$$

$$M_3 = 2.148,07g \text{ para } 4\%$$

$$M_3 = 2.111,67g \text{ para } 6\%$$

$$M_3 = 2.076,48g \text{ para } 8\%$$

d) Quantidade de resina por painel:

R_S = resina na forma sólida

R_L = resina na forma líquida

T_S = teor de sólidos da resina

$$R_L = R_S \times 100/T_S$$

$$R_L = 83,42 \times 100/46 = 181,34g \text{ para } 4\%$$

$$R_L = 267,41g \text{ para } 6\%$$

$$R_L = 350,60g \text{ para } 8\%$$

e) Proporção das camadas por painel (25:50:25)

Densidade $0,70\text{g/cm}^3$, teor 4% de FF:

$$C \text{ externa} = (M_3 + R_L) \times 0,25/100$$

$$C \text{ externa} = (2.148,07 + 181,34) \times 0,25/100 = 582,35\text{g (x2) por camada}$$

$$C \text{ interna} = (M_3 + R_L) \times 0,50/100$$

$$C \text{ interna} = (2.148,07 + 181,34) \times 0,50/100 = 1.164,70\text{g}$$

$$\text{Total} = 2.329,40\text{g}$$

Densidade $0,70\text{g/cm}^3$, teor 6% de FF:

$$C \text{ externa} = (M_3 + R_L) \times 0,25/100$$

$$C \text{ externa} = (2.111,67 + 267,41) \times 0,25/100 = 594,77\text{g (2x) por camada}$$

$$C \text{ interna} = (M_3 + R_L) \times 0,50/100$$

$$C \text{ interna} = (2.111,67 + 267,41) \times 0,50/100 = 1.189,54\text{g}$$

$$\text{Total} = 2.379,08\text{g}$$

Densidade $0,70\text{g/cm}^3$, teor 8% de FF:

$$C \text{ externa} = (M_3 + R_L) \times 0,25/100$$

$$C \text{ externa} = (2.067,48 + 350,60) \times 0,25/100 = 606,77\text{g}$$

$$C \text{ interna} = (M_3 + R_L) \times 0,50/100$$

$$C \text{ interna} = (2.067,48 + 350,60) \times 0,50/100 = 1.213,54\text{g}$$

$$\text{Total} = 2.427,08\text{g}$$

APÊNDICE B – TABELAS COMPLETAS

Tabela 1 – Resultados das medidas físicas dos colmos.

Identificação dos colmos	Diâmetro da base (m)	Diâmetro da ponta (m)	Altura do corte em relação ao solo (m)	Número de nós ao longo da altura útil a 3 alturas (un)		
				Inferior (A)	Médio (B)	Superior (C)
1	0,19	0,11	13	14,0	9,0	8,0
2	0,18	0,15	15	11,0	9,0	8,0
3	0,16	0,1	14,6	16,0	9,0	12,0
4	0,17	0,1	15,6	14,0	11,0	9,0
5	0,17	0,1	13,6	12,0	10,0	10,0
6	0,18	0,11	15,3	16,0	8,0	13,0
7	0,17	0,11	17,3	17,0	11,0	15,0
8	0,18	0,11	18,6	15,0	10,0	10,0
9	0,19	0,14	18,3	14,0	11,0	15,0
10	0,16	0,1	15,0	13,0	10,0	13,0
11	0,16	0,1	16,0	14,0	11,0	14,0
12	0,15	0,1	16,4	16,0	10,0	13,0
13	0,16	0,1	13,6	13,0	8,0	9,0
14	0,17	0,12	15,9	14,0	11,0	11,0
15	0,16	0,1	14,3	14,0	10,0	10,0
16	0,18	0,12	19,1	12,0	8,0	9,0
17	0,17	0,11	16,1	13,0	11,0	12,0
18	0,17	0,11	12,2	12,0	7,0	9,0
19	0,16	0,1	11,9	11,0	8,0	8,0
20	0,2	0,13	13,3	11,0	8,0	10,0
Média	0,17	0,11	15,3	13,6	9,5	10,9
Mediana	0,17	0,11	15,2	14,0	10,0	10,0
Desvio Padrão	0,01	0,01	2,0	1,8	1,3	2,3
Coefficiente de Variação (%)	7	13	13	13	14	21

Tabela 2 – Informações das massas dos colmos de bambu coletados

Identificação dos colmos	Massa total do colmo cortado (kg)			Massa de galhos e folhas (kg)	Massa da ponteira (kg)	Massa do colmo limpo (kg)
	Inferior (A)	Média (B)	Superior (C)			
1	44	27	14	10,6	10,5	85,0
2	41	27	13	11,1	7,1	81,0
3	42	21	13	9,4	6,0	76,0
4	51	29	16	8,0	6,4	96,0
5	42	20	16	7,6	8,1	78,0
6	48	30	16	8,1	8,1	94,0
7	36	27	15	6,0	7,0	78,0
8	56	31	19	12,1	6,8	106,0
9	54	31	24	8,7	7,7	109,0
10	35	21	14	6,8	6,1	70,0
11	44	26	13	8,4	8,0	83,0
12	43	22	14	6,5	5,3	79,0
13	43	25	15	6,0	6,4	83,0
14	44	21	15	8,0	5,6	80,0
15	46	24	15	8,6	7,7	85,0
16	55	36	25	9,1	11,0	116,0
17	49	26	15	7,4	7,6	90,0
18	43	22	26	5,6	7,1	91,0
19	35	24	16	4,1	5,4	75,0
20	42	25	14	7,0	6,3	81,0
Média	45	26	16	8,0	7,2	86,8
Mediana	44	26	15	8,0	7,1	83,0
Desvio Padrão	6	4	4	1,9	1,5	12,1
Coefficiente de Variação (%)	14	16	24	24	21	14

Tabela 3 –Tabela com as espessuras e os diâmetros das regiões inferior, médio e superior dos colmos

Identificação dos Colmos	Espessura (cm)			Diâmetro (cm)		
	Inferior (A)	Média (B)	Superior (C)	Inferior (A)	Média (B)	Superior (C)
1	2,0	1,3	1,0	19	13,16	12,11
2	1,6	1,4	1,0	18	16,23	16,11
3	1,4	1,1	0,9	16	11,88	11,38
4	1,6	1,3	1,0	17	12,31	11,04
5	1,6	1,2	1,1	17	13,77	10,74
6	1,7	1,3	1,1	18	13,13	11,06
7	1,4	1,3	1,0	17	13,89	12,16
8	1,4	1,8	1,1	18	13,87	12,05
9	1,6	1,2	0,9	19	13,32	12,17
10	1,4	1,2	1,0	16	15,23	14,85
11	1,4	1,4	1,1	16	13,91	11,19
12	1,4	1,1	1,0	15	11,79	11,1
13	1,6	1,3	1,1	16	13,5	11,64
14	1,6	1,4	1,3	17	14,36	13,31
15	1,4	1,1	1,1	16	14,96	14,81
16	1,8	1,4	1,3	18	16,06	14,91
17	1,6	1,3	1,2	17	14,43	14,12
18	1,8	1,5	1,1	17	14,93	13,11
19	1,6	1,3	1,2	16	13,89	12,44
20	1,6	1,2	0,9	20	15,88	12,26
Média	1,6	1,3	1,1	17,2	14,0	12,6
Mediana	1,6	1,3	1,1	17,0	13,9	12,2
Desvio Padrão	0,2	0,2	0,1	1,3	1,3	1,6
Coefficiente de Difusão (%)	10,5	12,3	11,0	7,4	9,1	12,4

Tabela 4 –Tabela com os valores das densidades e das absorções de água das regiões inferior (A), média (B) e superior (C) dos colmos

Identificação dos Colmos	Densidade (kg/m ³)			Absorção de Água (%)		
	A	B	C	A	B	C
1	0,62	0,74	0,83	81	39	39
2	0,45	0,59	0,79	124	123	70
3	0,54	0,62	0,89	97	49	30
4	0,53	0,53	0,76	100	94	71
5	0,45	0,55	0,6	137	90	22
6	0,59	0,67	0,88	86	53	28
7	0,52	0,65	0,84	110	58	36
8	0,48	0,77	0,9	54	32	26
9	0,62	0,67	0,89	52	34	25
10	0,55	0,59	0,57	186	72	52
11	0,5	0,53	0,56	106	84	63
12	0,51	0,55	0,66	100	87	61
13	0,47	0,59	0,62	122	69	38
14	0,69	0,71	0,89	59	45	28
15	0,53	0,58	0,73	104	76	50
16	0,50	0,71	0,92	157	60	31
17	0,63	0,67	0,88	77	49	26
18	0,52	0,51	0,56	113	96	81
19	0,42	0,5	0,58	117	101	87
20	0,44	0,54	0,59	97	89	85
Média	0,54	0,61	0,73	104	70	47
Mediana	0,53	0,59	0,70	102	71	38
Desvio Padrão	0,09	0,09	0,15	33	25	22
Coefficiente de Variação (%)	17	15	20	32	36	47

Tabela 5 – Relação entre a massa dos colmos com e sem diafragma e ainda a massa das partículas resultantes dos cortes tangenciais e radiais

Identificação dos Colmos	Tangente (kg)		Radial (kg)		Partículas (kg)	
	Com Diafragma	Sem Diafragma	Com Diafragma	Sem Diafragma	Tang	Rad
1 ^a	21,9	12,8	18,1	9,6	10,3	7
2 ^a	20,8	9,8	20,2	9,5	7,2	6,1
3 ^a	20	12,1	22	13,3	9,1	7,7
4 ^a	21,9	13,7	29,1	16,1	10,6	6,4
5 ^a	19,3	10,1	22,7	11,6	7,6	7
6 ^a	26	16,1	22	11,5	12,7	6,4
7 ^a	17,1	9,1	18,1	10,2	6,6	6,7
8 ^a	28	18,3	28	19,1	14,6	8,5
9 ^a	26,2	18,3	27,8	19,9	14,2	11,1
10 ^a	18,2	9,4	16,8	9,5	7	5,3
11 ^a	21,8	11,8	22,2	12,1	9,1	6,4
12 ^a	18,2	10,3	24,8	16	8,3	8,1
13 A	21,2	12,6	21,8	13,1	9,7	6,8
14 A	19,2	11,1	24,8	15,6	8,6	9,1
15 A	22	13,9	24	14,4	10	7,9
16 A	28,2	17,5	26,8	16,2	12,1	8,9
17 A	29,3	19,7	19,7	9,8	14,1	6
18 A	19,9	12,8	23,1	14,9	9,6	7,7
19 A	15,9	9,9	19,1	13,3	7,1	7,4
20 A	21,3	10,9	20,7	11,1	17,6	6,4
Média	21,8	13,0	22,6	13,3	10,3	7,3
Mediana	21,3	12,4	22,1	13,2	9,7	7,0
Desvio Padrão	3,8	3,3	3,5	3,1	3,0	1,3
Coefficiente de Variação (%)	17	25	16	23	29	18

Tabela 6 – Valores de densidade feitos com a região (A) dos colmos e montados com lâminas oriundas do corte tangencial e radial.

Identificação dos Painéis	Densidade (g/cm ³)					
	Tangencial			Radial		
	4%	6%	8%	4%	6%	8%
1	0,75	0,91	0,8	0,66	0,74	0,95
1	0,71	0,85	0,91	0,7	0,96	0,89
1	0,74	0,85	1,01	0,85	0,95	0,75
1	0,89	0,72	0,74	0,86	0,87	0,77
1	0,88	0,78	0,72	0,83	0,9	0,7
2	0,69	0,96	0,81	0,77	0,86	0,78
2	0,73	0,95	0,7	0,74	0,8	0,83
2	0,69	0,78	0,77	0,9	0,99	0,85
2	0,79	0,75	0,95	0,88	0,94	0,88
2	0,81	0,78	0,87	0,81	0,9	0,86
3	0,64	0,88	0,82	0,8	0,94	0,93
3	0,72	0,85	0,7	0,86	0,95	0,95
3	0,72	0,8	0,79	0,82	0,84	0,91
3	0,75	0,87	0,83	0,87	0,85	0,93
3	0,73	0,89	0,96	0,88	0,81	0,82
4	0,75	0,75	0,8	0,81	0,86	0,83
4	0,78	0,82	0,79	0,78	0,89	0,93
4	0,75	0,73	0,78	0,81	0,84	1
4	0,93	0,74	0,84	0,87	0,77	0,98
4	0,8	0,81	0,91	0,93	0,76	0,87
5	0,75	0,86	0,72	0,72	0,74	0,92
5	0,73	0,91	0,71	0,78	0,86	1
5	0,84	0,75	0,82	0,76	0,88	0,91
5	0,86	0,82	0,73	0,71	0,91	0,89
5	0,77	0,88	0,7	0,72	0,93	0,92
Média	0,77	0,83	0,81	0,8	0,87	0,88
Mediana	0,75	0,82	0,8	0,81	0,87	0,89
Desvio Padrão	0,07	0,07	0,09	0,07	0,07	0,08
Coeficiente de Variação (%)	8,79	8,38	10,89	8,69	8,18	8,83

Tabela 7– Valores de absorção de água e de inchamento em espessura dos painéis feitos com a região (A) dos colmos e montados com lâminas oriundas do corte tangencial

Identificação dos Painéis	Absorção de Água (%)						Inchamento em Espessura (%)					
	2 h			24 h			2 h			24 h		
	4	6	8	4	6	8	4	6	8	4	6	8
1	42	25	22	57	41	52	23	13	15	26	24	16
1	37	22	17	54	38	21	21	10	7	27	18	17
1	38	20	9	56	35	18	19	8	4	20	14	8
1	24	40	30	45	62	44	14	15	0	27	15	0
1	24	23	26	45	41	46	0	8	11	25	15	17
2	50	18	17	60	28	35	24	13	5	28	17	10
2	48	5	57	60	28	73	26	10	8	31	13	12
2	47	30	22	61	43	39	21	15	9	25	20	12
2	40	35	26	52	47	39	23	16	6	26	20	7
2	38	32	18	51	46	33	26	17	10	32	22	13
3	54	20	22	66	35	37	21	31	10	22	40	12
3	49	20	35	61	34	49	24	11	7	30	17	11
3	48	25	20	60	39	37	23	13	9	28	17	11
3	43	22	17	56	37	34	26	9	6	33	20	13
3	41	18	12	53	33	25	20	10	5	28	18	9
4	43	27	7	58	44	28	23	12	6	24	17	14
4	40	24	12	54	40	18	26	10	4	29	16	0
4	41	30	18	56	43	28	23	13	6	27	19	2
4	32	33	17	46	46	21	24	18	12	32	22	19
4	39	26	13	53	42	24	21	12	6	25	21	13
5	40	20	23	54	35	39	21	10	8	24	18	8
5	42	19	42	55	31	56	22	6	0	26	17	5
5	38	36	13	51	51	26	23	9	3	27	15	5
5	35	18	28	49	32	43	24	5	7	31	13	7
5	38	16	23	52	31	39	31	7	6	31	13	8
Média	40	24	22	55	39	36	23	12	7	27	18	11
Mediana	40	23	20	54	39	37	23	11	7	27	17	11
Desvio Padrão	7	8	11	5	8	13	3	5	3	3	5	4
Coefficiente de Variação (%)	18	31	49	9	20	36	13	43	36	12	29	34

Tabela 8 – Valores de absorção de água e de inchamento em espessura dos painéis feitos com a região (A) dos colmos e montados com lâminas oriundas do corte radial

Identificação dos Painéis	Absorção de Água (%)						Inchamento em Espessura (%)					
	2 h			24 h			2 h			24 h		
	4	6	8	4	6	8	4	6	8	4	6	8
1	47	32	11	63	48	21	18	14	5	24	15	9
1	46	14	18	57	28	33	13	7	12	22	13	14
1	33	14	29	48	27	45	24	6	9	32	11	12
1	28	19	27	44	34	37	16	8	7	26	15	8
1	24	20	35	43	36	50	14	9	11	22	15	12
2	38	23	23	52	39	38	20	13	10	23	20	12
2	42	23	18	55	40	33	23	8	6	24	16	13
2	30	13	15	45	24	28	21	8	6	31	11	10
2	32	15	15	46	31	29	18	7	8	28	16	13
2	37	18	16	49	37	33	20	9	11	25	15	15
3	38	18	9	49	36	24	20	11	5	23	20	15
3	29	17	11	42	34	22	17	9	6	25	18	10
3	32	24	9	47	40	23	19	9	7	27	14	10
3	30	23	11	46	40	23	17	11	6	24	19	9
3	32	25	17	47	44	33	19	10	7	26	19	12
4	40	23	17	55	38	29	25	10	7	30	17	4
4	39	19	10	52	36	27	23	6	11	32	18	22
4	40	24	8	53	39	16	24	11	3	30	20	5
4	34	32	9	48	47	20	21	15	6	28	19	9
4	24	33	23	42	49	37	18	17	9	27	21	14
5	43	33	11	56	47	24	20	14	8	23	16	11
5	39	13	8	51	24	18	18	5	6	21	6	7
5	37	17	6	50	30	21	18	7	10	23	12	12
5	41	20	16	54	34	31	20	13	4	24	20	12
5	41	8	13	54	23	26	20	9	7	25	15	11
Média	36	21	15	50	37	29	19	10	7	26	16	11
Mediana	37	20	15	49	36	28	20	9	7	25	16	12
Desvio Padrão	6	7	7	5	8	8	3	3	2	3	4	4
Coefficiente de Variação (%)	17	31	48	11	20	29	15	31	33	13	22	32

Tabela 9 – Valores de ligação interna dos painéis feitos com a região (A) dos colmos e montados com lâminas oriundas do corte tangencial e radial

Identificação dos Painéis	Ligação Interna (MPa)					
	Tangencial			Radial		
	4%	6%	8%	4%	6%	8%
1	0	0,59	0,47	0,3	0,39	0,53
1	0,47	0,48	0,73	0,27	0,37	0,74
1	0,45	0,43	0,58	0,37	0,23	0,55
1	0,24	0,48	0,54	0,39	0,35	0,63
1	0,26	0,56	0,44	0,57	0,3	0,44
2	0,54	0,39	0	0,31	0,44	0,55
2	0,39	0	0,81	0,32	0,46	0,77
2	0,35	0,47	0,72	0,27	0,29	0,69
2	0,46	0,33	0,86	0,41	0,36	0,58
2	0,26	0,29	0,45	0,5	0,45	0,65
3	0,25	0,43	0,6	0,44	0,45	0,62
3	0,34	0,46	0,74	0,42	0,33	0,49
3	0,41	0,55	0,95	0,4	0,54	0,73
3	0,11	0,57	0,8	0,36	0,31	0,87
3	0,34	0,45	0,77	0,4	0,51	0,84
4	0,39	0,25	0	0,42	0,43	0,69
4	0,4	0,32	0,45	0,34	0,49	0,91
4	0,23	0,27	0,35	0,4	0,39	0,7
4	0,3	0,33	0,5	0,21	0,44	0,49
4	0,32	0,31	0,3	0,21	0,43	0,61
5	0,34	0,29	0	0,18	0,42	0,49
5	0,28	0,26	0	0,25	0	0,86
5	0,33	0,39	0	0,36	0	0,67
5	0,26	0,44	0	0,43	0	0,36
5	0,33	0,55	0	0,22	0,71	0,72
Média	0,34	0,41	0,62	0,35	0,41	0,65
Mediana	0,33	0,43	0,59	0,36	0,42	0,65
Desvio Padrão	0,09	0,11	0,19	0,1	0,1	0,14
Coeficiente de Variação (%)	2,81	2,6	3,06	2,75	2,45	2,2

Tabela 10 –Tabela com os valores dos módulos de elasticidade sob flexão dos painéis feitos com a região (A) dos colmos e montados com lâminas oriundas do corte tangencial

Identificação dos Painéis	Módulo de Elástico em Flexão (MPa)					
	Paralela			Perpendicular		
	4%	6%	8%	4%	6%	8%
1	4715	4350	3205	2578	4221	2642
2	5663	6291	3899	2104	3497	2969
3	5321	4941	3509	2002	3657	2927
4	5213	6230	3458	2549	3750	3191
5	5560	5840	4205	2601	3503	2985
Média	5294	5530	3655	2367	3726	2943
Mediana	5321	5840	3509	2549	3657	2969
Desvio Padrão	370	852	395	289	297	197
Coeficiente de Variação (%)	7	15	11	12	8	7

Tabela 11 –Tabela com os valores dos módulos de elasticidade sob flexão dos painéis feitos com a região (A) dos colmos e montados com lâminas oriundas do corte radial

Identificação dos Painéis	Módulo de Elástico em Flexão (MPa)					
	Paralela			Perpendicular		
	4%	6%	8%	4%	6%	8%
1	4992	6381	7088	2753	3504	4130
2	5242	5446	6493	2777	3630	3091
3	5038	6212	7552	3244	3539	3282
4	3858	5795	6987	3401	3551	3104
5	5285	6219	7488	2606	3658	3053
Média	4883	6011	7122	2956	3576	3332
Mediana	5038	6212	7088	2777	3551	3104
Desvio Padrão	587	383	428	345	65	455
Coeficiente de Variação (%)	12	6	6	12	2	14

Tabela 12 –Tabela com os valores das resistências em flexão dos painéis feitos com a região (A) dos colmos e montados com lâminas oriundas do corte tangencial

Identificação dos Painéis	Resistência em flexão (MPa)					
	Paralela			Perpendicular		
	4%	6%	8%	4%	6%	8%
1	33	37	19	18	31	21
2	38	34	23	14	32	15
3	28	28	19	13	33	20
4	30	34	21	17	32	16
5	37	38	20	19	33	16
Média	33	34	20	16	32	18
Mediana	33	34	20	17	32	16
Desvio Padrão	4	4	2	2	1	3
Coefficiente de Variação (%)	13	12	9	15	2	15

Tabela 13 –Tabela com os valores das resistências em flexão dos painéis feitos com a região (A) dos colmos e montados com lâminas oriundas do corte radial

Identificação dos Painéis	Resistência em flexão (MPa)					
	Paralela			Perpendicular		
	4%	6%	8%	4%	6%	8%
1	31	45	46	23	34	43
2	29	37	55	19	30	35
3	21	44	49	23	30	25
4	33	42	43	14	30	28
5	29	37	54	20	36	41
Média	29	41	49	20	32	34
Mediana	29	42	49	20	30	35
Desvio Padrão	4	4	5	4	3	8
Coefficiente de Variação (%)	15	10	10	20	9	22

Tabela 14 –Tabela com os valores dos módulos de elasticidade à compressão dos painéis feitos com a região (A) dos colmos e montados com lâminas oriundas do corte tangencial

Identificação dos Painéis	Módulo de Elasticidade à Compressão (MPa)					
	Paralela			Perpendicular		
	4%	6%	8%	4%	6%	8%
1	2741	2844	2986	2469	3319	2454
2	2209	3342	3020	2189	3715	2445
3	2862	3346	2604	2357	3652	2418
4	2969	4661	2774	2759	3198	2376
5	2908	4276	2339	2194	3295	2526
Média	2738	3694	2745	2394	3436	2444
Mediana	2862	3346	2774	2357	3319	2445
Desvio Padrão	307	748	283	236	232	55
Coefficiente de Variação (%)	11	20	10	10	7	2

Tabela 15 –Tabela com os valores dos módulos de elasticidade à compressão dos painéis feitos com a região (A) dos colmos e montados com lâminas oriundas do corte radial

Identificação dos Painéis	Módulo de Elasticidade à Compressão (MPa)					
	Paralela			Perpendicular		
	4%	6%	8%	4%	6%	8%
1	3364	3344	3899	2983	2336	3634
2	3000	3961	4069	3038	2327	3396
3	3256	3303	4034	3046	2990	3469
4	3371	3375	3532	2966	3065	3904
5	2986	3751	3336	2800	3313	3883
Média	3195	3547	3774	2967	2806	3657
Mediana	2862	3346	2774	2357	3319	2445
Desvio Padrão	190	293	324	99	450	232
Coefficiente de Variação (%)	6	8	9	3	16	6

Tabela 16–Tabela com os valores das resistências à compressão dos painéis feitos com a região (A) dos colmos e montados com lâminas oriundas do corte tangencial

Identificação dos Painéis	Resistência à Compressão (MPa)					
	Paralela			Perpendicular		
	4%	6%	8%	4%	6%	8%
1	13	16	17	12	20	16
2	13	19	14	14	22	15
3	10	18	15	13	20	14
4	10	18	15	14	18	14
5	15	17	15	12	20	12
Média	12	18	15	13	20	14
Mediana	13	18	15	13	20	14
Desvio Padrão	2	1	1	1	2	2
Coeficiente de Variação (%)	18	7	6	8	8	12

Tabela 17 –Tabela com os valores dos resistências à compressão dos painéis feitos com a região (A) dos colmos e montados com lâminas oriundas do corte radial

Identificação dos Painéis	Resistência à Compressão (MPa)					
	Paralela			Perpendicular		
	4%	6%	8%	4%	6%	8%
1	18	21	26	17	12	23
2	18	17	23	15	16	27
3	17	21	23	12	19	21
4	17	20	20	15	13	27
5	17	17	21	16	18	22
Média	17	19	23	15	16	24
Mediana	17	20	23	15	16	23
Desvio Padrão	1	2	2	2	3	3
Coeficiente de Variação (%)	3	11	10	12	19	11