



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

RODRIGO S. BERNDSEN

CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA, FÍSICA E  
MECÂNICA DE LÂMINAS DE BAMBU (*Phyllostachys*  
*pubescens*)

CURITIBA

SETEMBRO - 2008

**RODRIGO S. BERNDSEN**

**CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA, FÍSICA E  
MECÂNICA DE LÂMINAS DE BAMBU (*Phyllostachys*  
*pubescens*)**

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. Eduardo Mauro do Nascimento, Dr.

**Co-orientador:** Prof. Ricardo Jorge Klitzke, Dr.

**CURITIBA**

**SETEMBRO - 2008**

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

RODRIGO S. BERNDSEN

# **CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA, FÍSICA E MECÂNICA DE LÂMINAS DE BAMBU (*Phyllostachys* *pubescens*)**

Esta Dissertação foi julgada para a obtenção do título de mestre em engenharia, área de concentração em engenharia de materiais, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais da UTFPR.

---

Prof. Neri Volpato, PhD  
Coordenador de Curso

### **Banca Examinadora**

---

Prof. Luciano F. dos Santos Rossi, Dr  
UTFPR

---

Prof. Luiz Carlos A. Rodrigues, Dr  
UTFPR

---

Prof. Graciela I. Bolzón de Muñiz, Dr  
UFPR

---

Prof. Eloy Fassi Casagrande Jr, PhD.  
UTFPR

Curitiba, 04 de Setembro de 2008

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais Carlos e Hilda pelo amor,  
carinho e constante incentivo ao estudo  
Aos meus irmãos Lissandro, Andréa e Fernando  
A minha esposa e amiga Janaina, pelo amor e a  
paciência durante este trabalho  
e a Deus pela fé

## **AGRADECIMENTOS**

Ao orientador Profº Eduardo Mauro do Nascimento, pela orientação e paciência durante este período.

Ao co-orientador Profº Ricardo Jorge Klitzke, pelo tempo dedicado, e por acreditar na proposta deste trabalho.

Ao professor Profº Fabiano Ostapiv pela ajuda durante o mestrado

Ao Djeison Batista pelo auxilio nos ensaios de estabilidade dimensional e na parte estatística deste trabalho.

Ao Daniel Lourenço Savioli por todo auxilio na parte experimental

Ao Vitor Daniel Herrera e Antonio Perim da marcenaria da Engenharia Florestal da UFPR, pela ajuda na confecção dos corpos de prova.

Ao Laboratório de Tecnologia da Madeira da UFPR, e seus laboratoristas pela ajuda na execução dos ensaios mecânicos

Ao Breno pela ajuda nos ensaios anatômicos

Ao professor Jorge Matos pelas dicas e empréstimo do laboratório para execução dos ensaios mecânicos.

À professora Graciela Muniz, pela ajuda no laboratório de anatomia

À UTFPR e ao PPGEM por proporcionar um ensino de qualidade.

À CAPES pela bolsa de estudo

À banca examinadora.

Aos meus colegas, pelo grande apoio durante o decorrer do mestrado

Aos meus amigos, à minha família, pela compreensão, força, amor e dedicação.

**BERNDSEN, Rodrigo S. Caracterização Anatômica, Física e Mecânica de Lâminas De Bambu (*Phyllostachys pubescens*)** Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 98p

## **RESUMO**

As buscas por materiais renováveis de baixo impacto ambiental apontam o bambu como um material que promove o desenvolvimento sustentável, devido ao seu rápido crescimento e pelo fato de não precisar ser replantado após seu corte. Além disso, o bambu possui alta resistência e pode ser utilizado como uma alternativa para suprir o “déficit” de fornecimento de matéria-prima para o setor madeireiro. Neste trabalho foram avaliadas as propriedades anatômicas, físicas e mecânicas do Bambu Moso (*Phyllostachys pubescens*) em diferentes posições e idades. Esta espécie é a mais indicada como alternativa de reflorestamento para o sul do Brasil, devido a fatores climáticos. Foram cortados 12 colmos de bambu com idade de 1, 3 e 5 anos, seccionados no sentido longitudinal para a obtenção de tiras. As camadas externas e internas foram removidas formando lâminas; que foram secas até atingir um teor de umidade de 12% e posteriormente, foi realizado um acabamento final. Para atender o objetivo, foram confeccionados corpos-de-prova com lâminas de bambu, conforme a adaptação da norma ASTM D 143-96. Com isso, foi avaliado o diâmetro dos vasos, a concentração de vasos, as dimensões das fibras, a densidade básica, o teor de umidade, a estabilidade dimensional, a resistência à tração, à compressão, à flexão, a dureza e abrasão. Os resultados foram analisados estatisticamente pela análise de variância (ANOVA). A maior densidade básica foi de  $0,80 \text{ g/cm}^3$  encontrada no topo dos colmos com 5 anos de idade. Houve um aumento significativo da maioria das propriedades físicas e mecânicas com o aumento da idade e da altura dos colmos. As propriedades do bambu Moso indicam a potencialidade da espécie para a produção de produtos de alto valor agregado onde for necessário um material de alta resistência, desde que seja devidamente processado.

**Palavras-chave:** Bambu laminado, propriedades anatômicas, físicas e mecânicas

BERNDSEN, Rodrigo S. **Caracterização Anatômica, Física e Mecânica de Lâminas De Bambu (*Phyllostachys pubescens*)** Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 98p

## ABSTRACT

The search for renewable materials with low environmental impact has put bamboo forward as a material that promotes the sustainable development, due to its fast growing and that it is not necessary to replant it after the harvesting. Besides, bamboo has high resistance and may be utilized as an alternative to face the deficit of raw materials supplement for the timber market. The aim of this dissertation is to evaluate the anatomic, physical and mechanical properties of this species, at different heights and ages of Moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*). This species is the most suitable as an alternative to reforest for southern Brazil due to the climate factors. Twelve culms were harvested with 1, 3, and 5 years old. They have been cut in the longitudinal way in order to obtain strips. The outer and inner layers were removed becoming laminated bamboo. After that, they were dried until 12% of moisture contents and a final finishing was done. In order to achieve the objective, the specimens were made with laminated bamboo according with the standard ASTM D 146-96. The vassal diameter, vassal concentration, fiber dimensions, basic density, moisture content, shrinkage and swelling, tension resistance, compression, resistance bending, hardness and abrasion were evaluated. The results were statistically analyzed with analysis of variance (ANOVA). The highest density was 0,80 g/cm<sup>3</sup>, found in the top of 5 years old culms. There was significant increasing in most of the properties with the increase of age and height of the culms. The properties of Moso bamboo indicate it as a species for the production of high aggregated value products where a material with high resistance is necessary, as long as it is properly manufactured.

**Keywords:** Laminated bamboo, anatomical, physical and mechanical properties

# SUMÁRIO

RESUMO .....	v <sup>i</sup>
ABSTRACT .....	v <sup>ii</sup>
LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE TABELAS .....	xi
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	xii
LISTA DE SÍMBOLOS .....	xiii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	4
2.1. IMPORTÂNCIA DO TEMA .....	4
2.2. TAXONOMIA E HABITAT .....	7
2.3. MORFOLOGIA E CRESCIMENTO .....	11
2.4. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS COLMOS.....	13
2.5. ESTRUTURA ANATÔMICA.....	15
2.6. ANATÔMIA DO BAMBU EM RELAÇÃO ÀS PROPRIEDADES MECÂNICAS .....	20
2.7. PROPRIEDADES FÍSICAS.....	22
2.7.1. Idade do bambu .....	22
2.7.2. Densidade .....	25
2.7.3. Teor de umidade .....	27
2.7.4. Instabilidade dimensional.....	30
2.8. PROPRIEDADES MECÂNICAS .....	32
2.9. BAMBU LAMINADO COLADO (BLC) .....	38
2.9.1. Introdução .....	38
2.9.2. Processo de manufatura.....	42
3 MATERIAIS E MÉTODOS .....	44
3.1. DESENVOLVIMENTO DA MÁQUINA .....	44
3.2. COLETA DO MATERIAL.....	45
3.3. PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA .....	47
3.4. ANÁLISE DAS PROPRIEDADES ANATÔMICAS .....	49
3.5. ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS .....	50
3.5.1. Densidade básica .....	51
3.5.2. Teor de umidade .....	52
3.5.3. Estabilidade dimensional .....	53
3.6. ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS .....	54
3.6.1. Ensaio de Flexão .....	56

3.6.2.	Ensaio de compressão .....	57
3.6.3.	Ensaio de tração .....	59
3.6.4.	Ensaio de abrasão .....	61
3.6.5.	Ensaio de Dureza .....	63
3.7.	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	66
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>67</b>
4.1.	DESENVOLVIMENTO DA MÁQUINA .....	67
4.2.	ANÁLISE DAS PROPRIEDADES ANATÔMICAS.....	67
4.2.1.	Diâmetro dos vasos .....	68
4.2.2.	Concentração dos feixes fibrovasculares .....	70
4.3.	ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS .....	72
4.3.1.	Densidade básica .....	72
4.3.2.	Teor de umidade .....	75
4.3.3.	Estabilidade dimensional .....	76
4.4.	ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS .....	81
4.4.1.	Resistência à Flexão.....	81
4.4.2.	Resistência à Compressão.....	85
4.4.3.	Resistência à Tração .....	89
4.4.4.	Dureza.....	90
4.4.5.	Resistência à Abrasão .....	92
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>94</b>
5.1.	CONCLUSÕES .....	94
5.2.	RECOMENDAÇÕES.....	96
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>	<b>98</b>

## APÊNDICE

APÊNDICES .....	105
APÊNDICE A – DESENHOS DA MÁQUINA DE CORTE LONGITUDINAL DE BAMBU.....	106
APÊNDICE B – DESCRIÇÃO DOS COMPONENTES DA MÁQUINA DE CORTE LONGITUINAL.....	108
APÊNDICE C – DESCRIÇÃO DA FUNCIONALIDADE DA MÁQUINA DE CORTE LONGITUINAL.....	110
APÊNDICE D - TESTE DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA) E COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (TUKEY) PARA OS FATORES IDADE E POSIÇÃO PARA O DIAMETRO DOS VASOS .....	111
APÊNDICE E - TESTE DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA) E COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (TUKEY) PARA OS FATORES IDADE E POSIÇÃO PARA A FREQUÊNCIA DOS FEIXES .....	112
APÊNDICE F - TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PARA PARTE INTERNA E EXTERNA DO DIAMETRO DOS VASOS E FREQUÊNCIA DOS FEIXES.....	113
APÊNDICE G - TESTE DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA) E COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (TUKEY) PARA OS FATORES IDADE E POSIÇÃO PARA A DENSIDADE BASICA .....	114
APÊNDICE H - TESTE DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA) E COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (TUKEY) PARA OS FATORES IDADE E POSIÇÃO PARA O TEOR DE UMIDADE.....	115
APÊNDICE I - TESTE DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA) E COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (TUKEY) PARA OS FATORES IDADE E POSIÇÃO PARA A INSTABILIDADE DIMENSIONAL.....	116
APÊNDICE J - TESTE DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA) E COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (TUKEY) PARA OS FATORES IDADE E POSIÇÃO PARA O moe NA FLEXÃO .....	120
APÊNDICE K - TESTE DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA) E COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (TUKEY) PARA OS FATORES IDADE E POSIÇÃO PARA O MOR NA FLEXÃO .....	121
APÊNDICE L - TESTE DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA) E COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (TUKEY) PARA OS FATORES IDADE E POSIÇÃO PARA O MOE NA COMPRESSÃO.....	122
APÊNDICE M - TESTE DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA) E COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (TUKEY) PARA OS FATORES IDADE E POSIÇÃO PARA O MOR NA COMPRESSÃO.....	123
APÊNDICE O - TESTE DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA) E COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (TUKEY) PARA OS FATORES IDADE E POSIÇÃO PARA A DUREZA.....	125

## ANEXOS

ANEXOS .....	126
ANEXO A – GENEROS E ESPÉCIES DE BAMBU .....	127
ANEXO B – PROPRIEDADES MECÂNICAS DE DIFERENTES ESPÉCIES DE BAMBU .....	129
ANEXO C – PROPRIEDADES MECÂNICAS DE DIFERENTES ESPÉCIES DE MADEIRA ..	131

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 2.1 - Balanço entre a oferta e a demanda de madeira de Pinus no Brasil .....	4
Figura 2.2 - Compensados de bambu na China.....	6
Figura 2.3 - Distribuição de bambu no mundo.....	8
Figura 2.4 - Floresta aberta com bambu no sudeste da Amazônia.....	9
Figura 2.5 - Bambu Moso na China.....	10
Figura 2.6 - Crescimento do bambu Monopodial (Alastrante).....	12
Figura 2.7 - Crescimento do bambu simpodial (entoicerante).....	12
Figura 2.8 - Crescimento do bambu Anfiomorfo.....	13
Figura 2.9 - Estrutura anatômica do bambu .....	15
Figura 2.10 - Variação da concentração dos feixes fibrovasculares no sentido radial .....	16
Figura 2.11 - Variação da concentração dos feixes fibrovasculares no sentido longitudinal .....	17
Figura 2.12 - Tipos dos feixes fibrovasculares .....	18
Figura 2.13 - Variação do diâmetro do lúmen e da espessura da parede celular em diferentes idades .....	21
Figura 2.14 - Bainhas na base de colmos jovens, cor brilhante e penugens .....	23
Figura 2.15 - Presença de fungos e liquens identificadores em colmos e raízes aparentes .....	24
Figura 2.16 - Colmos apresentando sinais de decomposição, inadequados para uso estrutural .....	24
Figura 2.17 - Curva de crescimento do bambu Moso.....	25
Figura 2.18 - relação entre o teor de umidade e a posição dos colmos .....	28

Figura 2.19 - Relação entre o teor de umidade e a resistência a compressão para o bambu <i>Phyllostachys Pubescens</i> .....	29
Figura 2.20 - Direções ortogonais do bambu .....	32
Figura 2.21 - Resultados em gramas das médias das perdas progressivas das espécies ensaiadas por KOGA <i>et al.</i> 2002.....	37
Figura 2.22 - Média da perda de espessura por espécie ensaiada nas quatro posições .....	37
Figura 2.23 - Resultados em gramas das médias das perdas progressivas das espécies ensaiadas por SILVA e BITTENCOURT (2002).....	38
Figura 2.24 - Casa de Bambu no Japão.....	39
Figura 2.25 - Protótipo do Ford M .....	40
Figura 2.26 – Serra de discos paralelos .....	42
Figura 2.27 - Processo de Fabricação do BLC na China .....	43
Figura 3.1 - Máquina para o corte longitudinal .....	44
Figura 3.2 - Máquina para o corte longitudinal .....	45
Figura 3.3- Bambuzal .....	45
Figura 3.4 - Um, três e cinco anos respectivamente .....	46
Figura 3.5 - Esquema de amostragem .....	46
Figura 3.6 - Colmos cortados .....	47
Figura 3.7 - Máquina para remoção da casa externa e parte interna.....	48
Figura 3.8- Secagem ao ar livre .....	48
Figura 3.9 - Câmera de secagem.....	48
Figura 3.10 - Micrótomo de deslize .....	49
Figura 3.11 - Amostras preparadas.....	50
Figura 3.12 - Equipamento para análise anatômica .....	50
Figura 3.13 - Anéis e copos de prova.....	52

Figura 3.14 - Estufa para obtenção do teor de umidade .....	53
Figura 3.15 - Avaliação de rigidez entre dois materiais.....	55
Figura 3.16 - Dispositivo utilizado para o ensaio de flexão estática .....	56
Figura 3.17 - Dispositivo utilizado para o ensaio de compressão.....	59
Figura 3.18 - Dispositivo utilizado para o ensaio de Tração .....	60
Figura 3.19 - Equipamento “Taber Abraser”.....	62
Figura 3.20 - Corpo de prova do ensaio de desgaste abrasivo.....	63
Figura 3.21 - Equipamento para o teste Brinell .....	64
Figura 3.22 - Microscópio tridimensional .....	65
Figura 4.1- Imagem dos feixes fibrovasculares 100 X e 20 X respectivamente .....	67
Figura 4.2 - Variação do diâmetro dos vasos entre parte interna e externa .....	68
Figura 4.3 - Variação do diâmetro dos vasos .....	69
Figura 4.4 - Variação da concentração de feixes fibrovasculares entre a parte interna e externa da parede dos colmos .....	70
Figura 4.5 - Variação da concentração de feixes fibrovasculares entre base, meio e topo da parede dos colmos.....	71
Figura 4.6 - Variação da densidade básica (T.U. 0%).....	72
Figura 4.7 - Variação do teor de umidade para o bambu Moso .....	75
Figura 4.8 - Variação da contração tangencial entre base, meio e topo .....	76
Figura 4.9 - Variação da contração radial entre base, meio e topo .....	77
Figura 4.10 - Variação da contração volumétrica entre base, meio e topo .....	78
Figura 4.11 - Variação do coeficiente de anisotropia entre base, meio e topo .....	79
Figura 4.12 - Módulo de elasticidade no ensaio de flexão .....	81
Figura 4.13 - Módulo de ruptura no ensaio de flexão .....	82
Figura 4.14 - Correlação entre MOR x Densidade (12% T.U.) para ensaio de flexão .....	84

Figura 4.15 - Correlação entre MOE x Densidade (12% T.U.) para ensaio de flexão .....	84
Figura 4.16 - Módulo de elasticidade no ensaio de compressão.....	85
Figura 4.17 - Módulo de ruptura no ensaio de compressão .....	86
Figura 4.18 - Correlação entre MOR x Densidade a 12% para compressão .....	88
Figura 4.19 - Correlação entre MOR e MOE x Densidade a 12% para compressão	88
Figura 4.20 - Módulo de ruptura no ensaio de tração.....	89
Figura 4.21 - Variação da dureza Brinell .....	91
Figura 4.22 - Linhas de tendência da perda de massa pelo número de ciclos.....	92
Figura 4.23 - Medida da perda de espessura.....	93

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Relação entre a resistência à tração e a massa específica .....	7
Tabela 2.2 - Produtividade do bambu Moso na China .....	11
Tabela 2.3 - Composição química do bambu .....	14
Tabela 2.4 - Dimensões das fibras para diferentes espécies de bambu. ....	19
Tabela 2.5 - Variação da dimensão das fibras .....	19
Tabela 2.6 - Estimativa de idade do bambu Moso conforme suas características visuais .....	22
Tabela 2.7 - Densidade (g/cm <sup>3</sup> ) do bambu <i>Phyllostachys pubescens</i> com teor de umidade de 12% .....	26
Tabela 2.8 - Estabilidade dimensional.....	32
Tabela 2.9 - Propriedades mecânicas do bambu, do pinus e de concreto	34
Tabela 2.10 - Variação das propriedades mecânicas em diferentes idades do <i>Phyllostachys pubescens</i> .....	34
Tabela 2.11 - Variação das propriedades mecânicas em diferentes posições longitudinais dos colmos do <i>Phyllostachys pubescens</i> .....	35
Tabela 2.12 – Densidade e resistência a flexão .....	35
Tabela 2.13 - Resistências para o bambu <i>Dendrocalamus giganteus</i> .....	36
Tabela 2.14 - Resultados de ensaios de resistência mecânica .....	41
Tabela 3.1 - Fatores e níveis adotados na analise estatística dos resultados .....	66
Tabela 4.1 - Media do diâmetro dos vasos entre as idades .....	69
Tabela 4.2 - Média da concentração dos feixes fibrovasculares de cada idades.....	72
Tabela 4.3 - Médias da densidade básica de cada idade. ....	73
Tabela 4.4 - Exemplos de classe de madeiras brasileiras. ....	74
Tabela 4.5 - Médias do teor de umidade de cada idade para o bambu Moso.....	75
Tabela 4.6 - Médias da contração tangencial de cada idade .....	77

Tabela 4.7 - Médias da contração radial de cada idade .....	78
Tabela 4.8 - Médias da contração volumétrica de cada idade .....	79
Tabela 4.9 - Médias do coeficiente de anisotropia de cada idade .....	80
Tabela 4.10 - Média do módulo de elasticidade na flexão para cada idade .....	82
Tabela 4.11 - Média do módulo de ruptura na flexão para cada idade .....	83
Tabela 4.12 - Média do módulo de elasticidade na compressão para cada idade ....	86
Tabela 4.13 - Média do módulo de ruptura na compressão para cada idade .....	87
Tabela 4.14 - Média do módulo de ruptura na tração para cada idade .....	90
Tabela 4.15 - Médias da dureza Brinell de cada idade. ....	91

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

<b>ABINCI</b>	Associação Brasileira de Madeira Processada Mecanicamente
<b>ANOVA</b>	Analyze of Variance
<b>ASTM</b>	American Society for Test and Materials
<b>CBRC</b>	China National Bamboo Research Center
<b>COPANT</b>	Comissão Pan-americana de Normas Técnicas
<b>MOE</b>	Módulo de elasticidade
<b>MOR</b>	Módulo de ruptura
<b>PNF</b>	Programa Nacional de Florestas

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b><math>\rho</math></b>	Densidade
<b><math>M_s</math></b>	Massa seca
<b><math>V_v</math></b>	Volume verde
<b><math>T_U</math></b>	Teor de umidade
<b><math>P_s</math></b>	Peso seco
<b><math>P_u</math></b>	Peso úmido
<b><math>\epsilon_r</math></b>	Retração
<b><math>\epsilon_i</math></b>	Inchamento
<b><math>L_{sat}</math></b>	Dimensão do corpo de prova saturado
<b><math>L_{sec}</math></b>	Dimensão do corpo de prova seco
<b><math>mm</math></b>	Milímetros
<b><math>d</math></b>	Deformação
<b><math>min</math></b>	minutos
<b><math>\sigma_{LP}</math></b>	Tensão no limite proporcional
<b><math>MPa</math></b>	Mega Pascal ( $10^6$ Pa)
<b><math>N</math></b>	Newton
<b><math>Pa</math></b>	Pascal
<b><math>P_{LP}</math></b>	Carga no limite proporcional
<b><math>L</math></b>	Distância entre os apoios
<b><math>I</math></b>	Largura do corpo de prova
<b><math>e</math></b>	Espessura do corpo de prova
<b><math>a</math></b>	Altura do corpo de prova
<b><math>d_{LP}</math></b>	Deformação no limite proporcional
<b><math>\sigma_{\max}</math></b>	Tensão máxima
<b><math>P_{\max}</math></b>	Carga máxima do ensaio
<b><math>\pi</math></b>	$\Pi = 3,14159$
<b><math>D_e</math></b>	Diâmetro da esfera
<b><math>D_i</math></b>	Diâmetro da impressão no corpo de prova

## 1 INTRODUÇÃO

Pesquisas por materiais alternativos de fontes renováveis vêm sendo incentivadas por diversas instituições em todo globo terrestre para combater problemas ambientais. As leis que restringem o corte de árvores estão cada vez mais rigorosas e o consumo de produtos florestais está aumento; com isso o setor florestal está passando por sérias dificuldades econômicas devido o aumento do preço da madeira, ocasionado pela crise do seu suprimento. Entretanto, existe atualmente um mercado bilionário em torno do bambu; porém quem detém principalmente este mercado é o oriente.

Por ser uma das mais perfeitas estruturas encontradas na natureza, pois combina elevada dureza, resistência e leveza, o bambu é uma fonte renovável de crescimento rápido (três vezes mais que o Pinus, atualmente utilizado em reflorestamento para suprir a demanda de matéria prima para indústria madeireira). De acordo com PEREIRA (1999), o bambu tem o potencial de fixar mais carbono do que as árvores (ajudando o combate ao efeito estufa de uma maneira mais eficaz), protege contra erosões, pode ser plantado em terrenos acidentados, é utilizado em recuperação de áreas degradadas (devido ao fato de não requerer solo com alta fertilidade), propaga-se em regiões inóspitas, onde outros vegetais jamais conseguiram sobreviver.

De acordo com BERALDO e AZZINI (2004), o bambu ainda não é suficientemente conhecido pela civilização ocidental. Não se trata, evidentemente, de um material miraculoso, sendo necessário o conhecimento de suas propriedades fundamentais para que possa vir a ser empregado com a plenitude de sua potencialidade. A idéia errônea de sempre associar o bambu a obras temporárias e, sobretudo, a miséria tem sido prejudicial, diminuindo o interesse científico e tecnológico pelo uso do bambu.

No Brasil, o desenvolvimento tecnológico para o processamento do bambu para transformá-lo em produtos de alto valor agregado ainda encontra-se pequeno para competir com o mercado oriental.

De acordo com PEREIRA (1999) a literatura brasileira sobre bambu é escassa e geralmente restrita a alguns resultados de pesquisas apresentados em congressos científicos. Por exemplo, a Embrapa, que é um dos principais pólos de pesquisa em

produtos agro florestais no Brasil, não tem estudos disponíveis realizados sobre o bambu.

Dentre as diversas espécies de bambu disponíveis no Brasil, as mais recomendadas para a produção de bambu laminado colado são as do gênero *Dendrocalamus*, *Guadua*, *Phyllostachys* PEREIRA (1999). Diversos pesquisadores como CARRASCO *et al.* (1995), GONÇALVES *et al.* (1999), KOGA (2001); GHAVAMI e MARINHO (2001), GONÇALVES *et al.* (2000), GONÇALVES *et al.* (2000), RIVERO (2003), FERREIRA *et al.* (2006), OLIVEIRA e PAEZ (2006), PEREIRA (2006), analisaram as propriedades físicas e mecânicas do bambu laminado colado, porém as principais espécies utilizadas para seus experimentos são *Dendrocalamus ginganteus* e *Bambusa vulgaris*.

Devido a fatores climáticos, a espécie mais recomendada como alternativa de reflorestamento no sul do Brasil é a *Phyllostachys pubescens*. Por isso faz-se necessário compreender suas propriedades a fim de viabilizar a utilização desta espécie como uma alternativa para suprir o déficit da produção de madeira, promovendo o desenvolvimento sustentável, evitando o corte irracional de madeiras nobres e combatendo o aquecimento global.

O principal objetivo deste estudo é analisar as propriedades anatômicas, físicas e mecânicas do bambu *Phyllostachys pubescens*, vulgarmente conhecido como Moso, com diferentes idades e diferentes posições de corte. Com isso pretende-se analisar o potencial do bambu Moso como uma alternativa de substituição da madeira.

Os objetivos específicos são:

- Contextualizar o processo de obtenção de lâminas de bambu.
- Desenvolver uma máquina para possibilitar a fabricação de lâminas de bambu de forma segura contribuindo para o desenvolvimento tecnológico para manufatura do bambu no Brasil;
- Investigar as propriedades físicas tais como densidade, teor de umidade e estabilidade dimensional, e propriedades mecânicas como dureza, resistência a tração, compressão, flexão, e abrasão do bambu *Phyllostachys pubescens* encontrado no município de Fazenda Rio Grande, Paraná.
- Verificar as diferenças das propriedades físicas e mecânicas entre diferentes posições do colmo (base, meio, topo) e diferentes idades 1, 3 e 5 anos.

- Comparar os resultados encontrados com espécies de madeira mais usadas no Brasil.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. IMPORTÂNCIA DO TEMA

Segundo ABIMCI (2005), a indústria brasileira de madeira processada mecanicamente atravessa uma crise no suprimento de madeira sem precedentes, a que tende a se agravar ainda mais nos próximos anos, reflexo chamado de “Apagão Florestal”. A demanda de madeira em tona é superior às capacidades de produção sustentadas dos reflorestamentos existentes no país. Para 2010 é projetado um déficit da ordem de 20 milhões de m<sup>3</sup> para a tona de Pinus. Na região Sul, onde está concentrada a maior demanda, o déficit projetado é ainda maior. A tendência é que o déficit aumente rapidamente nos próximos anos, uma vez que a expansão da área florestal não está acompanhando o ritmo do crescimento da demanda. Em 2020 é esperado um déficit de um pouco mais de 27 milhões de m<sup>3</sup>, considerando somente toras de Pinus. Na Figura 2.1 podem-se visualizar os dados.

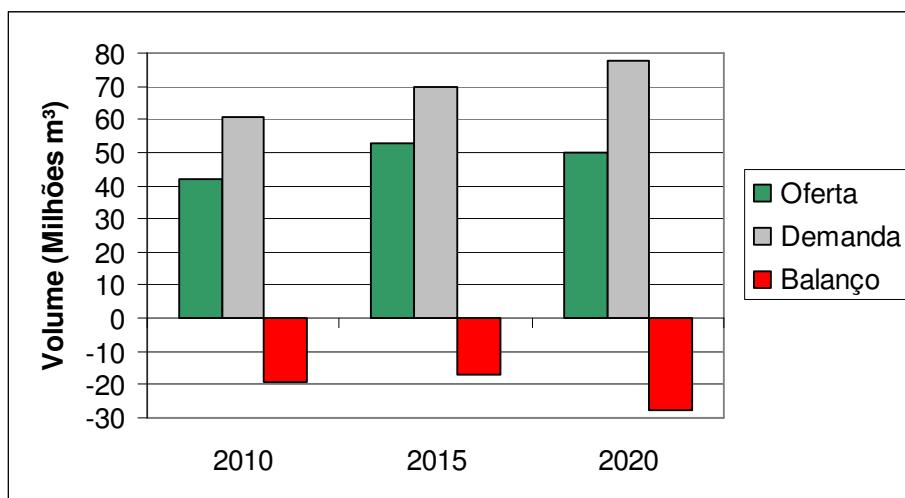


Figura 2.1 - Balanço entre a oferta e a demanda de madeira de Pinus no Brasil  
(ABIMCI, 2005)

De acordo com o PNF (Programa Nacional de Florestas), (2002), estudos conduzidos pela Sociedade Brasileira de Silvicultura (SBS) e associações setoriais identificam a existência de um desequilíbrio entre a oferta e a procura de madeira, para atender às projeções de crescimento das indústrias de base florestal a partir do início desta década. Segundo o Grupo de Trabalho com Madeira e Florestas (2000), para suprir todos os segmentos industriais são cortados cerca de 450 mil ha/ano de *Pinus* e *Eucaliptos* e a área reflorestada anualmente tem sido de 150 mil ha,

ocasionando, portanto, um déficit de 300 mil ha/ano. Ao persistir esta tendência, a exaustão dos estoques de madeira ocorrerá na metade desta década.

De acordo com ZHOU (2000) apud PEREIRA (2006), nos últimos 50 anos, o ritmo de devastação de florestas foi de 24,9 milhões de ha/ano, ou o equivalente a 47,41 ha/minuto, condição que deve contribuir também para o aumento da área cultivada de bambu no mundo que hoje é de cerca de 22 milhões de hectares.

Segundo SALGADO *et al.*, (1994), o aumento do preço da madeira e sua futura escassez no mercado propiciam uma busca de novos materiais alternativos à utilização da madeira. O bambu possui potencial como matéria-prima industrial, devido às suas características agronômicas e tecnológicas. Do ponto de vista agronômico, isto está relacionado à alta velocidade de crescimento (pode atingir suas dimensões máximas em 6 meses). Do ponto de vista tecnológico, é um material que possui colmos constituídos por feixes fibrovasculares revestidos por um tecido parenquimatoso e pode ser matéria-prima para se obter celulose, álcool etílico, alimento, construção civil e indústria madeireira.

Nos últimos anos, o bambu tem sido redescoberto como um importante material renovável com grande potencial. As indústrias de produtos de bambu vão resultar num alívio da pressão sobre as florestas, bem como criarão também empregos e oportunidades para pessoas do campo. A área de bambu é de cerca de 20 milhões de hectares. Com exceção da Europa e da Antártica, os bambus ocorrem naturalmente nas regiões tropicais, subtropicais e temperados de todos os países (ZHU, 1994).

Segundo KLEINHENZ e MIDMORE (2001), na Ásia a taxa de consumo per capita de bambu é de 12 kg de produtos por ano, e autores como SASTR (1998), estimaram o consumo de 20 milhões de ton/ano de produtos de bambu na China. BERALDO *et al.* (2003) dizem que, só na China, o potencial de produção de compensados de bambu é de 4.200.000 m<sup>3</sup>, o que correspondia a quatro vezes sua produção atual de madeira. Este potencial decorre da grande área reflorestada com bambu naquele país. A Figura 2.2 mostra uma pilha de placas de compensados feitos de bambu.



Figura 2.2 - Compensados de bambu na China (STAMM, 2002)

De acordo com QISHENG *et al.*(2003), a produção total de bambu na China é de 8 milhões de toneladas por ano o que equivale a uma economia de mais de 8 milhões de toneladas de madeira/ano, pois o aproveitamento do bambu é maior que o das árvores. A exploração racional dos recursos de bambu tem um grande valor para o desenvolvimento econômico e para a proteção ambiental na China.

Em 2001, o mercado do bambu no mundo movimentou um valor estimado em US\$ 4,5 bilhões por KLEINHENZ e MIDMORE (2001). Ou seja, existe uma indústria bilionária do bambu instalada ao redor do mundo. Estes valores, porém ainda são tímidos, pois somente o mercado chinês de bambu em 2005 movimentou acima de US\$ 6 bilhões na economia local (MOFCOM E CBRC 2006).

Segundo BERALDO e AZZINI (2004), no Brasil, o bambu, apesar de suas amplas possibilidades de utilização como material fibroso, é pouco utilizado em comparação às espécies arbóreas ou madeiras, que representam a quase totalidade da matéria prima fibrosa empregada nas mais variadas utilizações, desde a simples queima para gerar energia de uso doméstico até a produção industrial de celulose e papel. O baixo nível de utilização do bambu, sem dúvida alguma está associado à falta de conhecimentos científicos e tecnológicos especificamente desenvolvidos, além da falta de uma maior necessidade econômica. A crescente escassez e a valorização das madeiras observada nos últimos anos têm contribuído para aumentar o grande interesse do bambu como material.

Segundo PAULI (2001), o bambu é um eficiente fixador de carbono, convertendo-o através da fotossíntese em celulose, hemicelulose e lignina, com crescimento e colheitas rápidas, fibras longas e fortes e elevada resistência

mecânica com um mínimo de gasto energético, tendo ainda, a possibilidade de se poder desenvolver todo um conglomerado industrial ao redor do bambu.

Segundo GHAVAMI (1992), estudos sobre as propriedades do bambu provaram que ele é melhor do que materiais como aço, madeira e concreto, quando fazemos uma relação entre a resistência à tração e a massa específica, conforme a Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Relação entre a resistência à tração e a massa específica  
GHAVAMI (1992).

Material	Resist. Tração $\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	Massa específ. $M_{eb}$ (N/mm <sup>3</sup> x 10 <sup>-2</sup> )	$R = \frac{\sigma_t}{M_{eb}} * 10^2$	$R/R_{aço}$
Aço (CA 50 A)	500	7.83	0.64	1.00
Bambu	140	0.80	1.75	2.73
Alumínio	304	2.70	1.13	1.77
Ferro Fundido	281	7.20	0.39	0.61

O PNF (2005) explica que o interesse pelo bambu torna-se ainda maior quando se observa que essas gramíneas podem ser excelentes substitutas de madeiras nativas. Tendo em vista que as tecnologias do bambu exigem pouco investimento de capital, são intensivas em mão-de-obra e de fácil aprendizagem, a difusão dessas tecnologias pode, pois, ser um instrumento importante em projetos de inclusão social. No Brasil existe um número muito reduzido de cientistas, empresas e ONGs desenvolvendo pesquisas e trabalhos sobre esse tema.

## 2.2. TAXONOMIA E HABITAT

Do ponto de vista agronômico, o interesse pelo bambu está intimamente 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. Por ser uma espécie perene, o cultivo do bambu é perfeitamente viável em terrenos marginais com elevada declividade, possibilitando, além do aproveitamento econômico dessas áreas, uma perfeita proteção das mesmas contra

a erosão. A reconhecida capacidade de proteção dos solos que o cultivo do bambu oferece contra a erosão, decorre de seu sistema radicular, que é do tipo fasciculado, superficial, rizomatoso e bastante volumoso (BERALDO e AZZINI, 2004).

Segundo CHAPMAN (1996), a família Poaceae (Gramínea) pode ser dividida em uma pequena subfamília, *Centotheocoideae*, e cinco grandes subfamílias, *Arundionoideae*, *Pooideae*, *Chloridodeae*, *Panicoideae*, e *Bambusoideae*. Em distinção a este nome, os bambus são classificados abaixo da subfamília *Bambusoideae*.

WANG e SHEN (1987), afirmaram que existem cerca de 60 a 70 gêneros e 1.200 a 1.500 espécies de bambu no mundo. Alguns exemplos de gêneros de bambu são *Bambusa*, *Chusquea*, *Dendrocalamus*, *Phyllostachys*, *Guadua*, *Gigantochloa* e *Schizostachyum*. A Tabela 1 do Anexo A mostra outros gêneros, espécies e alguns nomes em inglês adaptados aos nomes comuns de bambus.

De acordo com LOPES (2003), os bambuzais podem ser encontrados entre as latitudes 45° 30' norte e 47° sul, como mostrado na Figura 2.3. Sua principal área de distribuição é nos trópicos, em regiões quentes e chuvosas como na Ásia tropical, África e América do Sul, possuindo poucas espécies nas áreas temperadas. A maioria das espécies se desenvolve em temperaturas que podem variar de 8°C a 36°C.

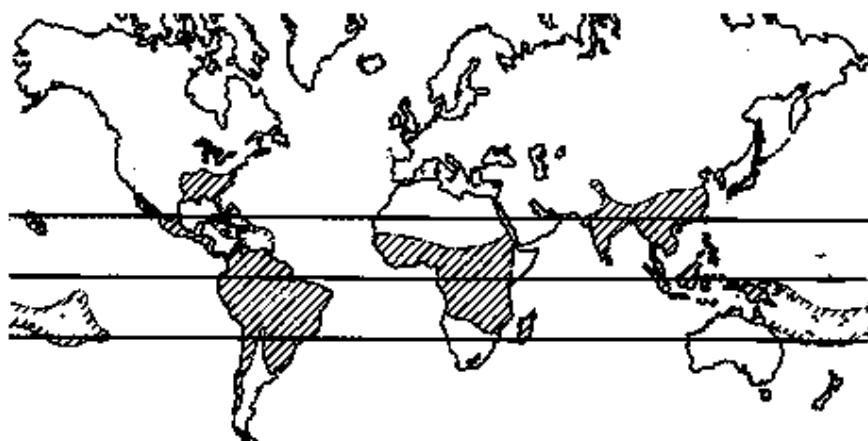


Figura 2.3 - Distribuição de bambu no mundo (LOPEZ, 2003).

Segundo LONDOÑO (1999), o Brasil conta com a maior diversidade e o mais alto índice de florestas *endêmicas* de bambu em toda a América Latina: são 137 espécies, representando 32% das espécies da América Latina, e 17 gêneros ou 85%, sendo que os estados de São Paulo, Minas Gerais, Santa Catarina, Bahia e Paraná, possuem a maior diversidade de florestas de bambu.

A maior área de bambu nativo no Brasil ocorre no estado do Acre. Um levantamento efetuado por meio de satélites (PROJETO RADAR BRASIL) revelou grande ocorrência natural de bambu nesse estado em associação com a floresta nativa, em proporções que variam de 20 a 80% com uma área estimada de 85.000 km<sup>2</sup> da espécie *Guadua weberbauri*, conforme mostrado na Figura 2.4 (CORREA *et al.*, 1997).

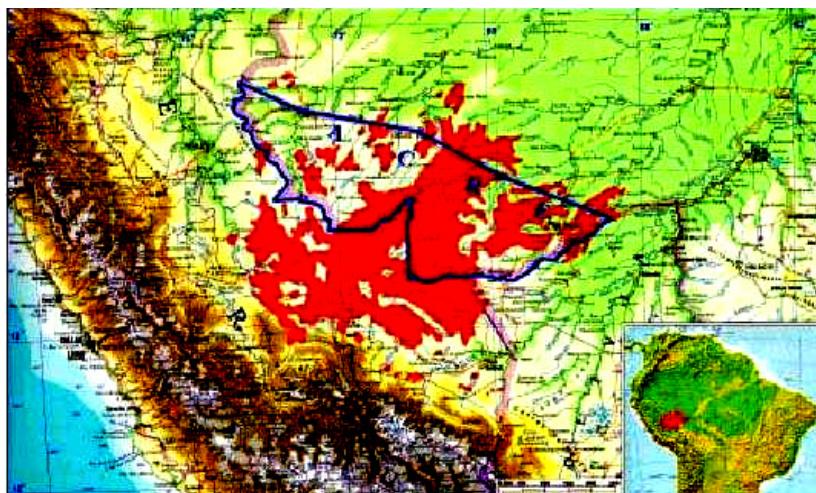


Figura 2.4 - Floresta aberta com bambu no sudeste da Amazônia. (OLIVEIRA, 2000)

A maior utilização de bambu para uso industrial no Brasil é feita no estado do Maranhão, pela empresa ITAPAGÉ do Grupo João Santos, onde possui uma área plantada de 100.000 hectares da espécie *Bambusa vulgaris*. A produção anual é de 72 toneladas de papel e poupa de celulose (ITAPAGÉ, 2007).

O bambu *Phyllostachys pubescens* vulgarmente conhecido em todo o mundo como Moso, é a espécie de bambu mais importante da China, aonde cobre uma área de 3 milhões de hectares (7.413 milhões de acres) cerca de 2% do total da área florestal da China. É a principal espécie para a produção de bambu laminado colado e broto de bambu e tem um importante papel para o meio ambiente, pois pode

crescer mais de 119 cm em 24 horas e 24 metros de altura em 40 a 50 dias. (FU, 2003). A Figura 2.5 mostra plantações de bambu na China.



Figura 2.5 - Bambu Moso na China. (Fotos do autor)

O bambu Moso cresce naturalmente em áreas subtropicais. A temperatura anual varia de 15 a 21 ° C e de 1 a 12 ° C nos meses mais frios, mas pode suportar até -20 ° C. A precipitação pluviométrica anual varia de 800 a 1800 mm. O pH do solo recomendado é de 4.5 a 7.0.

O bambu Moso foi introduzido no Japão em 1736, na Europa em 1880 e nos EUA em 1890. Hoje mais de 50.000 hectares crescem no Japão. O bambu Moso pode ser plantado por meio de transplante de mudas de um bambuzal já existente ou plantado por meio de sementes. Um bambuzal pode ser formado após 5 anos do transplante de mudas mas leva cerca de 10 anos para formar colmos de 10 a 12 cm de diâmetro se plantado por meio de sementes.

Segundo FU (2003), um hectare de floresta de bambu Moso pode produzir de 6 a 10 toneladas de novos colmos por ano. O recorde anual foi de 37 toneladas de novos colmos em um ano, na China. Uma densidade ótima para uma floresta de bambu Moso é de 4.000 colmos por hectare para a produção de madeira e de 2.500 colmos para a produção de brotos de bambu. Na China, colmos com menos de um ano têm sido usados para fabricar papel.

Na Tabela 2.2 é apresentada a produtividade do bambu Moso na China por outros autores.

Tabela 2.2 - Produtividade do bambu Moso na China (OSTAPIV et al, 2008)

Produtividade / ano	Autor, ano
10 a 15 t/ha China	Hsiung, 2000
15 a 22 t/ha China	Xingcui, 2004
30 t/ha China	Chun, 2003

No Brasil esta espécie ocorre em áreas localizadas, principalmente provenientes de propriedades de imigrantes japoneses, onde trouxeram esta espécie à cerca de 60 anos, para o consumo de brotos. Pelo fato de ser um bambu do tipo monopodial (alastrante), hoje se encontram pequenas florestas espalhadas no sul e sudeste do Brasil. Devido ao crescente interesse do bambu como alternativa para suprir o déficit do fornecimento de matéria-prima para o setor madeireiro, algumas empresas estão investindo no plantio do bambu Moso, na região sul do país, para a fabricação de móveis de bambu laminado colado.

### 2.3. MORFOLOGIA E CRESCIMENTO

#### Leptomorfo ou monopodial:

É um grupo do tipo alastrante, onde os colmos nascem e se desenvolvem uns separados dos outros, ver Figura 2.6. Seus rizomas são longos, delgados e de forma cilíndrica. Em cada nó do rizoma, existe uma gema lateral inativa podendo reativar e produzir um novo colmo ou um novo rizoma que se desenvolve lateralmente germinando aproximadamente 10% das gemas. Os rizomas que se apresentam bem mais numerosos e longos, com estrutura segmentada em nós e entrenós podem crescer entre 1 a 6 metros por ano, formando uma teia que pode atingir entre 50 a 100 mil metros por hectare. Os bambus deste grupo se encontram em zonas temperadas e são mais resistentes ao frio. As principais espécies deste grupo são a *Arundinaria* e *Phyllostachys*. A espécie de bambu estudada neste trabalho pertence a este tipo.

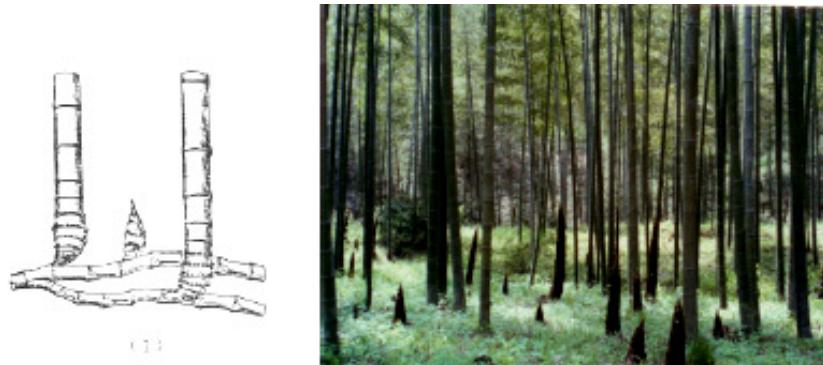


Figura 2.6 - Crescimento do bambu Monopodial (Alastrante). (JIANGHUA, 2007)

Paquimorfo ou simpodial:

Grupo onde os colmos nascem e se desenvolvem agrupados uns aos outros, conforme a Figura 2.7. Seus rizomas são curtos, grossos e sólidos, com entrenós assimétricos e raízes na parte inferior. Estes rizomas possuem gemas laterais que se ativam desenvolvendo novos rizomas e novos colmos; porém, a maioria das gemas permanecem inativas. Este processo ocorre anualmente, formando rizomas que se desenvolvem perifericamente, formando um agrupamento de colmos em forma de moita que pode conter de 30 a 100 colmos dependendo da espécie. Os bambus deste grupo estão distribuídos principalmente em regiões quentes e tropicais. As espécies que pertencem a este grupo pertencem principalmente aos gêneros *Bambusa*, *Guadua*, *Dendrocalamus* e *Gingatochloa*.

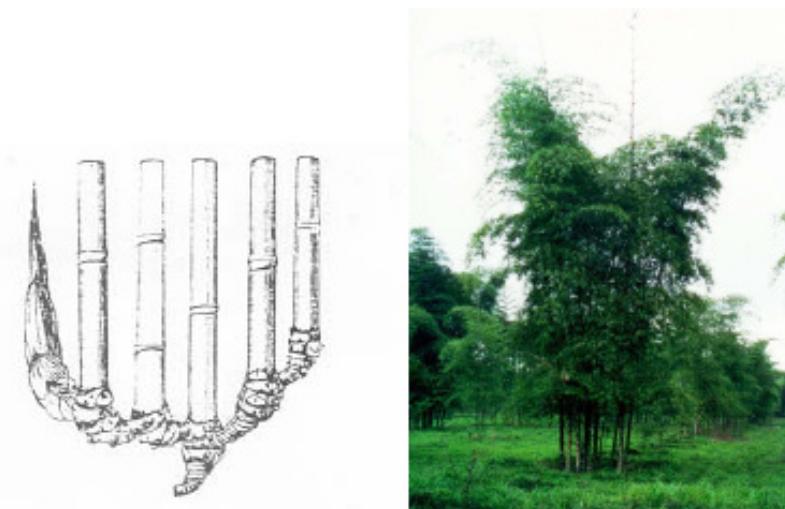


Figura 2.7 - Crescimento do bambu simpodial (entoicerante). (JIANGHUA, 2007)

### Anfiomorfo

Ainda pode ser encontrado o grupo *Anfiomorfo* Figura 2.8, na qual os bambus possuem rizomas do tipo leptomorfo e paquimorfo no mesmo sistema. Também são chamados de anfipodiais, ou seja, que tem duas qualidades de pé (Anfípodes) apresentam rizomas do tipo *monopodial* e *simpodial*.



Figura 2.8 - Crescimento do bambu Anfiomorfo (JIANGHUA, 2007).

De acordo com UEDA (1987), a velocidade máxima de crescimento axial, de um colmo de bambu foi de 120 cm em 24 horas, verificado para a espécie *Phyllostachys edulis*, em 1956, na cidade de Kyoto, Japão. Por sua vez, LOPEZ (1974) afirmou que a velocidade média de crescimento dos colmos de bambu varia de 8 a 10 cm/dia, podendo atingir até 40 cm/dia para os colmos de *D. giganteus*. Os colmos de bambu atingem o desenvolvimento máximo em altura em um período de 80 a 110 dias do aparecimento dos brotos; porém, não aumentam seu diâmetro e alturas após o término do crescimento.

## 2.4. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS COLMOS

Segundo CRUZ (2002), o bambu, como material orgânico, é produzido por processos fotossintéticos localizado nas folhas. O bambu é um compósito polimérico, anisotrópico, com diferentes propriedades mecânicas em diferentes direções e não homogêneo, não tendo a mesma composição, estrutura ou características em todo seu volume. A principal fonte de propriedades mecânicas do bambu é a celulose. Na molécula de celulose são definidos três planos mutuamente

ortogonais. Essas moléculas são unidas no primeiro plano por fortes ligações de hidrogênio, no segundo plano por fracas ligações de Van der Waals e no terceiro por fortes ligações covalentes.

As propriedades da lignina não são muito conhecidas devido à sua estrutura química extremamente complexa. A lignina fornece rigidez para as árvores, tornando o seu crescimento possível, além de proporcionar maior durabilidade aos tecidos, protegendo-os da ação de microorganismos.

Por último a hemicelulose é formada por polissacarídeos de baixa resistência, constituídos por 150 a 200 moléculas de sacarose. Estes componentes orgânicos formam as paredes das células que compõem os tecidos do bambu. Nas regiões externas das paredes dos colmos encontram-se em maior concentração a celulose biológica, hemiceluloses e lignina silícica. Em menor concentração são encontradas cinzas, álcool, benzeno e pentoses (GHAVAMI e MARINHO, 2001).

Segundo TOMALANG *et al* (1980), os principais constituintes químicos dos colmos de bambu são carboidratos determinados, como celulose (60-70%), pentosana (20-25%), hemicelulose e a lignina (20-30%) e, em minoria, constituintes como resinas, tanino e sais inorgânicos.

A composição química do bambu é similar às das madeiras de alta densidade, com exceção para as que contêm alto extrato alcalino, cinzas e sílica. Na Tabela 2.3 são apresentadas as porcentagens dos constituintes químicos do bambu.

Tabela 2.3 - Composição química do bambu (BARBOSA, 1999)

<b>Componentes</b>	<b>% em massa</b>
Carbono	50
Oxigênio	43
Hidrogênio	6,1
Nitrogênio	0,04-0,26
Cinzas	0,2-0,6

## 2.5. ESTRUTURA ANATÔMICA

Segundo CHUN (2003), o bambu pertence a família *Bambusae*, subfamília das *Graminae*. O bambu, como é conhecido vulgarmente, é classificado como uma planta lenhosa e monocotiledônea. Diferente da madeira, o bambu não possui câmbio, portanto não pode formar xilema e floema secundário; por isso, não possui anel de crescimento, não crescendo em diâmetro conforme a idade.

Os colmos são constituídos por nós e internós (Figura. 2.9 - A). Devido a essa composição estrutural, os colmos de bambu possuem elevada resistência mecânica, leveza e flexibilidade. Essa composição varia principalmente com a espécie e diâmetro dos colmos. Os principais constituintes anatômicos dos colmos de bambu são os feixes vasculares (figura 2.9 C - Y) que são circundados por células de parênquima (Figura 2.9 C - X). Um feixe vascular é aumentado 80x (Figura 2.9 D), para mostrar o feixe fibrovascular (1), xilema (2), cordão de esclerênquima (3), espaço intercelular (4) e o floema (5) (AHMAD, 2000).

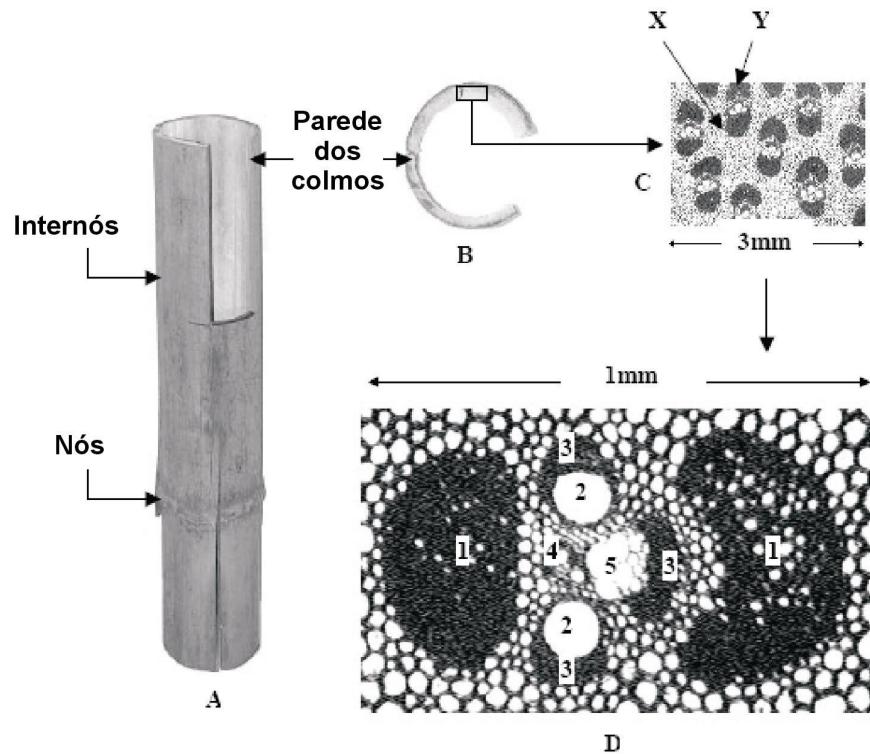


Figura 2.9 - Estrutura anatômica do bambu (AHMAD,2000).

### Feixes fibrovasculares

Os principais constituintes dos feixes fibrovasculares são as fibras e os vasos condutores (xilema e floema). O xilema é responsável pelo transporte ascendente da seiva bruta e o floema é responsável pelo movimento descendente da seiva elaborada proveniente da fotossíntese.

O tamanho e a densidade dos feixes fibrovasculares variam conforme a posição, espessura e espécies de bambus. Segundo CHUN (2003), geralmente a área transversal de um feixe é cerca de 0,1 a 0,5 mm<sup>2</sup>. Esta área se torna menor da base para o topo, e maior da parte externa para a interna. Quanto maior é a espessura da parede menor é a concentração dos feixes para uma mesma espécie, isso quer dizer que quanto maior o diâmetro do colmo menor é a concentração dos feixes.

GHAVAMI *et al.* (2000), apresentou a variação da concentração dos feixes fibrovasculares do *Phyllostachys Heterocycla Pubescens* na direção radial, a qual é maior na parte externa do que na parte interna, como mostrado na Figura 2.10.

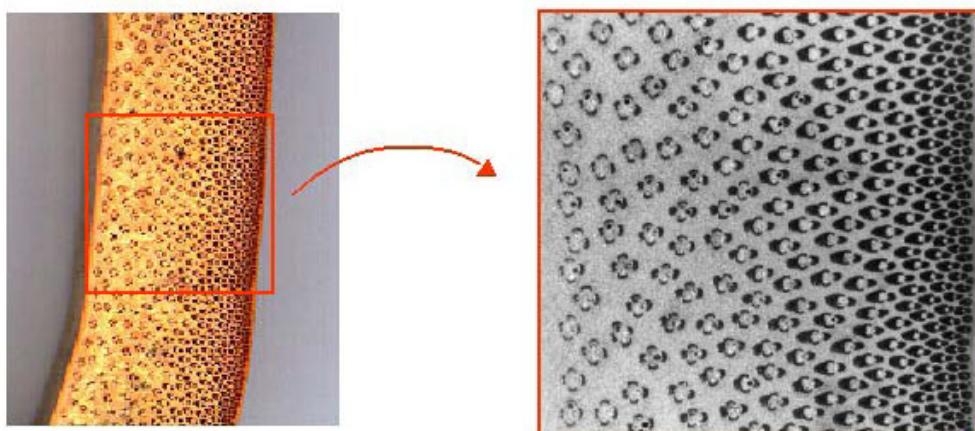


Figura 2.10 - Variação da concentração dos feixes fibrovasculares no sentido radial (GHAVAMI *et al.*, 2000).

Segundo CHUN (2003), o número dos feixes fibrovasculares é igual ao longo do colmo, mas como a espessura da parede na base é maior do que no topo, isso faz com que a concentração dos feixes seja menor na base. Na Figura 2.11, é apresentada a diferença da concentração dos feixes fibrovasculares na direção longitudinal ao longo do colmo do *Phyllostachys pubescens*.

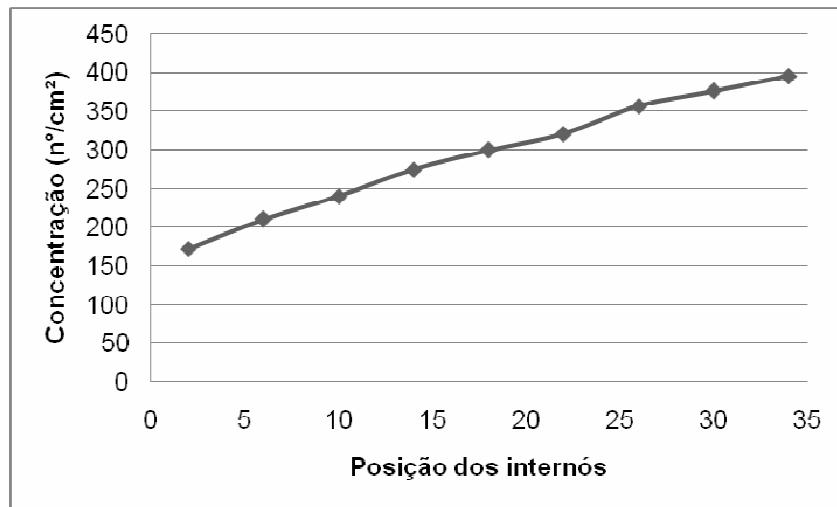


Figura 2.11 - Variação da concentração dos feixes fibrovasculares no sentido longitudinal (CHUN, 2003)

Uma análise detalhada dos tipos dos feixes fibrovasculares e suas variações foram estudadas por GROSSER (1971) e GROSSER e LIESE (1971, 1973) em 52 espécies e 14 gêneros de bambu. Eles analisaram a variação dos feixes fibrovasculares em forma e tamanho, e agrupados em quatro tipos básicos, mostrados na Figura 2.12.

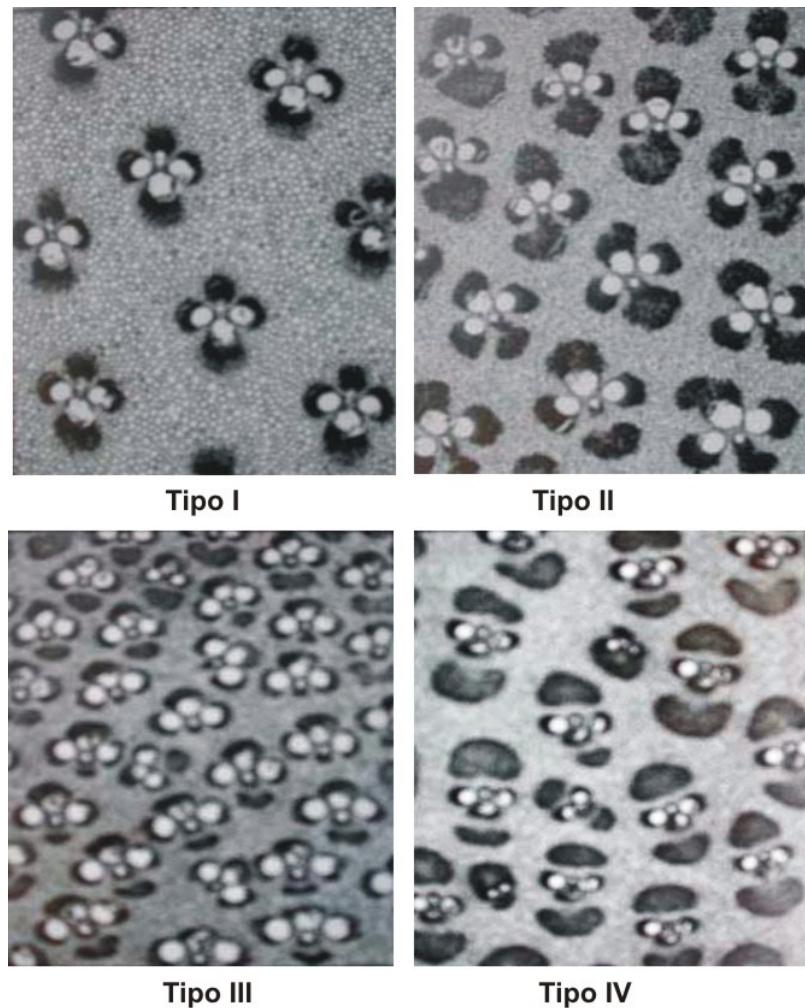


Figura 2.12 - Tipos dos feixes fibrovasculares (CHUN, 2003)

As fibras são caracterizadas pela sua forma delgada. Seu comprimento influência na resistência mecânica dos colmos. Entre 78 espécies de bambu analisadas por diferentes autores, um amplo número de comprimento de fibras têm sido encontrado: desde 1,04 mm em *Phyllostachys nigra* até 2,64 mm em *Bambusa vulgaris* (GROSSER e LIESE, 1971). A Tabela 2.4 resume os valores de comprimentos de fibras para diferentes espécies.

Tabela 2.4 - Dimensões das fibras para diferentes espécies de bambu (GROSSER e LIESE, 1971).

Espécies	Comprimento (mm)	Largura ( $\mu\text{m}$ )
<i>Bambusa multiplex</i>	2,2	14
<i>Bambusa tulda</i>	1,45	24
<i>Bambusa vulgaris</i>	2,64	10
<i>Guadua angustifolia</i>	1,6	11
<i>Phyllostachys edulis</i>	1,56	13
<i>Phyllostachys nigra</i>	1,04	10
<i>Phyllostachys reticulata</i>	1,56	13

Segundo CHUN (2003), o comprimento e a largura das fibras variam de acordo com a posição longitudinal e radial do colmo. Na Tabela 2.5 é apresentada esta variação para o *Phyllostachys pubescens*.

Tabela 2.5 - Variação da dimensão das fibras (CHUN, 2003)

Dimensão	Posição Longitudinal			Posição Radial		
	Base	Meio	Topo	Externa	Meio	Interna
Comprimento (mm)	1,85	2,035	1,98	2,025	2,475	2,25
Largura ( $\mu\text{m}$ )	10	15	15,4	12,3	14	14

Os vasos ou tecidos condutores possuem a função de transporte de nutrientes, e apresentam maior dimensão quando estão localizadas nas camadas internas das paredes e na base dos colmos. O comprimento varia de 300 a 1.200  $\mu\text{m}$  e a largura entre 15 a 200  $\mu\text{m}$ .

### Tecido parênquimatoso

Segundo CHUN (2003), o tecido parênquimatoso ocupa a maior parte do bambu, cerca de 40 a 60%. Ele circunda os feixes fibrovasculares, mas uma pequena parte passa através dos feixes. Na seção transversal da parede do bambu o tecido parenquimatoso tem forma de círculos e vários ângulos. A espessura no sentido transversal é em média de 30 a 60  $\mu\text{m}$  e na seção vertical varia de 50 a 300  $\mu\text{m}$ . Num colmo de bambu a porcentagem de parênquima na base é cerca de 60% e

cerca de 40% no topo. E aumenta gradualmente da camada externa para a camada interna.

A função do tecido é armazenar água e nutrientes. O teor de umidade diminui gradualmente ano após ano, e a parede da célula torna-se cada vez mais espessa; consequentemente a cavidade celular torna-se cada vez menor.

As células de parênquima são responsáveis pelo depósito de amido. Essa característica torna o bambu mais vulnerável ao ataque de xilófagos (*xylo* = madeira; *phago* = que se alimenta de), destacando-se dentre eles bactérias, fungos e insetos.

## 2.6. ANATÔMIA DO BAMBU EM RELAÇÃO ÀS PROPRIEDADES MECÂNICAS

As propriedades dos colmos de bambu estão fortemente relacionadas com sua estrutura anatômica. Macroscopicamente, as propriedades mecânicas do colmo são determinadas pela massa específica, o qual varia aproximadamente de 0,5 a 0,9 g/cm<sup>3</sup>. A massa específica depende principalmente do conteúdo de fibras, diâmetro das fibras e espessura da parede das células. É por isso que varia consideravelmente dentro do colmo e entre diferentes espécies. A resistência mecânica aumenta durante a maturidade do colmo. (LIESE, 1998)

As características anatômicas em relação às propriedades mecânicas do bambu foram estudadas por ADB.LATIF *et al.* (1990). Três espécies de 3 anos de idade de *Bambusa vulgaris*, *Bambusa bluemeana* e *Gigantochloa scorchedii* foram usadas naquela pesquisa. Eles concluíram em seus estudos que o tamanho dos feixes fibrovasculares e o comprimento da fibra correlacionam-se positivamente com o modulo de elasticidade (MOE) e a tensão do limite proporcional. Os autores apontaram que com o aumento do tamanho (maturidade) dos feixes e do comprimento da fibra resultam no aumento das propriedades mecânicas. A correlação entre o comprimento da fibra e a resistência a tração foi negativa. A espessura da parede das células da fibra correlaciona-se positivamente com a resistência a compressão e o MOE, mas negativamente ao módulo de ruptura (MOR). Também apresentou uma correlação entre o diâmetro do lúmen e todas as propriedades mecânicas, com exceção à resistência à compressão.

Os efeitos das características anatômicas nas propriedades físicas e mecânicas do *Bambusa bluemeana* foram determinados por ADB.LATIF *et al.* (1993). Esse estudo mostrou que a freqüência dos feixes fibrovasculares e o comprimento

da fibra não variam significativamente com a altura e idade do colmo. A única variação observada foi à diminuição do diâmetro do lúmen com o aumento da idade e da altura do colmo.

CHUN (2003) apresentou a variação do diâmetro do lúmen e a espessura da parede das células dos feixes fibrovasculares em diferentes idades do *Phyllostachys pubescens*, conforme Figura 2.13.

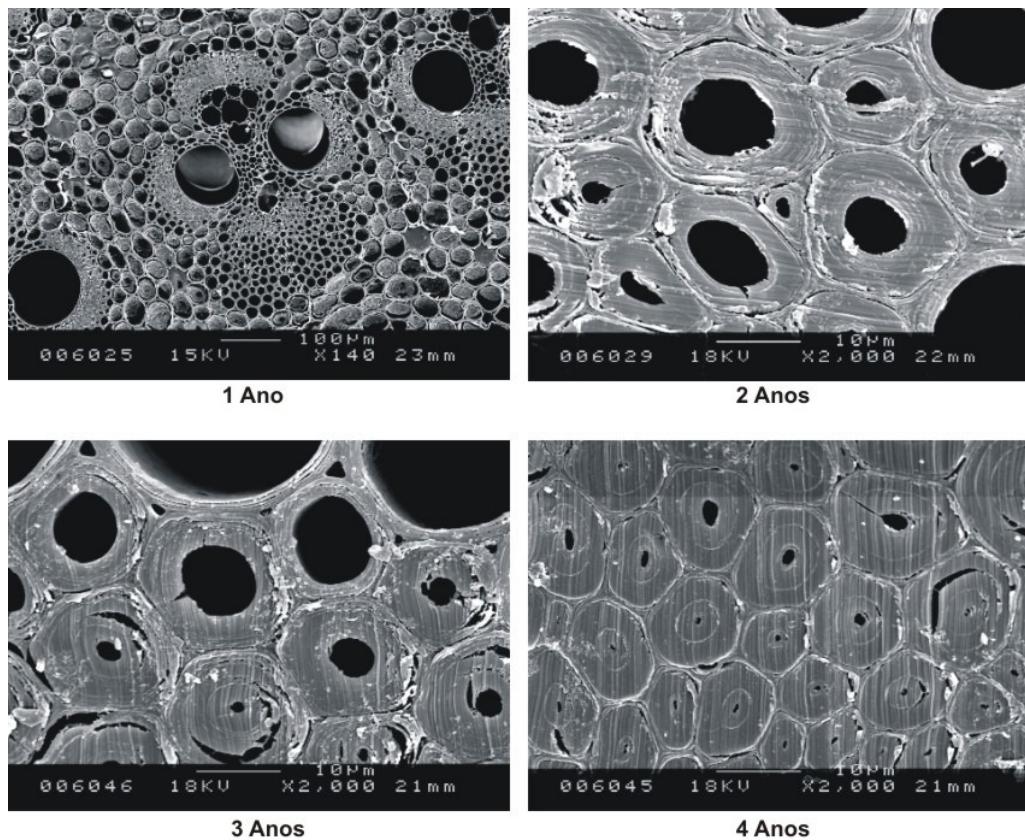


Figura 2.13 - Variação do diâmetro do lúmen e da espessura da parede celular em diferentes idades (CHUN, 2003)

Na Figura 2.13 com um ano de idade é apresentado um feixe fibrovascular aumentado 140x e mostra a pequena espessura da parede das células dos feixes e o diâmetro do lúmen. Nas Figuras com 2, 3 e 4 anos o aumento foi de 2.000 vezes e observa-se a diminuição do lúmen e o aumento da parede celular das fibras, resultando no aumento da densidade e consequentemente nas propriedades mecânicas

## 2.7. PROPRIEDADES FÍSICAS

Segundo AHMAD (2000), as propriedades físicas e mecânicas do bambu dependem da espécie, terra, clima, manejo, técnicas de corte, idade, umidade, posição dos colmos, nós e internós e biodegradação.

Segundo FU (2003), o diâmetro dos colmos do bambu Moso é em média de 6 a 18 cm. A idade dos colmos é muito importante para o manejo do bambu. Recomenda-se a utilização de colmos de Moso com 4 anos para polpa de celulose e fabricação de papel, colmos com 6 a 8 anos para produção de madeira; porém, segundo AMPUGROUP (2007), o bambu Moso utilizado para a fabricação de piso de bambu laminado é de 4 anos.

### 2.7.1. Idade do bambu

FU (2000) apresentou uma tabela para a estimativa de idade do bambu Moso conforme algumas características visuais, mostrado na Tabela 2.6.

Tabela 2.6 - Estimativa de idade do bambu Moso conforme suas características visuais (FU, 2000)

Características	Idade (anos)				
	1 - 2	3 - 4	5 - 6	7 - 8	9 - 10
Cor	Verde escuro	Verde	Verde amarelado	Amarelo esverdeado	Marrom
Anel dos nós	Branco	Branco acinzentado	Cinza claro		

Segundo OSTAPIV (2007), para a identificação ideal da idade, deve ser feita com o acompanhamento temporal de um lote experimental plantado, com todos os colmos identificados com placas ou pinturas. Porém, quando é feita a avaliação de um bambuzal comum, isto não é possível. Uma maneira de classificar os colmos quanto à sua idade é indireta, avaliando a presença de certos indicadores tais como fungos, bainhas, cor, etc. Este método não é muito preciso, mas é uma forma rápida de aquisição de informações. A Tabela 2.7 mostra algumas das características dos colmos de bambu em função do tempo de vida dos mesmos.

Tabela 2.7 - Características identificadoras de idade dos colmos de Moso  
(OSTAPIV, 2007)

<b>Até 1 ano</b>	Apresentam coloração uniforme e brilhante, penugem e bainhas na base do colmo. Figura 2.14.
<b>1 a 2 anos</b>	A cor fica menos brilhante e mais fosca com poucas penugens; ainda pode apresentar bainhas em fase de decomposição na base do colmo.
<b>3 a 5 anos</b>	Ausência de penugens nos colmos que apresentam marcas de fungos. A coloração não é mais uniforme, às vezes, quando o manejo é inadequado, apresenta as raízes bem visíveis no solo. Figura 2.15.
<b>Acima de 5 anos</b>	Inicia o processo de perda de resistência mecânica, acima de 7 anos; degrada-se rapidamente apresentando regiões do colmo secas. Figura 2.16.



Figura 2.14 - Bainhas na base de colmos jovens, cor brilhante e penugens  
(OSTAPIV, 2007)



Figura 2.15 - Presença de fungos e liquens identificadores em colmos e raízes  
aparentes (OSTAPIV, 2007)



Figura 2.16 - Colmos apresentando sinais de decomposição, inadequados para  
uso estrutural (OSTAPIV, 2007)

CHUN (2003) apresentou a curva de crescimento do bambu Moso de acordo com seu crescimento, peso e altura, relacionando com a resistência a compressão, conforme mostrado na Figura 2.17.

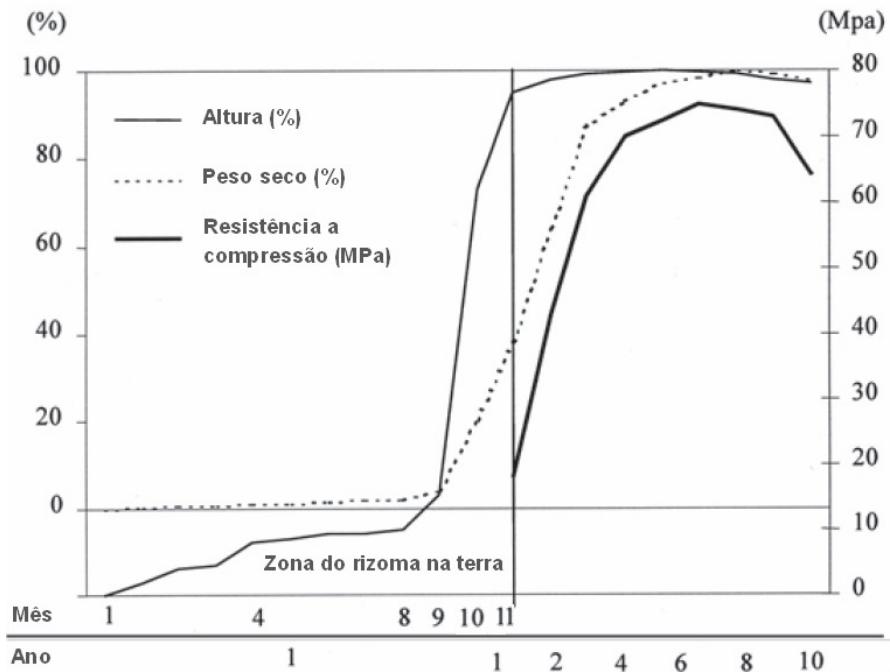


Figura 2.17 - Curva de crescimento do bambu Moso (CHUN, 2003)

### 2.7.2. Densidade

Segundo LEE et. al (1994), a densidade do bambu varia de 0,5 a 0,79 g/cm<sup>3</sup> fazendo com que a densidade seja em media 648 kg/m<sup>3</sup>. A massa específica é o fator que tem maior influência nas propriedades mecânicas do bambu e esta é influenciada pela idade, posição do colmo, condição de crescimento, teor de umidade e espécie.

De acordo com OLIVEIRA (2006), a densidade aparente (determinada a 12% de teor de umidade) do bambu laminado colado (*Dendrocalamus giganteus*) variou de 0,68 a 0,76 g/cm<sup>3</sup>. Estes valores estão próximos aos encontrados por RIVERO (2003), que situou na faixa de 0,58 a 0,79 g/cm<sup>3</sup> e GONÇALVES et al. (2002), da ordem de 0,57 a 0,75 g/cm<sup>3</sup>. Porém, foram inferiores aos obtidos por GHAVAMI (1992), que foi de 0,80 g/cm<sup>3</sup> e para as taliscas usinadas por RIVERO (2003) da ordem de 0,88 g/cm<sup>3</sup>.

LI (2004), apresentou os valores da densidade aparente (12% de teor de umidade) dos colmos do *Phyllostachys pubescens* de diferentes idades em diferentes posições longitudinais e transversais (Tabela 2.7). Os colmos de 1 ano de idade mostraram uma densidade significativamente menor do que de 3 e 5 anos. Os

colmos de 3 e 5 anos mostraram uma pequena diferença. O aumento da densidade é principalmente devido ao aumento da espessura da parede celular. Em média a densidade aumenta cerca de 58% do primeiro para o terceiro ano, indicando que a espessura da parede celular aumenta principalmente nos dois primeiros anos.

Tabela 2.7 - Densidade ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) do bambu *Phyllostachys pubescens* com teor de umidade de 12% (LI, 2004).

<b>Idade (Anos)</b>	<b>Altura</b>	<b>Externa (<math>\text{g}/\text{cm}^3</math>)</b>	<b>Meio (<math>\text{g}/\text{cm}^3</math>)</b>	<b>Interna (<math>\text{g}/\text{cm}^3</math>)</b>	<b>Média (<math>\text{g}/\text{cm}^3</math>)</b>
1	Base	0,61	0,32	0,29	0,41
	Meio	0,63	0,33	0,29	0,42
	Ponta	0,61	0,34	0,32	0,42
3	Base	0,81	0,6	0,56	0,66
	Meio	0,82	0,61	0,55	0,66
	Ponta	0,84	0,6	0,55	0,66
5	Base	0,81	0,66	0,58	0,68
	Meio	0,82	0,66	0,59	0,69
	Ponta	0,84	0,63	0,58	0,68

CHUN (2003) apresentou a variação da densidade do *Phyllostachys pubescens* em diferentes posições, encontrando valores de  $0,59 \text{ g}/\text{cm}^3$  na base,  $0,65 \text{ g}/\text{cm}^3$  no meio e  $0,74 \text{ g}/\text{cm}^3$  no topo. Com relação a idade, os valores encontrados foram de  $0,42 \text{ g}/\text{cm}^3$  para colmos de 1 ano,  $0,61 \text{ g}/\text{cm}^3$  para colmos de 3 anos e  $0,62 \text{ g}/\text{cm}^3$  para colmos de 5 anos.

Geralmente, em terras férteis, clima quente e úmido os colmos são maiores, mas possuem menor concentração de feixes fibrovasculares; por isso apresentam menor densidade. Entretanto, em clima árido e seco com baixas temperaturas, a concentração dos feixes é maior, resultando em colmos com maior densidade. Com relação à posição geográfica, a densidade do bambu é maior em áreas subtropicais do que nos tropicais (CHUN, 2003)

No Anexo B são apresentadas as relações entre as propriedades mecânicas e a densidade relativa de diferentes espécies de bambu.

### 2.7.3. Teor de umidade

O teor de umidade é definido como a porcentagem entre a massa de água contida no bambu pela massa do bambu seco. O teor de umidade é um fator importante que define as propriedades mecânicas do bambu. Segundo LEE *et al* (1994) o teor de umidade a resistência à flexão e compressão mostrou variações significantes do estado verde do seco.

A água contida no bambu pode ser dividida em água livre e água de cristalização. A água livre ou água de capilaridade é localizada nos vasos, meatos, canais e lúmen das células. Teoricamente, este tipo de água pode ser facilmente retirado. A água passa de uma célula para outra até atingir a superfície externa da madeira. Já a água de adesão ou higroscópica é localizada no interior das paredes celulares. Este tipo de água mantém-se unida às micro-fibrilas das paredes das células em estado de vapor. A retirada deste tipo de água é mais difícil e o processo geralmente é mais lento sendo necessária a utilização de energia neste processo. Quando o bambu perde umidade primeiramente é evaporada toda a água livre e depois a água de cristalização. Esta transição é chamada de ponto de saturação das fibras (PSF). Segundo KISHEN *et al.* (1956) o PSF das fibras do bambu é entre 20 a 22%, enquanto o PSF do *Phyllostachys pubescens* é menor, cerca de 13% OTA (1955). O PSF é influenciado pela natureza química e anatômica dos tecidos (MOHMOD e JUSUH, 1992). As células de parênquima, sendo mais higroscópicas, resultam no aumento do PSF.

O teor de umidade do bambu varia de acordo com a idade, posição e época do corte. Geralmente, os colmos mais velhos possuem um teor de umidade menor que os mais velhos. Por exemplo, o teor de umidade do bambu Moso é 135% para um ano de idade, 91% de dois para três, 82% para cinco anos e 77% de seis a sete anos. O teor de umidade diminui gradualmente da base para o topo (figura 2.18) e da parte externa para a interna, que varia de 36 a 74% na parte externa, 102% para o meio e 105.35% para a parte interna (CHUN, 2003).

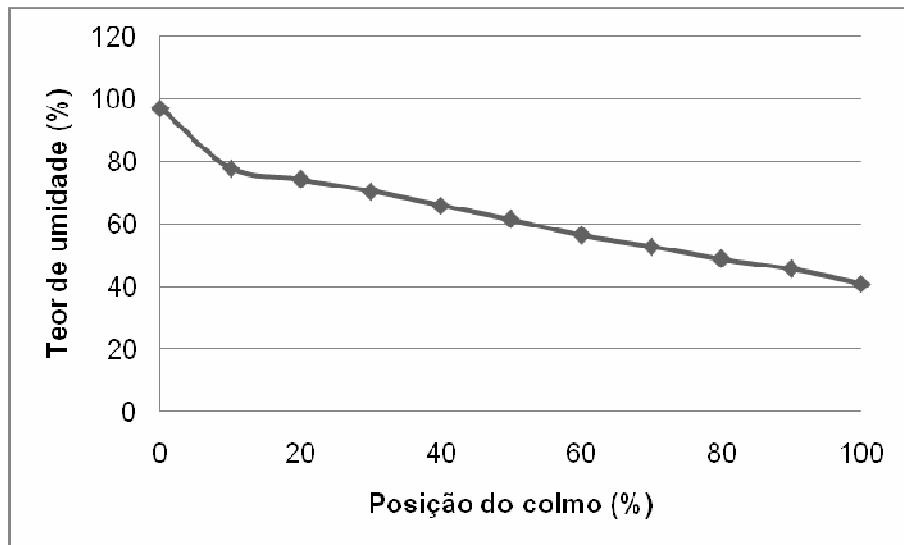


Figura 2.18 - Relação entre o teor de umidade e a posição dos colmos (CHUN, 2003)

Quando o teor de umidade aumenta, o módulo de elasticidade (MOE), a resistência à compressão, tração, cisalhamento e flexão paralela à fibra diminuem. Isso acontece porque a direção dos vasos está com um ângulo reto e quando o teor de umidade diminui, ocorre uma pequena variação no ângulo dos vasos, consequentemente, resultando no aumento destas propriedades.

CHUN (2003) demonstrou o aumento da resistência à compressão com a diminuição do teor de umidade do bambu *Phyllostachys Pubescens*, conforme mostra a Figura 2.19.

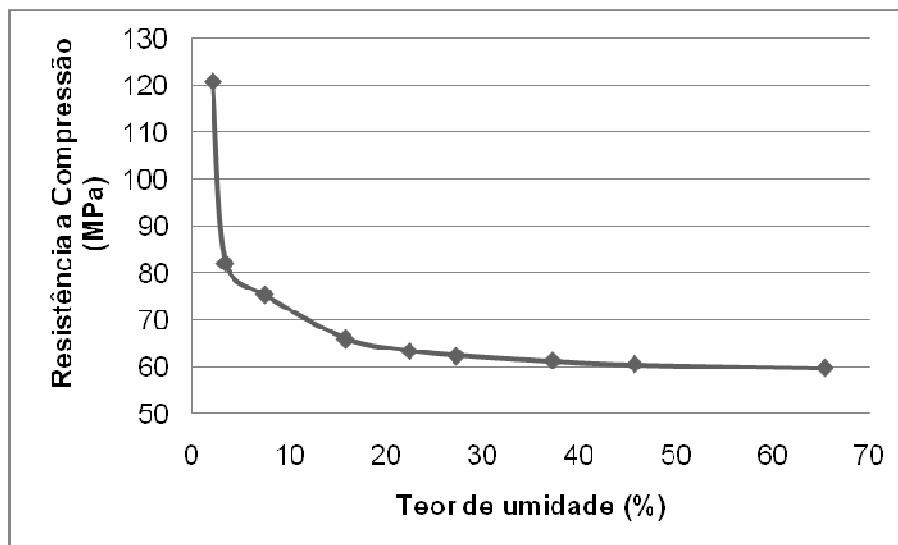


Figura 2.19 - Relação entre o teor de umidade e a resistência a compressão para o bambu *Phyllostachys pubescens* (CHUN, 2003).

Os resultados apresentados por LI (2004) demonstraram que o bambu Moso verde possui um teor de umidade de 100%, chegando a 155% nas camadas internas e 70% nas camadas periféricas. A variação no sentido longitudinal é de 82% na parte superior e 110% na parte inferior.

LEE *et al.* (1994) em seus estudos com *Phyllostachys bambusoides* apresentou teor de umidade média no estado verde de 137.6% com uma densidade de 0,48 g/cm<sup>2</sup>. Nesse estudo foi concluído que não existe uma diferença significativa entre o teor de umidade e o peso específico entre diferentes posições dos colmos e entre diferentes colmos.

ADB.LATIF *et al.* (1993) relataram que o teor de umidade do *Bambusa bluemeana* verde varia de 57 a 97%. Eles verificaram que colmos de bambus mais novos (1ano) mostraram maior teor de umidade e eram menos estáveis dimensionalmente em comparação com os mais velhos (3 anos). Isso ocorre devido o efeito da espessura da parede da fibra e da concentração dos feixes fibrovasculares conforme a idade.

Segundo GARBINO *et al.* (2002), em seus experimentos com o *Dendrocalamus giganteus* quanto à idade do colmo, o teor de umidade das amostras apresentou pequena variação, entre 87% a 98% para amostras sem nó, 66% a 75% para

amostras com nó, sendo sempre menor para as amostras com nó para todos os anos investigados.

#### 2.7.4. Estabilidade dimensional

O bambu, assim como a madeira, muda de dimensão quando perde ou ganha umidade. O bambu é um material higroscópico; o teor de umidade muda quando há uma variação da umidade relativa e da temperatura do ambiente. A estabilidade dimensional de produtos da base florestal é crucial quando se deseja obter produtos colados. A mudança dimensional resulta em falhas na linha de colagem, colocando em risco a utilização do produto.

Normalmente, a taxa de retração do bambu é menor que a da madeira, porém existe uma variação considerável entre as direções do bambu (radial, tangencial e longitudinal). A taxa de retração é mais alta na direção tangencial da parte externa dos colmos e depois na direção radial e tangencial da parte interna, e por último para o sentido transversal. O bambu seco em câmara de secagem possui uma taxa de retração menor em relação seco ao ar.

Segundo CHUN (2003), quando o teor de umidade é menor que 25% a taxa de retração varia significativamente; já quando esta acima de 25% esta variação não é significativa. A principal razão da causa a retração do bambu deve-se ao fato que os vasos dos feixes fibrovasculares perdem água. Conseqüentemente a retração é maior na posição onde a concentração dos feixes fibrovasculares é maior. A parede dos colmos de bambu normalmente racha durante o processo de secagem porque a taxa de retração na parte externa é maior que a da parte interna.

De acordo com AHMAD (2000), o bambu começa a mudar dimensionalmente assim que começa a perder umidade, em contraste com a madeira, que muda de dimensão somente abaixo do ponto de saturação das fibras (PSF). O PSF é alcançado quando a madeira perde toda a água livre e a parede das células está saturada com água. A partir deste ponto, a água que irá perder é a da parede das células. No bambu, a água livre e a água impregnada na parede das células existem, entretanto a quantidade de água livre é muito menor que a água impregnada na parede das células. Isto pode explicar o porquê da variação dimensionalmente, assim que perde umidade.

De acordo com GARBINO *et al.* (2004), em seus estudos com *Dendrocalamus giganteus*, houve uma tendência de ocorrer maior retração quanto menor a altura da localização das amostras no colmo, confirmando os resultados obtidos por SATTAR *et al.* (1991), que concluíram que as maiores retrações ocorrem na parte basal, coincidentes com o maior teor de umidade do colmo. Em relação à idade, a retração ocorreu em menor intensidade nos colmos mais velhos, tanto para amostras sem nó, quanto para as com nó. Para as amostras sem nó, os valores de retração ficaram compreendidos entre 7,11% a 11,44% na direção radial e 6,11% a 11,78% na direção tangencial. Para as amostras com nó, entre 1,56% a 5,67% na direção radial e entre 4,67% a 8,78% na direção tangencial. Esses valores são próximos dos apresentados por BERALDO *et al.* (1998). A retração axial se apresentou inexpressiva ou nula para todas as situações. Para as amostras sem nó, os valores de inchamento ficaram compreendidos entre 3,89% a 8,67% na direção radial e entre 4,56% a 8,33% na direção tangencial. Para as amostras com nó, entre 2,67% a 4,33% na direção radial e entre 4,78% a 7,22% na direção tangencial.

ADB.LATIF *et al.* (1993) afirmaram que a retração do *Bambusa bluemeana* não difere significativamente entre a idade e a altura. A média da retração radial e tangencial foi de 5.4% a 9.5% e 6.4% a 20.1% respectivamente. Os colmos com 1 ano de idade apresentaram uma retração média de 15% a 20%. A retração radial e tangencial da base dos colmos de 2 anos encontrados foram de 8% a 19% respectivamente, e no topo de 6% a 12% respectivamente

AHMAD (2000) analisou a retração e o inchamento do *Dendrocalamus strictus*, e concluiu que a principal retração e inchamento radial não são estatisticamente diferentes da retração e inchamento tangencial. A retração e inchamento longitudinal são muito pequenos e é significativamente diferente das outras direções. Também apresentou uma fraca correlação entre densidade relativa e estabilidade dimensional.

Na Tabela 2.8 é apresentada a estabilidade de três diferentes espécies.

Tabela 2.8 - Estabilidade dimensional (CHUN, 2003)

Espécie	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Teor de umidade (%)	Compressão (MPa)	Estabilidade dimensional			
				Tang.	Radial	Long.	Vol.
Bambusa vulgaris	0.68	60	53.6	4.7	5.0	0.3	10.2
Dendrocalamus giganteus	0.55	97	39.8	7.8	9.8	0.3	19.6
Phyllostachys pubescens	0.66	81	68.2	5.5	8.7	0.4	14.7

## 2.8. PROPRIEDADES MECÂNICAS

Segundo HEARN (1997) apud AHMAD (2000) a análise mecânica é o estudo do comportamento de um material quando sujeito a uma carga. Isto resulta na deformação do material. O bambu como um material anisotrópico, isto é possui propriedades mecânicas particulares nas três direções: longitudinal, tangencial e radial, como mostrado na Figura 2.20.

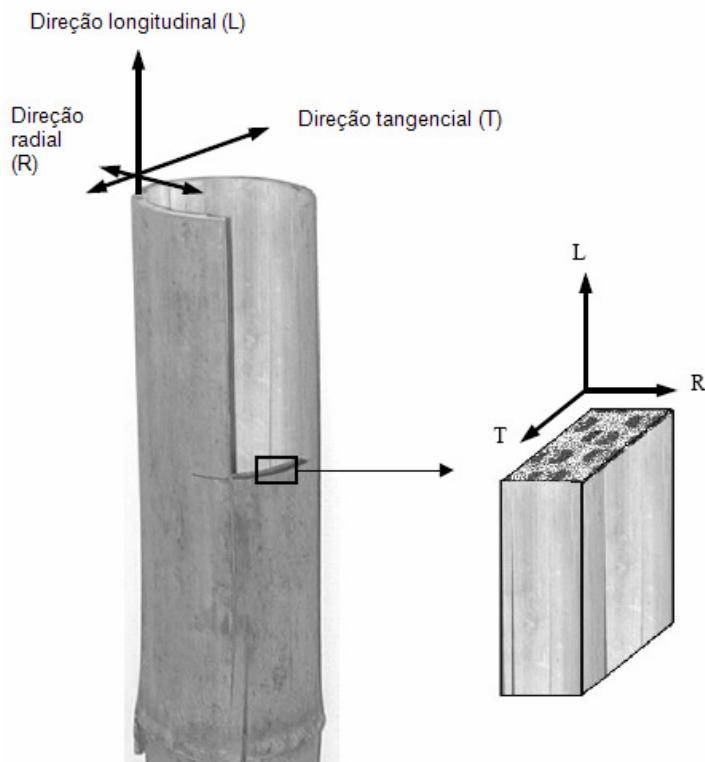


Figura 2.20 - Planos ortogonais do bambu (AHMAD, 2000).

Segundo AHMAD (2000), a resistência à tração, à compressão, à flexão e ao MOE são correlacionadas com a densidade e com o teor de umidade. Quando o teor de umidade diminui as propriedades mecânicas aumentam e quando a densidade diminui as propriedades mecânicas também diminuem. Este comportamento é similar às propriedades mecânicas da madeira. A distribuição dos feixes fibrovasculares é positivamente correlacionada com todas as propriedades mecânicas com exceção ao MOR. ADB.LATIF *et al.* 1993 afirmaram que este comportamento é devido ao aumento do número de células esclerênquimáticas e condutoras, e em consequência disso resulta no aumento da densidade. O tamanho dos feixes fibrovasculares e o comprimento das fibras são correlacionados com a resistência à compressão, à flexão e ao MOE.

AHMAD (2000) apresentou variações significativas das propriedades mecânicas com colmos de diferentes idades a posições. A resistência a tração, compressão e flexão aumentam gradualmente com a idade e a altura.

Em virtude da orientação das fibras ser paralela ao eixo do colmo, o bambu resiste mais à tração do que à compressão. O módulo de elasticidade varia em função da posição do colmo, sendo maior nos nós por apresentarem maior concentração de sílica (LIESE,1998).

LEE *et al.* (1994) determinaram as propriedades físicas e mecânicas do *Phyllostachys bambusoides*, e relataram que a presença de nós reduziu a resistência à tração, à compressão, à flexão e ao MOR, mas não afetou significativamente o MOE.

Segundo alguns autores, o principal inconveniente para determinar as características mecânicas dos colmos está na realização de ensaios precisos, não havendo uma padronização, pois cada pesquisador adota uma metodologia diferenciada, tornando difícil à comparação de resultados.

Na Tabela 2.9, podem-se observar algumas propriedades mecânicas do bambu, em comparação com o *Pinus* e com o concreto.

Tabela 2.9 - Propriedades mecânicas do bambu, do pinus e de concreto  
(GHAVAMI, 2002)

Características	Bambu	Pinus	Concreto
Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )	580-700	530	2400
Tração axial (kgf/cm <sup>2</sup> )	2400	1000	20
Compressão axial (kgf/cm <sup>2</sup> )	650	500	250
Flexão (kgf/cm <sup>2</sup> )	1200	1200	24

CHUN (2003) explica que a pesquisa do efeito da idade do bambu nas propriedades mecânicas não tem somente uma importância realística no uso do bambu, mas também tem muita importância no cultivo das florestas de bambu (especialmente para ter certeza do corte). A resistência aumenta gradualmente durante os primeiros 5 anos e é reduzida depois dos 9 anos. A Tabela 2.10 apresenta a variação das propriedades mecânicas em diferentes idades do *Phyllostachys pubescens*. A Tabela 2.11 mostra a variação das propriedades mecânicas em diferentes posições longitudinais dos colmos do *Phyllostachys pubescens*

Tabela 2.10 - Variação das propriedades mecânicas em diferentes idades do *Phyllostachys pubescens* (CHUN, 2003)

Propriedade	Média	Idade (Anos)				
		1-2	3-4	5-6	7-8	9-10
Tração (MPa)	163,5	91,1	176,4	184,1	177	189,1
Compressão (MPa)	63,8	63,5	63,6	63,4	64,7	63,6
Flexão (MPa)	159,1	153,7	162,2	158,6	161,2	160
MOE tração (MPa)	11656	11909	11229	11457	12416	11267
MOE compressão(MPa)	8207	7716	8448	7607	9041	8221
MOE flexão(MPa)	10897	10770	10370	11323	10893	11131

Tabela 2.11 - Variação das propriedades mecânicas em diferentes posições longitudinais dos colmos do *Phyllostachys pubescens* (CHUN, 2003)

Propriedade	Média	Posição (metros)						
		1	2	3	4	5	6	7
Tração (MPa)	198,6	157,9	190,9	194,2	202,1	208,9	215,3	221,1
Compressão (MPa)	67,8	60,9	63,9	69,9	68,1	70	70,5	71,1
Flexão (MPa)	154,8	138,7	147,3	152,1	152,7	160,8	162	170,1
MOE tração (MPa)	11812	10158	10839	11572	12066	12469	12725	12855
MOE compressão(MPa)	6669,8	5533	6452	6886	7148	7330	-	-
MOE flexão(MPa)	11996,7	10460	11348	11961	12102	12008	12778	13320
Qde de feixes (qde/cm <sup>2</sup> )	233,3	168	199	216	234	252	267	297
Densidade basica ( g/cm <sup>3</sup> )	0,789	0,737	0,775	0,786	0,793	0,804	0,808	0,818

De acordo com LI (2004), a resistência à flexão não é significativamente diferente conforme a posição dos colmos, mas aumenta conforme a idade dos colmos. A Tabela 2.12 correlaciona a massa específica ( $\rho$ ) com o módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE) do *Phyllostachys pubescens* de diferentes idades em diferentes posições longitudinais.

Tabela 2.12 – Densidade e resistência a flexão (LI, 2004)

Idade	Altura	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	MOR (MPa)	MOE (MPa)
1	Base	0.49	110.3	7770
	Meio	0.53	119.3	8680
	Ponta	0.54	117.2	8929
3	Base	0.70	151.0	10039
	Meio	0.71	151.7	10122
	Ponta	0.72	160.6	10397
5	Base	0.75	186.2	13162
	Meio	0.78	184.8	13410
	Ponta	0.76	183.4	13307

GONCALVES et al. (2000), apresentaram as resistências para o bambu *Dendrocalamus giganteus* serrado, segundo norma NBR 7190:1997, Tabela 2.13.

Tabela 2.13 - Resistências para o bambu *Dendrocalamus giganteus*  
(GONÇALVES et al. 2000)

Ensaio	Resistência ( MPa )
Compressão Paralela as Fibras	89
Tração Paralela as Fibras	161
Flexão	298
Resistência ao Impacto na Flexão - Tenacidade	137 KJ/m <sup>2</sup>

### Dureza

Com relação à dureza do bambu Moso, OSTAPIV (2007) explica que enquanto o Pinus tem dureza de 1,6 a 2,3 Brinell, o piso de bambu Moso, apresenta de 4 a 6 Brinell, segundo os resultados apresentados pela Organização Holandesa para Aplicações Científicas e Pesquisa disponível em [www.specialfloring.com](http://www.specialfloring.com). Comparando o bambu com madeiras brasileiras, vê-se que o bambu Moso tem dureza equivalente a madeiras de dureza média e alta.

O valor médio encontrado por OSTAPIV et al. (2007) para os colmos do bambu Moso de 5 anos de idade foi de 8 HB.

### Abrasão

Segundo KOGA et al. (2002), o desgaste de produtos, componentes e equipamentos é um dos maiores fatores de depreciação em um grande número de atividades industriais, sejam agrícolas ou em outras economicamente importantes. Representa também uma fonte de despesas com manutenção, que influi nos custos indiretos de produção.

KOGA et al. (2002) compararam a resistência à abrasão do bambu (*Dendrocalamus giganteus*) com madeiras de espécies nativas: ipê, maçaranduba e peroba-rosa, utilizando a norma ASTM D 4065-95 - Resistência a Abrasão de Camadas Orgânicas com a utilização do equipamento denominado "Taber Abraser". A montagem das amostras de bambu foi feita de duas formas, segundo o posicionamento para colagem das ripas: o tipo A, ripas coladas em duas camadas para formar a espessura do corpo de prova, além da colagem lateral; o tipo B, ripas com a espessura do corpo de prova coladas lateralmente. As amostras de madeira

foram montadas igual às amostras do bambu tipo B. A Figura 2.21 demonstra os resultados obtidos KOGA *et al.* (2002).

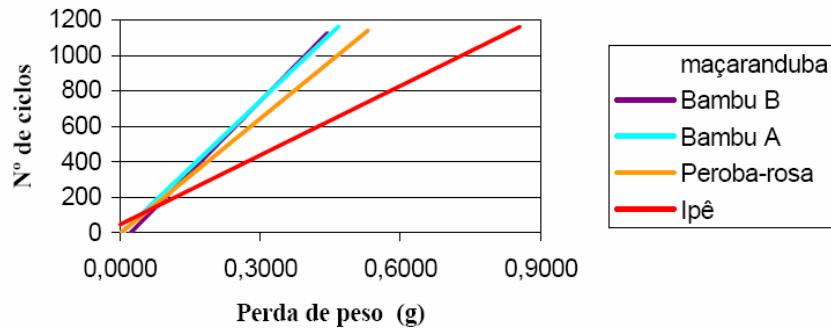


Figura 2.21 - Resultados em gramas das médias das perdas progressivas das espécies ensaiadas por KOGA *et al.* (2002)

A Figura 2.22 mostra as médias das perdas de espessura por espécie ensaiada por KOGA *et al.* (2002) nas quatro posições.

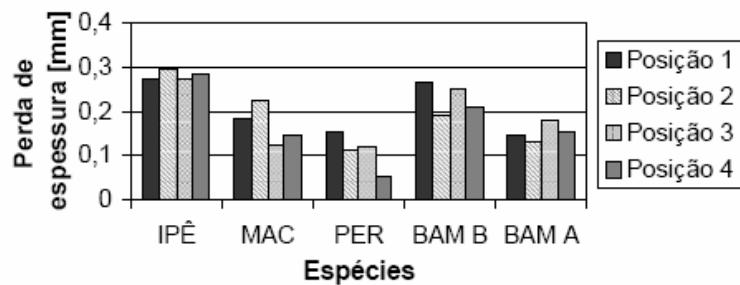


Figura 2.22 - Média da perda de espessura por espécie determinadas nas quatro posições (KOGA *et al.*, 2002)

Entre as espécies de madeiras, a maçaranduba mostrou melhor resistência ao desgaste abrasivo, muito próximo à do bambu, seguida pela peroba-rosa e o ipê, que demonstrou ser menos resistente à abrasão após os 1000 ciclos. Com isso foi verificado que a espécie bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus*) pode ser empregada como elemento de piso em edificações, em relação ao parâmetro da resistência abrasiva. No resultado de perda de espessura, os resultados não foram conclusivos com relação a diferença do desgaste no sentido longitudinal ou transversal a direção das fibras.

Em outro estudo, SILVA e BITTENCOURT (2002), analisaram a resistência à abrasão entre o Bambu, o Jatobá e o Eucalipto. Onde o Bambu tipo A e o Eucalipto superaram a resistência à abrasão do Jatobá, como mostra a Figura 2.23. Observando as linhas de tendências os valores encontrados pelos autores foram de 0,38 g para as amostras de eucalipto e 0,4 g para as amostras de Bambu.

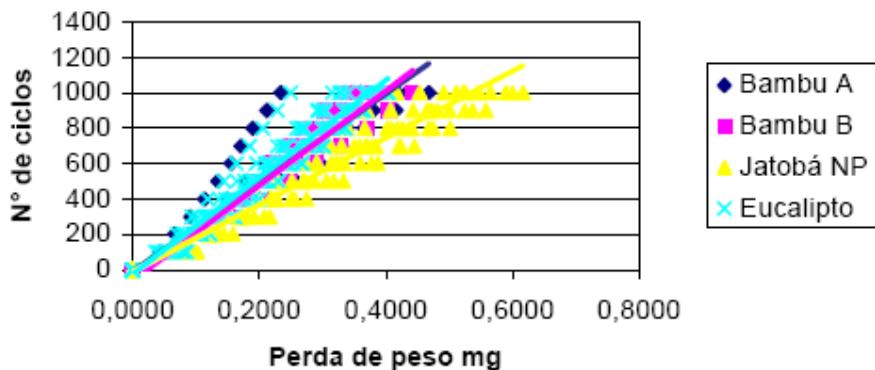


Figura 2.23 - Resultados em gramas das médias das perdas progressivas das espécies ensaiadas por SILVA e BITTENCOURT (2002)

## 2.9. BAMBU LAMINADO COLADO (BLC)

### 2.9.1. Introdução

Segundo RIVERO (2003), a produção do bambu laminado colado iniciou-se no começo da década de 80. Com a abertura política da China, ocorreu uma grande demanda de madeira para construção, e com isso a madeira ficou escassa. Como naquele país existe uma abundância de espécies de bambus, os quais ocorrem em grandes áreas, iniciou-se um processo de incentivo à pesquisa com a finalidade de desenvolvimento de painéis utilizando o bambu.

De acordo com GARBINO et al. (2002), hoje a China é o país que detém o maior conhecimento sobre a industrialização de painéis a base de bambu e a maior produção em volume deste material. Entre os principais painéis a base de bambu estão os painéis de partículas de bambu, painéis a base de ripa de bambu

prensadas após submetidas a alta temperatura (BPSL - bamboo parallel strip lumber) e o painel de ripas serradas, aplinadas e coladas, conhecido na China como "LBL – Laminated bamboo lumber", que é o objeto deste estudo.

A madeira de bambu laminado tem sido largamente empregada por possuir a qualidade de assumir diferentes formatos, possibilitando aplicações diversas, como componentes para habitação, tais como: móveis, painéis, revestimento, forração, esquadrias, molduras e pisos, tendo este já despertado grande interesse em outros países como os Estados Unidos e a Alemanha (PEREIRA, 1997).

Na Figura 2.24 são apresentadas algumas aplicações do uso do bambu laminado colado desde estruturas, paredes, pisos até o mobiliário.

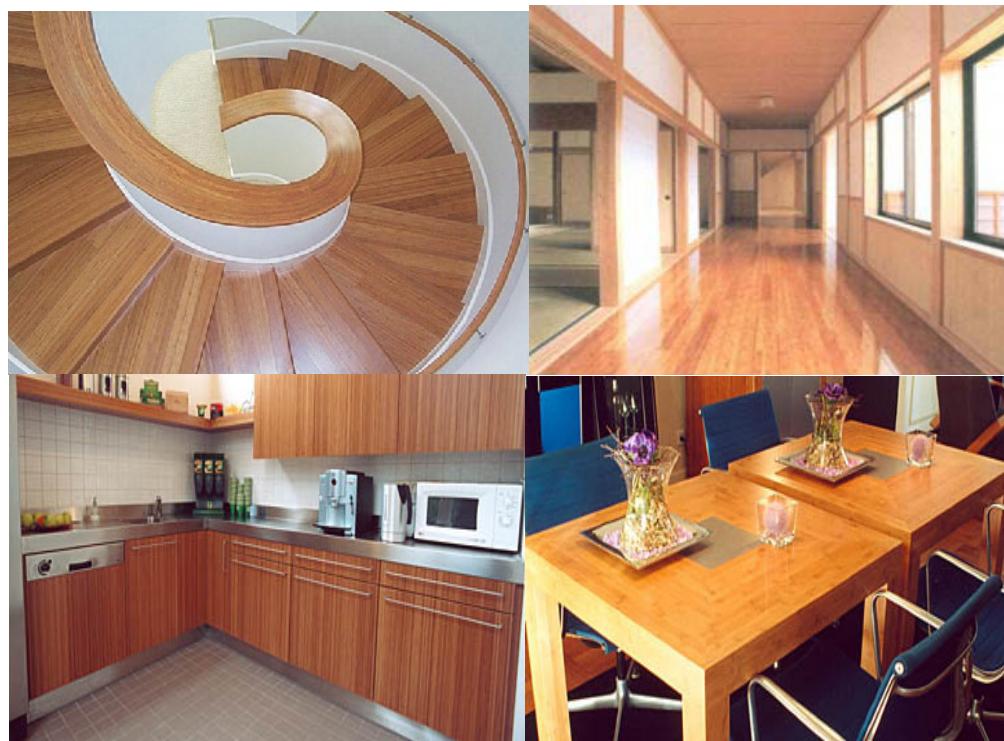


Figura 2.24 - Casa de Bambu no Japão (Revista Cotens, 2002)

Uma aplicação mais ousada pode ser vista na Figura 2.25 no protótipo do Ford “M”, lançado em 2002 pelo designer J. Mays que abriu o museu da arte contemporânea em Los Angeles, lançando a idéia “ocupando o espaço entre o emocional e o racional, a arte e a ciência. Ele usa as combinações futurísticas dos

materiais: bambu, alumínio e fibra de carbono. Aplica o conceito da emissão zero, onde 96% do carro é reciclável.



Figura 2.25 - Protótipo do Ford M (IRISHCAR, 2002)

No Brasil, o processo de obtenção do laminado colado de bambu encontra-se ainda restrito ao nível de pesquisas dentro das Universidades, sendo o primeiro relato dos resultados apresentados por CARRASCO *et al.* (1995) durante o V EBRAMEM (Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas em Madeiras). Os autores confeccionaram laminado colado de bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus*, utilizando o mesmo adesivo empregado para madeira laminada e colada.

Os autores procuraram seguir as mesmas normas adotadas para a madeira, adaptando-as ao bambu para a confecção dos corpos-de-prova e para a realização de ensaios (RIVERO, 2003).

KOGA (2002) confeccionou placas de laminado colado de bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus*, visando sua utilização para piso. O autor realizou testes de desgaste abrasivo, comparando o piso à base de bambu com os pisos de madeira das seguintes espécies: Maçaranduba, Ipê e Peroba-rosa. O bambu apresentou desempenho similar ao da madeira Maçaranduba, considerada a melhor dentre as espécies testadas no ensaio de abrasão.

Um dos grandes inconvenientes para o estudo do BLC refere-se à falta de padronização para a confecção dos corpos-de-prova e para a realização dos ensaios de caracterização físico-mecânica. Visando contribuir para o aprimoramento do estudo do bambu laminado colado, GONÇALVES et al. (2002) apresentaram alguns resultados obtidos em ensaios (Tabela 2.14) do bambu laminado colado (*Dendrocalamus giganteus*), segundo norma NBR 7190

Tabela 2.14 - Resultados de ensaios de resistência mecânica (GONÇALVES et al. 2002)

<b>BAMBU LAMINADO COLADO</b>	
<b>ENSAIO</b>	<b>RESISTÊNCIA (MPa)</b>
Dureza (Direção perpendicular)	34
Compressão Paralela às Fibras	55
Compressão Normal às Fibras	18
Tração Paralela às Fibras	195
Tração Normal às Fibras	2,5
Cisalhamento	10
Flexão	166

### 2.9.2. Processo de manufatura

BERNDSEN *et al.* (2005), desenvolveram uma ferramenta para corte longitudinal de bambu para obtenção de tiras para uso artesanal. Em seus estudos, concluíram que para obter-se lâminas de largura uniforme é necessário fazer o corte longitudinal por meio de serras de discos paralelos.

Segundo STAMM (2002), a maior parte das fábricas de piso na China trocou seus sistemas de rachar os bambus por meio de uma faca estrela, por uma serra elétrica de disco duplo de tungstênio e uma guia paralela em cantoneira, como mostra a Figura 2.26.



Figura 2.26 – Serra de discos paralelos (STAMM, 2002)

No Brasil, não existe nenhum processo específico para a produção do bambu laminado colado devido à inexistência de máquinas apropriadas. Como a China já possui uma tecnologia de ponta para o processamento, foram realizadas pesquisas para buscar o processo de manufatura usado naquele país. Posteriormente, com a participação do autor no *2007 Training Course on Bamboo Technology for Developing Countries* foi possível verificar os processos de manufatura em visitas de fabricantes de piso de bambu laminado colado. As etapas deste processo podem ser visualizadas na Figura 2.27.

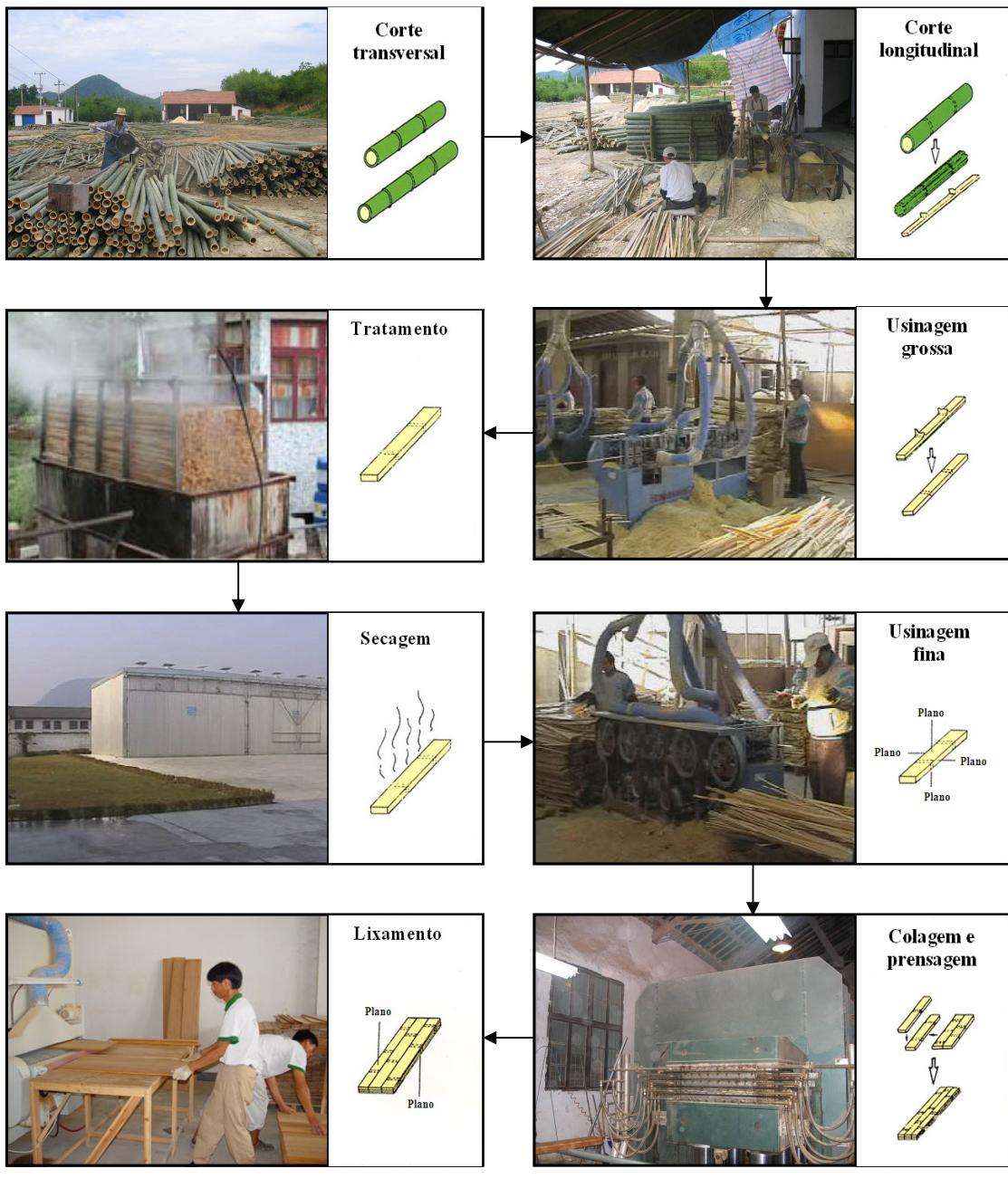


Figura 2.27 - Processo de Fabricação do BLC na China (esquema do autor)

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. DESENVOLVIMENTO DA MÁQUINA

Como já foi comentado no capítulo anterior, o Brasil ainda não domina a tecnologia do processamento de lâminas de bambu. Portanto, não existem equipamentos apropriados para a produção em escala industrial. Com isso a primeira etapa deste trabalho foi a de desenvolver um equipamento para possibilitar a produção de lâminas para serem caracterizadas.

O objetivo do desenvolvimento desta máquina é de evitar uma etapa posterior do processo que utiliza o corte longitudinal por meio de uma faca estrela, que é o esquadrejamento lateral das tiras. Outro objetivo é o de minimizar o desperdício de material, propiciar maior segurança e ergonomia ao operador, além de melhorar a qualidade das tiras com relação à linearidade das tiras.

Baseado no modelo proposto por STAMM (2002) foi desenvolvido uma conceção com alguns melhoramentos, para possibilitar melhor segurança e funcionalidade. Entre os melhoramentos pode-se citar a regulagem de altura de serras, para possibilitar o corte de diferentes diâmetros e espécies de bambu, regulagem da distância entre os discos, batente com regulagem que reduz o tempo de alinhamento para o corte entre uma tira e outra, e chapas de proteção para proporcionar segurança ao operador.

Na Figura 3.1 pode-se observar o desenho da máquina de corte longitudinal de bambu.

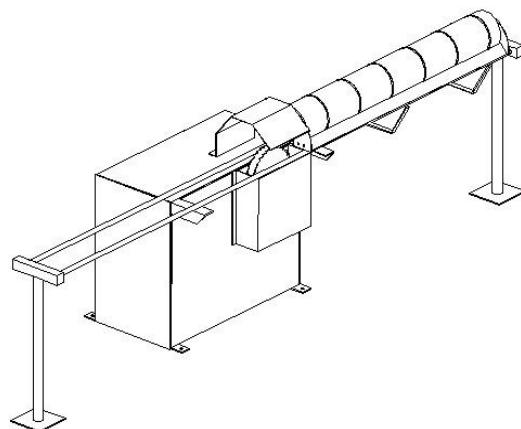


Figura 3.1 - Máquina para o corte longitudinal (Foto do autor).

Na Figura 3.2 pode-se observar a máquina de corte longitudinal do bambu fabricada pelo autor.



Figura 3.2 - Máquina para o corte longitudinal (Foto do autor).

Nos Apêndices A, B e C encontram-se os desenhos esquemáticos e a descrição dos componentes e da funcionalidade.

### 3.2. COLETA DO MATERIAL

Os colmos de bambu para este estudo foram cortados no dia 7 de Maio de 2007, no município de Fazenda Rio Grande no estado do Paraná na propriedade do Sr. Vilson Faust, na colônia Parque Verde, localizada a  $25^{\circ} 40' \text{ S}$  e  $49^{\circ} 19,50' \text{ O}$ . Na Figura 3.3 é mostrado o bambuzal onde foram retirados os colmos para o presente estudo.



Figura 3.3- Bambuzal (Foto do autor)

O diâmetro basal escolhido foi de 10 a 12 cm, possuindo uma altura média de 17 metros. Quatro colmos de cada idade (1, 3 e 5 anos) foram coletados, como demonstrado na Figura 3.4.



Figura 3.4 – Bambu de um, três e cinco anos respectivamente (Foto do autor)

Um procedimento foi adotado para classificar a posição longitudinal de cada colmo, entre base, meio e topo. Um metro de cada posição foi retirado dos colmos para análise das propriedades anatômicas, físicas e mecânicas, como mostrado na Figura 3.5. A densidade básica e o teor de umidade foram determinados assim que os colmos foram cortados.

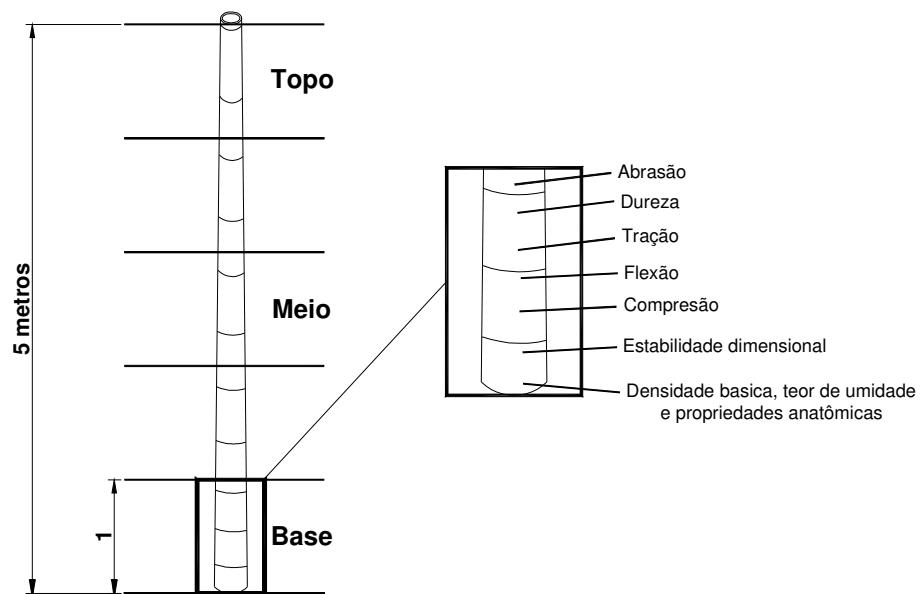


Figura 3.5 - Esquema de amostragem

### 3.3. PREPARAÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA

#### Corte longitudinal dos colmos

Para o corte longitudinal do bambu, foi utilizada a máquina desenvolvida pelo autor, conforme Figuras 3.1 e 3.2. As tiras foram cortadas com uma largura de 30 mm. Foram retiradas três tiras para cada posição e para cada idade, totalizando 144 tiras. Estas foram identificadas conforme a idade e posição da altura do colmo. Na Figura 3.6 são mostrados os colmos de bambu cortados no sentido longitudinal.



Figura 3.6 - Colmos cortados (Foto do autor).

#### Remoção da casca e dos nós internos

Devido ao fato das tiras estarem unidas pelo diafragma (Figura 3.6), foi necessário que as mesmas fossem desmembradas umas das outras. Por isso, após o corte longitudinal, as peças de bambu foram arremessadas contra o chão, quebrando assim os diafragmas de cada nó e separando uma tira da outra.

Posteriormente, foram retiradas as saliências dos nós da parte interna e externa com o auxílio de uma lixadeira elétrica. As tiras foram passadas em uma máquina sepilhadora (Figura 3.7), removendo a casca e a parte interna, deixando as duas faces lisas e paralelas.



Figura 3.7 - Máquina para remoção da casca externa e parte interna (Foto do autor).

### Secagem

Após a remoção da casca e da parte interna, as tiras foram gradeadas e deixadas secando ao ar livre (Figura 3.8) até estabilizar o teor de umidade, que foi de cerca de 20%. Posteriormente as tiras foram secadas em uma câmara de secagem (Figura 3.9) até atingir um teor de umidade médio de 12%.



Figura 3.8- Secagem ao ar livre  
(Foto do autor)



Figura 3.9 - Câmara de secagem  
(Foto do autor)

### Calibração

Devido à retração ocorrida durante o processo de secagem, as tiras foram passadas novamente na máquina sepilhadora, com uma velocidade de avanço menor e uma retirada de material também menor, a fim de conferir um melhor acabamento superficial às lâminas.

### Corte transversal

As tiras foram cortadas conforme a largura e o comprimento dos corpos-de-prova estabelecidos para cada ensaio.

## 3.4. ANÁLISE DAS PROPRIEDADES ANATÔMICAS

As análises anatômicas foram conduzidas no Laboratório de Anatomia da Madeira do Departamento de Engenharia Florestal da UFPR. Para análise da freqüência de vasos foram feitos cortes anatômicos transversais para a obtenção de lâminas permanentes utilizando o micrótomo de deslize (Figura 3.10). As lâminas foram coradas com safranina para a visualização das fibras. Posteriormente, procedeu-se à série alcoólica para desidratação, com intenção de evitar o aparecimento de bolhas, as quais foram analisadas a partir de fotos digitais no software MicroSuite™-BASIC. Foi possível dividir a foto em duas áreas - do meio do colmo para dentro e do meio do colmo para fora - de modo que o número e o diâmetro dos vasos fossem contados, tanto no lado interno quanto no lado externo do colmo.



Figura 3.10 - Micrótomo de deslize (Foto do autor)



Figura 3.11 - Amostras preparadas (Foto do autor)

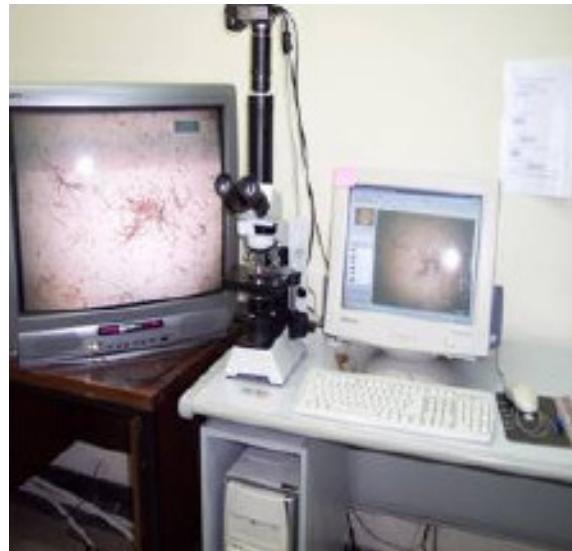


Figura 3.12 - Equipamento para análise anatômica (Foto do autor)

Foram contados os vasos (metaxilema), sendo que em cada feixe fibrovascular havia três vasos (2 xilemas e 1 floema). A área de cada lado do colmo foi medida em micrômetros quadrados, e o número de vasos foi referente a essa área. Sabendo o número de vasos por micrômetro quadrado, foi feita uma extração para milímetro quadrado, obtendo-se o número de vasos por  $\text{mm}^2$  e o número de feixes fibrovasculares por  $\text{cm}^2$  para cada amostra na base, meio e topo no 1º, 2º e 3º ano, para os 4 colmos de cada ano. No total foram feitas medidas em 36 lâminas. Para a análise do diâmetro dos vasos procedeu-se da mesma maneira que na análise da freqüência de vasos, com a diferença que de cada vaso foi feita duas medidas ortogonais de todos os vasos e obtida a média dessas duas medidas para se obter um valor médio do diâmetro dos vasos. O diâmetro dos vasos também foi obtido na parte interna do colmo e na parte externa do colmo, para os 4 colmos de cada idade, na base, meio e topo.

### 3.5. ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS

Para a adequação do uso do bambu como uma alternativa para o setor madeireiro é necessário que se definam suas propriedades físicas a fim de se conhecer suas possíveis aplicações. Neste estudo foram investigados a densidade

relativa, o teor de umidade e a estabilidade dimensional. O bambu apresenta variações nas propriedades físicas. A densidade relativa deve ser levada em consideração como a característica física mais importante, pois é a característica que tem maior influência sobre as propriedades mecânicas.

A influência do teor de umidade e seu efeito com a estabilidade dimensional são estudados como um item básico quando se analisa a propriedade de qualquer produto a base florestal (HAYGREEN E BOWYER, 1998). A secagem da madeira, assim como do bambu, causa mudanças dimensionais, assim como nas propriedades físicas e mecânicas.

### 3.5.1. Densidade básica

A densidade básica é a massa de qualquer volume de uma substância dividida pela massa de um mesmo volume de água. De acordo com HAYGREEN E BOWYER (1998), as propriedades mecânicas da madeira são diretamente relacionadas com a densidade básica, entretanto essas propriedades não são afetadas da mesma maneira. Devido à variação de densidade em diferentes posições do colmo do bambu, foi verificada esta diferença, assim como esta diferença entre diversas idades.

A densidade básica do *Phyllostachys pubescens* foi determinada segundo a Norma ASTM D 143-06 (Standard Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber – Method B, volume by water immersion) que é dada pela seguinte fórmula:

$$\rho = M_s / V_v \quad \text{Eq. 3.1}$$

Onde,  $\rho$  é a massa específica ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ),  $M_s$  é a massa seca (g) e  $V_v$  é o volume verde ( $\text{cm}^3$ ).

As amostras foram preparadas imediatamente após a coleta dos colmos, onde foram cortados discos conforme cada posição, como mostra a Figura 3.13. Foram cortados 3 corpos de prova de cada disco (a cada  $120^\circ$ ) com dimensões de aproximadamente 2 cm de largura por 4cm de comprimento. Os corpos-de-prova

foram lixados até remover a casca externa e a parte interna deixando as duas faces lisas. O volume dos corpos de prova foi medido pelo método de imersão na água, onde um Becker com água foi colocado sob uma balança e o corpo-de-prova foi mergulhado por inteiro e feita a medição do peso do volume deslocado. Após esta etapa os corpos-de-prova são acondicionados em uma câmara de secagem por 48 horas. Posteriormente, os corpos-de-prova foram pesados novamente. Com isso foi determinada a densidade básica.



Figura 3.13 – Anéis de bambu e corpos-de-prova (Fotos do autor)

### 3.5.2. Teor de umidade

O teor de umidade foi determinado segundo a norma ASTM D 143-06 (Standard Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber), que é dado pela seguinte fórmula:

$$Tu = ((Ps - Pu) / Ps) \times 100 \quad \text{Eq. 3.2}$$

Onde Tu é o teor de umidade em %, Ps é o peso seco em gramas e Pu é o peso úmido também em gramas.

Primeiramente, foi determinada a massa inicial do corpo-de-prova no estado saturado (verde) com uma precisão de  $\pm 0,2$  g. Posteriormente, os corpos-de-prova foram colocados em uma estufa a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  por 48 horas e determinada a massa do corpo-de-prova seco. Com isso foi determinado o teor de umidade dos corpos-de-

prova baseado na equação 3.2. Na Figura 3.14 é visualizada a estufa para a secagem dos corpos-de-prova.



Figura 3.14 - Estufa para obtenção do teor de umidade (Foto do autor)

### 3.5.3. Estabilidade dimensional

A estabilidade dimensional foi estudada para determinar as alterações dimensionais das lâminas de bambu. De acordo com a norma COPANT 30: 1-005 (1972), a determinação do grau de estabilidade dimensional é caracterizada através da contração das amostras. Estas propriedades são analisadas em 3 direções preferenciais: axial, radial e tangencial, denominadas 1, 2 e 3, respectivamente.

As deformações específicas de contração ( $\beta$ ) são consideradas como índices de estabilidade dimensional e são determinadas nas direções preferenciais, considerando-se a amostra saturada (verde) e seca (anidra). Os referidos índices são calculados pela porcentagem da razão entre a diferença da dimensão da amostra saturada e seca pela dimensão saturada (contração).

A variação volumétrica é calculada pela porcentagem da razão entre a diferença do volume da amostra saturada e seca pelo volume na condição saturada (retração) e anidra (inchamento). O índice de anisotropia é calculado pela razão entre a contração tangencial e a contração radial. As equações são demonstradas a seguir:

Contração axial       $\beta_{c1} = [(L_{1sat} - L_{1sec}) / L_{1sec}] \times 100$       Eq. 3.3

Contração radial       $\beta_{c2} = [(L_{2sat} - L_{2sec}) / L_{2sec}] \times 100$       Eq. 3.4

Contração tangencial       $\beta_{c3} = [(L_{3sat} - L_{3sec}) / L_{3sec}] \times 100$       Eq. 3.5

Contração volumétrica       $\beta_{cv} = [(V_{3sat} - V_{3sec}) / V_{3sec}] \times 100$       Eq. 3.6

Índice de anisotropia       $\beta_{ca} = \beta_{c3} / \beta_{c2}$       Eq. 3.7

As amostras para este ensaio foram confeccionadas com dimensões de (5 x 5 x 20) mm sendo espessura, largura e comprimento respectivamente.

Para o estudo da retratibilidade, o corpo-de-prova deve conter umidade acima do ponto de saturação das fibras, sendo reumidificado, se necessário. Para isso, o corpo-de-prova deve ser colocado em um ambiente saturado, com temperatura de 20 °C ±5 °C, até que a variação dimensional se estabilize em torno da diferença de 0,02 mm entre duas medidas sucessivas. Para o estudo da contração, os corpos-de-prova devem estar secos. Para a secagem, deve-se colocar o corpo-de-prova na câmara de secagem, com temperatura máxima de 103 °C. Os corpos-de-prova que apresentarem defeitos de secagem devem ser descartados.

As distâncias entre os lados dos corpos-de-prova devem ser determinadas durante os processos de secagem e reumidificação, com precisão de 0,01 mm. As distâncias devem ser determinadas com, pelo menos, três medidas em cada lado dos corpos-de-prova, e os resultados da variabilidade dimensional dos corpos-de-prova de bambu laminado, determinados de forma idêntica àquela descrita anteriormente.

### 3.6. ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS

As propriedades mecânicas de um material determinam seu comportamento quando submetido a um esforço mecânico. Essas propriedades incluem módulo de elasticidade, ductibilidade, dureza e várias medidas de resistência. São importantes, pois definem a função e o desempenho de um produto, e isto depende da

capacidade de resistir as deformações sobre um esforço encontrado em serviço (GROOVER, 2002).

Sabendo-se que o bambu laminado pode ser utilizado em muitas situações no qual esta sujeito as solicitações mecânicas, tais como: elemento de piso, cabos, estruturas, etc, é necessário que se conheça suas propriedades mecânicas a fim de analisar o seu uso potencial.

O bambu é um material anisotrópico, possui diferentes características nos três diferentes sentidos, longitudinal, radial, e tangencial. A Figura 2.20 do capítulo anterior, ilustra as três direções ortogonais do bambu.

O módulo de elasticidade é a medida de rigidez do material; quanto maior o módulo, menor será a deformação elástica resultante da aplicação de uma tensão mais rígido será o material. No caso da Figura 3.15, o material A é mais rígido que o material B, porque  $MOE_A > MOE_B$ , devido à deformação,  $\epsilon_A$ , ser menor que a deformação,  $\epsilon_B$ , para a mesma tensão.

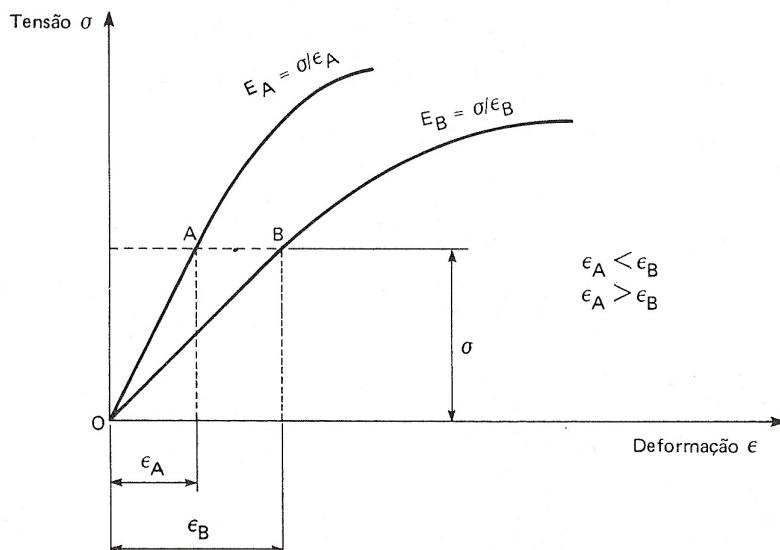


Figura 3.15 - Avaliação de rigidez entre dois materiais (SOUZA, 1982)

Segundo SOUZA (1982), o módulo de elasticidade é determinado pelas forças de ligação entre os átomos de um material. A medida de E é feita pela tangente da reta característica da zona elástica, traçando-se a curva tensão-deformação na zona

elástica com a maior precisão possível em corpos de prova feitos conforme os métodos de ensaio das normas. Caso essa reta seja muito pequena (limite de proporcionalidade baixo), ou mesmo inexistente na prática, pode-se medir E pela tangente da reta que é tangente à curva no ponto O da origem ou num ponto B especificado da curva ou ainda pela tangente da reta que é secante à curva, que vai do ponto O até um ponto A, especificado da curva conforme Figura 3.15 (SOUZA, 1982).

Devido à forma geométrica dos colmos de bambu, os corpos-de-prova para os ensaios mecânicos foram fabricados em formas reduzidas das estipuladas pela norma ASTM D143-96 (*Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber*), seguindo as proporções mantidas por AHAMAD (2000). Previamente aos ensaios os corpos-de-prova foram acondicionados em câmara climática com temperatura de  $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa de 65% por três semanas.

### 3.6.1. Ensaio de Flexão

Basicamente, o ensaio para a determinação da resistência à flexão consiste na aplicação de uma carga a um corpo-de-prova que repousa sobre dois apoios, na metade de seu comprimento, para causar tensões e deformações mensuráveis, até sua ruptura, conforme Figura 3.16.



Figura 3.16 - Dispositivo utilizado para o ensaio de flexão estática (Foto do autor)

A tensão no limite proporcional ( $\sigma_{LP}$ ) foi calculada com a utilização da carga relacionada a este ponto, segundo a seguinte fórmula:

$$\sigma_{LP} = 3/2 \cdot P_{LP} \cdot L / I \cdot e \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad \text{Eq. 3.8}$$

$P_{LP}$  = carga em quilogramas-força, correspondente ao limite proporcional (kgf);

$L$  = distância entre apoios (cm); e

$I, e$  = largura e espessura do corpo-de-prova, respectivamente (cm).

No cálculo do módulo de elasticidade à flexão estática, da mesma forma, empregam-se os valores da carga aplicada e da deformação, relacionadas ao limite proporcional pela fórmula abaixo:

$$MOE = 1/4 \cdot P_{LP} \cdot L / d_{LP} \cdot I \cdot e^3 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad \text{Eq. 3.9}$$

onde:

$P_{LP}$  = carga em quilogramas-força, correspondente ao limite proporcional; e

$d_{LP}$  = deformação do corpo-de-prova em centímetros, observada quando o limite proporcional é atingido.

As dimensões dos corpos de prova foram de (4 x 16 x 64) mm com um vão entre os apoios de 56 mm. A velocidade do ensaio foi de 2 mm/min. O equipamento utilizado foi a EMIC 30 do Laboratório de Tecnologia da Madeira da UFPR. Devido a dimensão dos corpos de prova, a deformação foi registrada por meio do deslocamento do cabeçote do equipamento.

### 3.6.2. Ensaio de compressão

O ensaio de compressão consistiu na aplicação de uma carga no sentido das fibras do bambu, com velocidade controlada, até a sua ruptura. Da mesma forma que para a determinação da flexão estática, na avaliação da compressão axial é

usual a determinação do módulo de elasticidade. Para a determinação do módulo de elasticidade e da resistência máxima à compressão axial, ou compressão paralela às fibras, utiliza-se da tabela carga-deformação ou do gráfico confeccionado com estes valores para a determinação do limite de proporcionalidade, da deformação e da carga aplicada correspondentes, como já apresentado para a determinação do módulo de elasticidade para a propriedade de flexão estática. Devido às dimensões dos corpos-de-prova, a deformação também foi registrada por meio do deslocamento do cabeçote do equipamento EMIC 30, mostrado a seguir na Figura 3.17.

Os valores de carga e de deformação no limite de proporcionalidade foram então, empregados na fórmula a seguir:

$$\text{MOE} = P_{LP} \cdot a / l \cdot e \cdot d_{LP} \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \quad \text{Eq. 3.10}$$

onde:

$P_{LP}$  = carga no limite proporcional (kgf);

$a$  = Altura do corpo de prova (cm);

$l$  = Largura do corpo de prova (cm);

$e$  = Espessura do corpo de prova (cm);

$d_{LP}$  = deformação da madeira no limite proporcional (cm).

A tensão máxima à compressão ( $\sigma_{máx}$ ) é calculada pela fórmula apresentada a seguir:

$$\sigma_{máx} = P_{máx} / A \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \quad \text{Eq. 3.11}$$

onde:

$P_{máx}$  = carga máxima resistida pelo corpo-de-prova (kgf) e;

$A$  = área do corpo-de-prova submetida ao esforço ( $\text{cm}^2$ ).

Devido ao formato geométrico das lâminas de bambu, os corpos de prova para o ensaio de compressão foram confeccionados por meio da colagem de lâminas para se obter uma seção quadrangular. Sendo assim, as dimensões dos corpos de prova foram de (14 x 14 x 42)mm. A espessura de cada lâmina foi de 5,4mm e 3,5 mm para base, meio e topo respectivamente. A velocidade de ensaio foi de 0,126 mm/min. O equipamento utilizado foi a EMIC 30 do Laboratório de Tecnologia da Madeira da UFPR, como mostrado na Figura 3.17.



Figura 3.17 - Dispositivo utilizado para o ensaio de compressão (Foto do autor)

### 3.6.3. Ensaio de tração

Segundo LIMAYE (1952), o valor da resistência à tração não pode ser utilizado no trabalho prático, porque o bambu rompe por cisalhamento antes da tensão total ser aplicada. Por isso, é recomendado o módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) na flexão estática para representar uma estimativa confiável da resistência à tração.

Normalmente, a resistência da madeira à tração não é muito empregada em pesquisas tecnológicas, devido à complexidade de sua determinação. Sua importância e significância são bem menores que as outras propriedades de resistência, uma vez que a tração determinada em corpos-de-prova, livres de defeitos, praticamente não é correlacionada com a tração real, de peças dimensionadas para uso normal.

A resistência à tração normal do bambu laminado é dada pelo cálculo obtido pela máxima tensão de tração, que pode atuar em um corpo-de-prova alongado, com trecho central de seção transversal uniforme de área. As extremidades devem ser mais resistentes do que o trecho central e com concordâncias que garantam a ruptura no trecho central.

Após a fixação do corpo-de-prova na máquina de ensaios Figura 3.18, foi aplicada uma carga de forma contínua, com deslocamento das garras na velocidade de 1 mm/minuto, até ocorrer a sua ruptura, para a determinação da carga máxima ( $P_{\text{Max}}$ )

Utilizando-se dos valores obtidos por meio do ensaio, a resistência à tração axial e o módulo de elasticidade, respectivamente, serão assim calculados:

$$\mathbf{MOR = P_{max} / A \text{ (kg/cm}^2\text{)}} \quad \text{Eq. 3.12}$$

onde:

**MOR** = resistência à tração axial máxima (kgf/cm<sup>2</sup>);

**P<sub>max</sub>** = carga aplicada no momento da ruptura (kgf);

**A** = área da seção transversal do corpo-de-prova rompida no ensaio (cm<sup>2</sup>) e;



Figura 3.18 - Dispositivo utilizado para o ensaio de Tração (Foto do autor)

### 3.6.4. Ensaio de abrasão

Dentre as normas que descrevem métodos de ensaios de resistências ao desgaste abrasivo, pode se citar a ASTM C501-84 e a ASTM D4060-95 como as mais empregadas (KOGA, 2001). A norma ASTM C501-84 (Método de teste padrão para a resistência ao desgaste em pisos de cerâmica pela “*Taber Abraser*”), está sendo utilizada pela “*Bamboo Flooring Internacional*”, empresa localizada nos EUA, e que trabalha há mais de 30 anos com pisos de *plywood*, e há 10 anos com pisos de bambu laminado, manufaturado na Ásia. Essa norma foi adaptada para ser utilizada no substrato de madeira e bambu, com proteção superficial de alta resistência.

No Brasil, a norma mais utilizada para ensaios de desgaste abrasivo é a ASTM D4060-95. Este método é utilizado na empresa Novo Piso, localizada em Cruzeiro – SP, e também pelo Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo S/A – IPT.

Neste trabalho foi usada a norma ASTM D4060/95 (Método de teste padrão para resistência abrasiva em camadas orgânicas por “*Taber Abraser*”) para possibilitar a posterior comparação de dados com KOGA et al. (2002). Este ensaio simula o arraste de um objeto qualquer com uma certa massa sob a amostra, ou seja, determina a resistência da superfície à abrasão produzida pela máquina “*Taber Abraser*” (Figura 3.19), para um número específico de ciclos. Este teste foi realizado na empresa Triângulo, localizada em Curitiba.



Figura 3.19 - Equipamento “Taber Abraser” (Foto do autor).

Os corpos de prova foram confeccionados da seguinte forma:

- corte das lâminas com comprimento de 100 mm.
- colagem lateral das lâminas, formando uma placa de 100 x100 mm;
- colagem da placa sobre um compensado, espessura final de 8 mm,
- lixamento para remoção da cola e acabamento final,
- furo de 6 mm no centro do corpo de prova
- acondicionamento das amostras.

A realização do ensaio foi realizada da seguinte forma:

- a) O equipamento foi montado com uma carga de 1000 g e com a roda abrasiva H-18 (indicada pelo fabricante do aparelho). Adotou-se esse abrasivo para provocar maior desgaste a ser mensurado, visto que é similar ao desgaste a que um piso pode ser submetido, seguindo a metodologia adotada por KOGA (2002).
- b) A massa dos corpos-de-prova foi determinada em uma balança com precisão de 0,001 g, antes do início do ensaio, para obter a massa inicial.
- c) Foram medidas, com um micrômetro, as espessuras dos corpos de prova ao longo do caminho a ser desgastado, em quatro posições, sendo duas na direção das fibras (1 e 3) e duas no sentido perpendicular às fibras, conforme Figura 3.20.

- d) Executou-se o ensaio de abrasão após montagem do equipamento, adotando o número de 100 ciclos para cada fase até chegar a 1000 ciclos.
- e) Para cada 100 ciclos tirou-se a amostra, removendo com um pincel as partículas soltas que permaneceram na amostra. Em seguida, determinou-se a massa novamente a amostra. Repetiu-se esse procedimento dez vezes, até completar 1000 ciclos.
- f) Após o término da massa das amostras do último ciclo fez-se a medição, com um micrômetro, da espessura final da amostra na trilha desgastada nas posições previamente medidas.

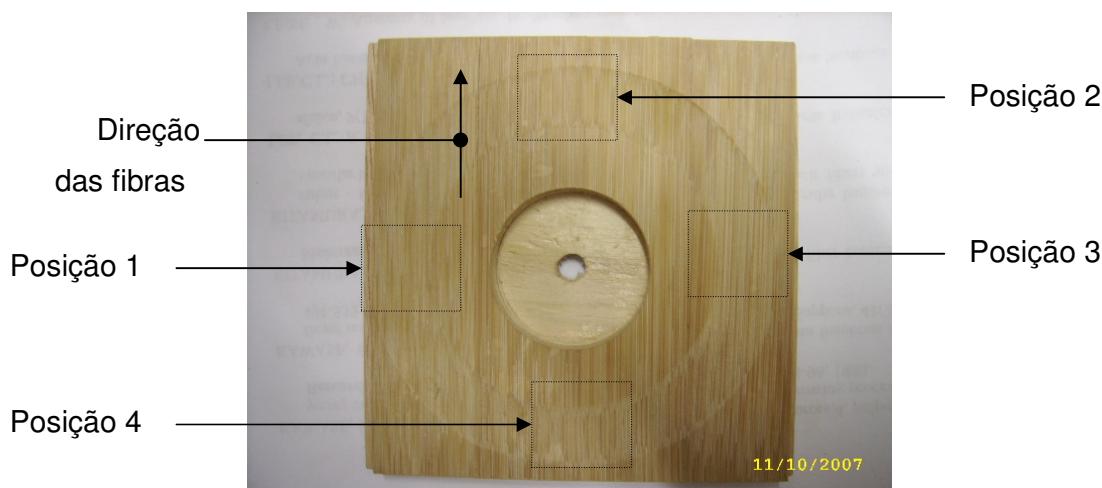


Figura 3.20 – Corpo-de-prova do ensaio de desgaste abrasivo (Foto do autor).

### 3.6.5. Ensaio de Dureza

Devido a impossibilidade de confeccionar um corpo de prova pelo método de “Janka”, descrito na norma ASTM D143 – (*Standard Methods of Testing Small Clear Specimens of Timber*) no qual se determina a resistência à penetração de uma semi-esfera de aço, com área diametral de 1 cm<sup>2</sup> em uma das faces de um corpo-de-prova prismático de seção quadrada de 5 cm na face de ensaio e altura de 15 cm, foi empregado o método Brinell. O método Brinell utiliza uma esfera de aço

endurecido com um diâmetro de 5 mm, que é forçada a penetrar no corpo-de-prova mediante uma pressão predeterminada.

Na realização do ensaio a carga total foi aplicada de forma contínua, dentro de um período de tempo de 15 segundos. Subseqüentemente a carga máxima foi mantida por 30 segundos.

Após a execução do ensaio, determina-se a área da cavidade deixada pela esfera na superfície do corpo de prova, com a utilização da seguinte fórmula

$$HB = \frac{2P}{\pi \cdot D} \left( D - \sqrt{D^2 - d^2} \right) (\text{kgf/mm}^2) \quad \text{Eq. 3.13}$$

Onde:

$HB$  = a dureza Brinell ( $\text{kgf/mm}^2$ );

$P$  = Carga aplicada no ensaio ( $\text{kgf}$ )

$D_e$  = Diâmetro da esfera (mm);

$D_i$  = Diâmetro da impressão no corpo de prova

Este ensaio foi realizado no Laboratório de Ciências dos Materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) com o equipamento Brinell test machine, conforme figura 3.21.



Figura 3.21 - Equipamento para o teste Brinell (Foto do autor).

A carga utilizada foi de 32,25 Kgf, para a medição dos valores do diâmetro das cavidades produzidas pelo ensaio, foi utilizada uma peça cilíndrica revestida com papel carbono, para cercar a impressão. Para medir os diâmetros das impressões foi usado um Microscópio tridimensional, com resolução de 0,005 mm, marca SIP (Figura 3.22), pois não foi possível usar diretamente a escala do projetor existente no equipamento para avaliar os perfis das impressões produzidas nos corpos de prova.

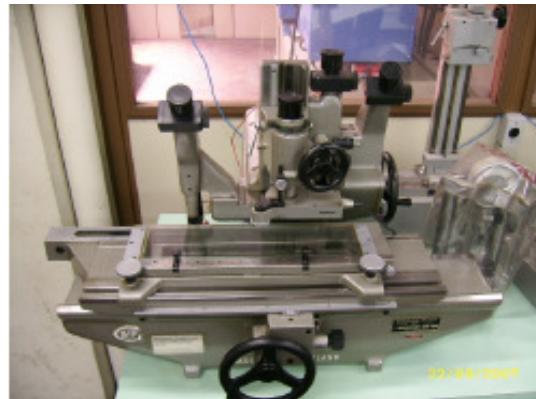


Figura 3.22 - Microscópio tridimensional (Foto do autor).

### 3.7. ANÁLISE DOS RESULTADOS

As variáveis estudadas foram analisadas estatisticamente através da análise de variância (ANOVA). Através do teste inteiramente casualizado em fatorial 2x2, com dois fatores: idade e posição. Em todas as variáveis analisadas que apresentaram diferenças estatísticas significativas foi aplicado o teste de comparação de médias pelo método de TUKEY a 95% de probabilidade. Na Tabela 3.1, pode-se observar os fatores, com seus diferentes níveis de intensidade analisados, com observações sugeridas por SHI et al. (2007).

Tabela 3.1 - Fatores e níveis adotados na análise estatística dos resultados

Fatores	Níveis	Observações
A - IDADE	$a_0$	1 Ano
	$a_1$	3 Anos
	$a_2$	5 Anos
B - POSIÇÃO	$b_0$	Base
	$b_1$	Meio
	$b_2$	Topo

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. DESENVOLVIMENTO DA MÁQUINA

A utilização da máquina apresentou-se satisfatória no que diz respeito a sua funcionalidade, pois possibilitou a confecção das lâminas de uma maneira eficaz e segura. Tratando-se de uma produção em grande escala poderiam ser colocados atuadores pneumáticos para a movimentação do carro onde o bambu é fixado evitando lesões do operador por esforços repetitivos. Um mecanismo pneumático para o giro automático do bambu já foi desenvolvido para reduzir o tempo da operação entre um corte e outro.

O processo de fabricação da máquina foi realizado no software CAD 3D, o que possibilitou uma simulação detalhada evitando-se problemas de funcionamento e fabricação. O projeto desta máquina foi patenteado para garantir direitos do autor.

### 4.2. ANÁLISE DAS PROPRIEDADES ANATÔMICAS

A análise das propriedades anatômicas possibilitou a visualização dos feixes fibrovasculares conforme a Figura 4.1. Esta visualização possibilitou a comparação da forma geométrica dos feixes do bambu *Phyllostachys pubescens* com os quatro tipos de feixes. Pode-se observar que o *Phyllostachys pubescens* pertence ao grupo I, conforme descrito por CHUN (2003) na Figura 2.12.

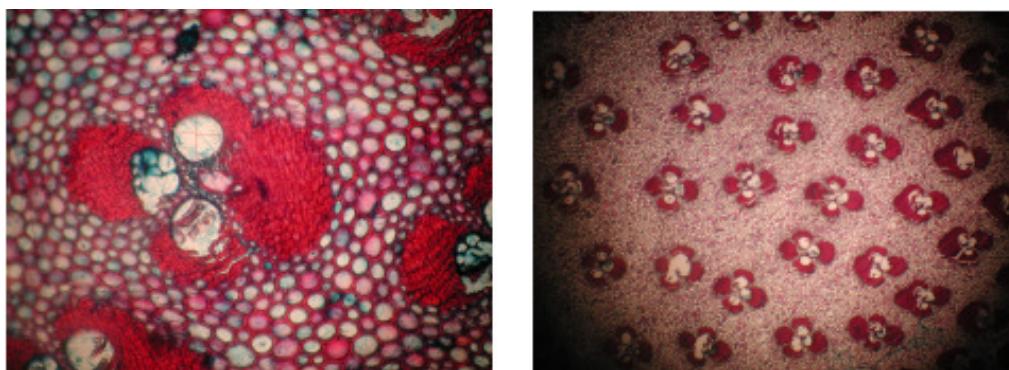


Figura 4.1- Imagem dos feixes fibrovasculares 140 X e 40 X, respectivamente.  
(Fotos do autor)

#### 4.2.1. Diâmetro dos vasos

As médias das medições do diâmetro dos vasos (xilema e floema) da parte interna e externa da parede dos colmos da base, do meio e do topo de um, três e cinco anos são apresentadas na Figura 4.2.

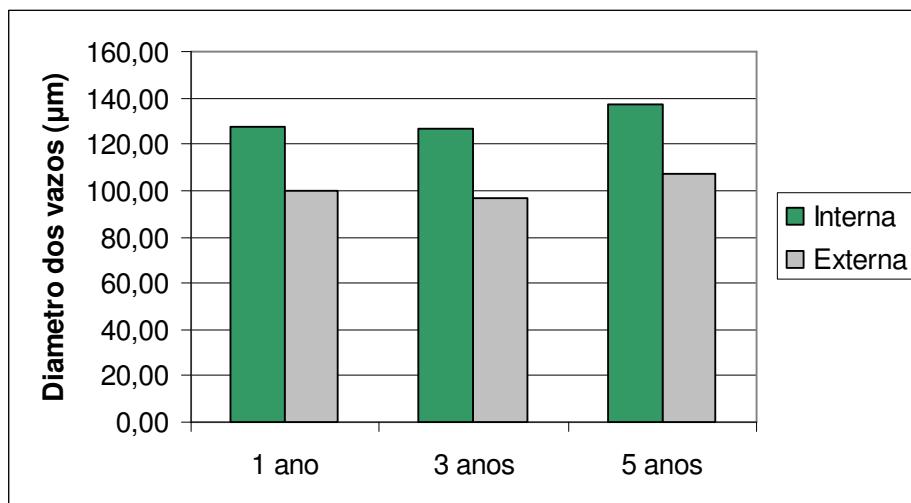


Figura 4.2 - Variação do diâmetro dos vasos entre parte interna e externa

Com base na Figura 4.2, pode-se observar que o diâmetro dos vasos diminui da parte interna para a externa. Na comparação das médias, houve um aumento significativo estatisticamente entre a parte interna e a externa dos corpos-de-prova. O diâmetro máximo encontrado foi de 137,16 µm na parte interna de cinco anos e o diâmetro mínimo foi de 96,86 µm na parte externa dos colmos de três anos de idade.

O aumento dos vasos da parte externa para a interna conferem uma menor densidade na parte interna da parede dos colmos. Outro fator que é influenciado pela diferença do diâmetro dos vasos e com relação à colagem das lâminas uma nas outras, no caso da confecção de painéis de bambu laminado colado, pois quanto maior o diâmetro dos vasos, maior é a aderência da cola. Portanto, uma mesma quantidade de cola aplicada na lateral das lâminas terá sua colagem mais eficiente no lado onde se encontra a parte externa da parede das lâminas.

Na Figura 4.3 é apresentada à variação do diâmetro dos vasos entre a base, meio e o topo para os colmos de um, três e cinco anos.

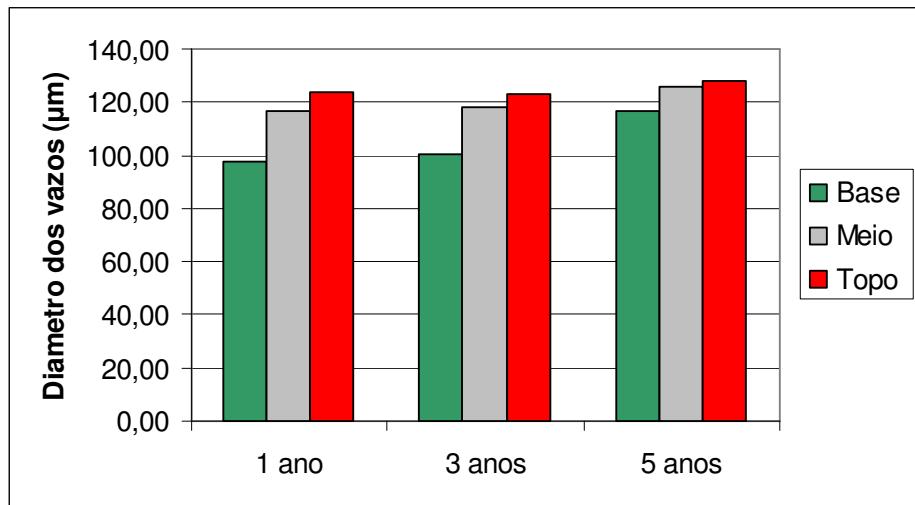


Figura 4.3 - Variação do diâmetro dos vasos

Com base na tabela ANOVA (Apêndice D) houve uma diferença significativa entre as idades e entre as posições. A interação foi significativa estatisticamente ao nível de 5%. Entre as idades houve um aumento significativo do diâmetro dos vasos nos colmos de um ano para os colmos de cinco anos, porém não houve diferença significativa estatisticamente entre os colmos de um e de três anos. Com relação às posições houve um aumento significativo do diâmetro dos vasos da base para o topo

Na Tabela 4.1 são apresentadas as médias das posições para cada idade.

Tabela 4.1 - Média do diâmetro dos vasos entre as idades

	1 Ano	3 Anos	5 Anos
Média (μm)	116,68	117,73	126,03
Desvio Padrão (μm)	21,81	20,89	27,41
Coeficiente de Variação (%)	20,32	17,02	21,40

Isso demonstra que houve uma tendência ao aumento do diâmetro dos vasos com o aumento da posição do colmo, porém as médias entre as idades demonstram que não houve uma variação entre as idades, não havendo variação no diâmetro dos vasos no decorrer dos anos.

#### 4.2.2. Concentração dos feixes fibrovasculares

Na Figura 4.4, são apresentadas as médias da concentração de feixes fibrovasculares entre a parte interna e externa da parede dos colmos para as três idades.

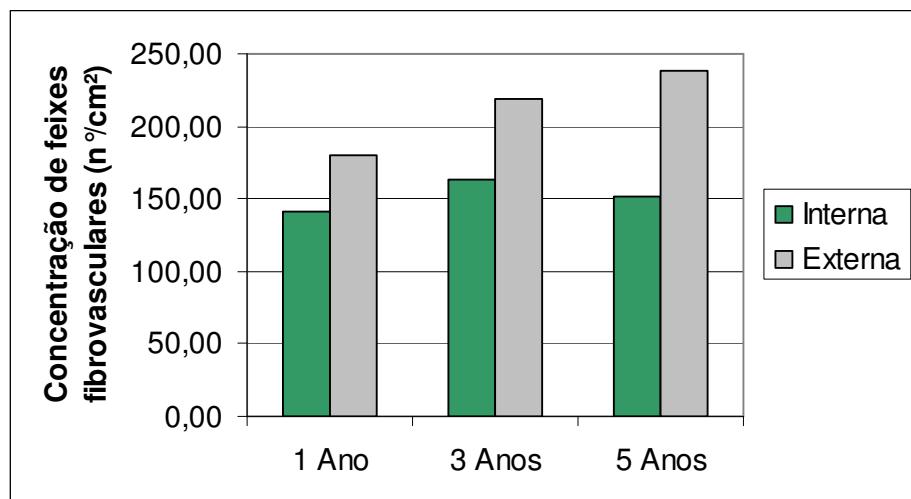


Figura 4.4 - Variação da concentração de feixes fibrovasculares entre a parte interna e externa da parede dos colmos

Na Figura 4.4, observa-se que na parte externa a concentração média dos feixes fibrovasculares é maior que na parte interna das paredes dos colmos. O valor médio máximo encontrado foi de 237,93 feixes por  $\text{cm}^2$  na parte externa dos colmos de cinco anos e o valor médio de 141,04 na parte interna dos colmos de um ano.

Estes dados justificam a diferença de densidade da parte interna com relação a externa, pois devido a alta densidade das fibras, quanto maior a concentração de feixes fibrovasculares maior a densidade do material. Além disso na parte externa, onde possui maior concentração de feixes fibrovasculares, além de possuir também vasos com menor diâmetro (como visto no item anterior), conferindo ainda mais uma elevada densidade.

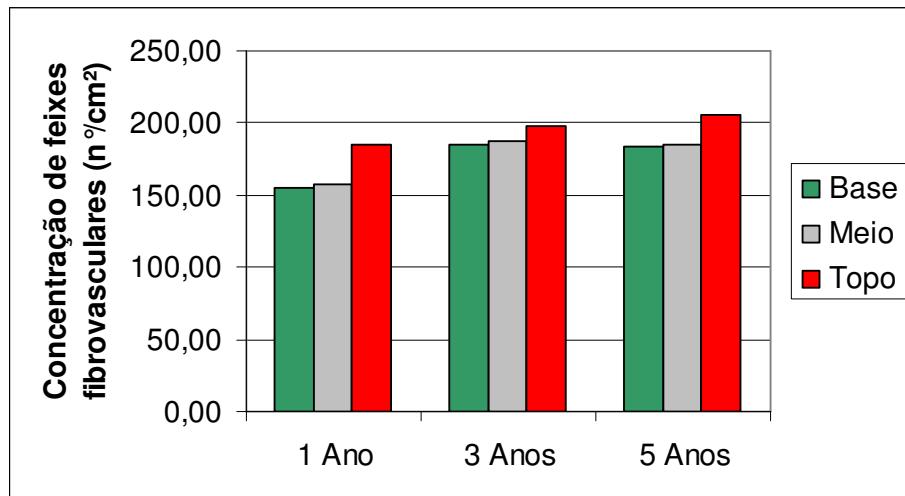


Figura 4.5 - Variação da concentração de feixes fibrovasculares entre base, meio e topo da parede dos colmos.

Na Figura 4.5, observa-se que no topo dos colmos a concentração dos feixes fibrovasculares é superior a base e ao meio. O valor máximo encontrado foi de 205,98 feixes por cm<sup>2</sup> no topo dos colmos de cinco anos e o valor mínimo foi de 155,37 feixes por cm<sup>2</sup>. Nos estudos realizados por CHUN (2003) foram encontrados valores de 168, 216, 252 feixes por cm<sup>2</sup> para base, meio e topo, respectivamente, nos colmos de cinco anos. Estes valores apresentaram uma variação maior aos encontrados neste estudo que foram de 183, 184 e 205

Com base na tabela ANOVA (Apêndice E) houve uma diferença significativa entre as idades e entre as posições, porém a interação não foi significativa estatisticamente ao nível de 5%. Entre as idades houve uma diferença estatística da concentração dos feixes entre os colmos de um e cinco anos e entre os colmos de um e três anos, porém não houve diferença significativa estatisticamente entre os colmos de três e cinco anos. Com relação às posições houve uma tendência no aumento da concentração dos feixes da base para o topo, porém esta diferença não foi estatisticamente significante.

Na Tabela 4.2, são apresentadas as médias da concentração dos feixes fibrovasculares das paredes dos colmos de cada idade.

Tabela 4.2 - Média da concentração dos feixes fibrovasculares de cada idades

	<b>1 Ano</b>	<b>3 Anos</b>	<b>5 Anos</b>
<b>Média (n °/cm²)</b>	162,63	190,99	192,42
<b>Desvio Padrão (n °/cm²)</b>	28,97	8,35	20,12
<b>Coeficiente de variação (%)</b>	17,82	4,37	10,46

Assim como mostrado no item 2.5, a quantidade de feixes fibrovasculares é a mesma da base para o topo, porém como o diâmetro e a espessura da parede dos colmos diminuem com o aumento da altura isso faz com que a concentração dos feixes aumenta quanto maior a altura. Pode-se observar na Tabela 4.2 que não houve uma tendência no aumento da concentração nos colmos de três a cinco anos, porém houve com relação às colmos de um ano. Isso pode ser devido à diferença do diâmetro dos colmos. Outro fator que pode influenciar são as condições climáticas de cada ano.

Como a concentração dos feixes influência diretamente a densidade isto afeta diretamente outras propriedades físicas e mecânicas.

### 4.3. ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS

#### 4.3.1. Densidade básica

Na Figura 4.6, pode-se observar os valores médios da densidade básica entre as três idades e entre as três posições.

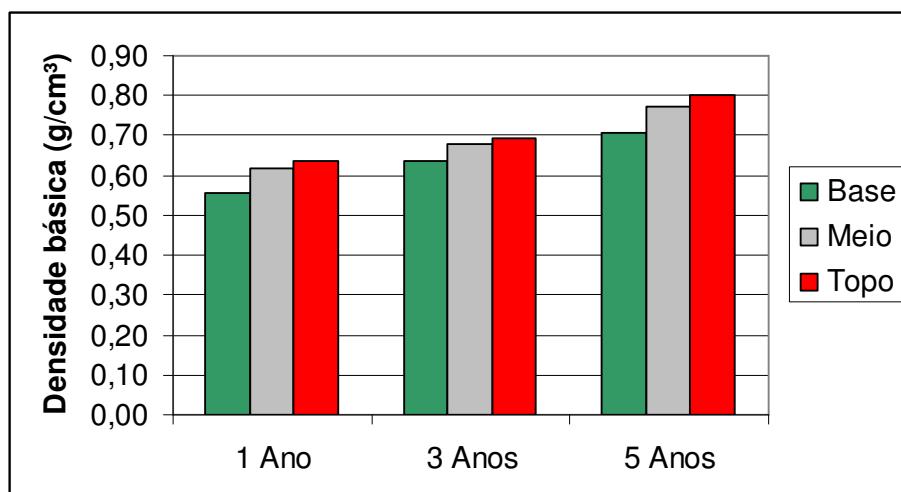


Figura 4.6 - Variação da densidade básica (T.U. 0%)

Na Figura 4.6, observa-se o aumento da densidade básica da base para o topo e com o aumento da idade. A menor densidade básica encontrada foi de 0,55 g/cm<sup>3</sup> na base dos colmos de um ano e a máxima foi de 0,8 g/cm<sup>3</sup> no topo dos colmos de cinco anos. Os resultados encontrados foram superiores aos encontrados por LI (2004), onde o valor mínimo encontrado foi de 0,41 g/cm<sup>3</sup> na base de um ano e o valor máximo de 0,69 g/cm<sup>3</sup> no meio dos colmos de cinco anos.

Com base na tabela ANOVA (Apêndice G) houve uma diferença significativa entre as idades e entre as posições, porém a interação não foi significativa estatisticamente em nível de 5%. Entre as idades houve um aumento significativo da densidade básica dos colmos de um ano para os colmos de três e para os colmos de cinco anos. Com relação às posições houve um aumento significativo da base para o topo, porém não houve uma diferença significativa com relação ao meio para o topo.

Como já foi mostrado no item 2.6, o aumento da densidade conforme o passar dos anos é provocado pelo aumento da espessura da parede das células das fibras e conseqüente diminuição do lúmen. Com relação ao aumento da densidade ao longo dos colmos foi visto, no item anterior, que o número de feixes fibrovasculares são os mesmos na base para o topo, porém devido à diminuição da espessura da parede do colmo e a diminuição do diâmetro ao longo do colmo, a concentração dos feixes fibrovasculares aumenta da base para o topo, conferindo uma maior densidade no topo.

A Tabela 4.3 apresenta as médias da densidade básica de cada idade.

Tabela 4.3 - Médias da densidade básica de cada idade.

	1 Ano	3 Anos	5 Anos
<b>Média (g/cm<sup>3</sup>)</b>	0,60	0,67	0,76
<b>Desvio Padrão (g/cm<sup>3</sup>)</b>	0,06	0,07	0,07
<b>Coeficiente de Variação (%)</b>	10,16	10,01	9,03

Observa-se na Tabela 4.3 que o valor médio encontrado para a densidade básica dos colmos de um, três e cinco anos foi de 0,60 g/cm<sup>3</sup>, 0,67 g/cm<sup>3</sup> e 0,76 g/cm<sup>3</sup> respectivamente. Estes valores foram superiores aos encontrados por CHUN

(2003), onde os valores encontrados foram de 0,42 g/cm<sup>3</sup> para colmos de 1 ano, 0,61 g/cm<sup>3</sup> para colmos de 3 anos e 0,62 g/cm<sup>3</sup> para colmos de 5 anos.

LI (2004) encontrou valores inferiores (0,42 g/cm<sup>3</sup> para 1 ano, 0,66 g/cm<sup>3</sup> para 3 anos e 0,68 g/cm<sup>3</sup> para 5 anos) para a mesma espécie, sendo que o teor de umidade foi de 12%. Estas variações estão provavelmente correlacionadas com as variações edafo-climáticas (variações de temperatura, precipitação pluviométrica, umidade relativa, devido à posição geográfica)

Comparando os valores com a espécie *Dendrocalamus giganteus* os valores situarem-se na mesma faixa, onde OLIVEIRA (2006) encontrou valores entre de 0,68 a 0,76 g/cm<sup>3</sup> para densidade aparente (determinada a 12% de teor de umidade). Estes valores estão próximos aos encontrados por RIVERO (2003), que situou na faixa de 0,58 a 0,79 g/cm<sup>3</sup> e GONÇALVES et al. (2002), da ordem de 0,57 a 0,75 g/cm<sup>3</sup>. Porém, foram inferiores aos obtidos por GHAVAMI (1992), que foi de 0,80 g/cm<sup>3</sup> e por RIVERO (2003) que foi na ordem de 0,88 g/cm<sup>3</sup>.para as taliscas usinadas.

A densidade média encontra neste estudo é similar à das madeiras chamadas de densidade média, cujos valores operacionais estão situados num intervalo de 0,5 a 0,75 g/cm<sup>3</sup>. Na Tabela 4.4 pode-se observar exemplos desta classe de madeiras brasileiras listadas por Manieri e Chimelo (1989).

Tabela 4.4 - Exemplos de classe de madeiras brasileiras.

açóita-cavalo	cangerana	grumixava	morototó
amapá	carvalho-brasileiro	guariúba	pinheiro do Paraná
andiroba	cedro	imbuia	quaruba
bracatinga	cedrorana	jacareúba	quarubarana
caju-açu	copaíba	louro-preto	tatajuba
canela-parda	fava-bolota	mandioqueira	tatapiririca
canela-sassafrás	freijó	mogno	tauari

#### 4.3.2. Teor de umidade

Os valores médios encontrados para o teor de umidade do bambu Moso (*Phyllostachys pubescens*) nas três idades e nas três posições são apresentados na Figura 4.7.

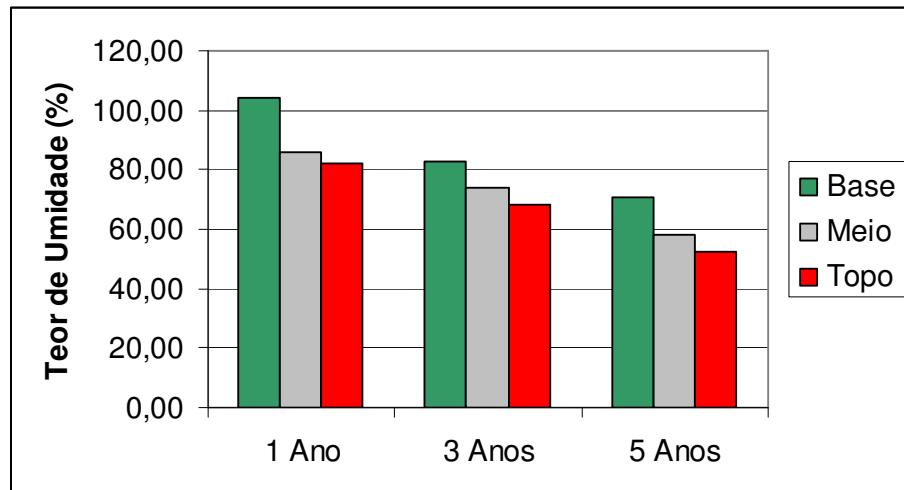


Figura 4.7 - Variação do teor de umidade para o bambu Moso

Através da Figura 4.7, observa-se que há uma tendência do teor de umidade diminuir com o aumento da idade e com a posição do colmo. O menor valor encontrado foi de 52,68% no topo dos colmos de 5 anos e a máxima de 104,06% na base dos colmos de 1 ano, valores próximos aos encontrados por LI (2004) que encontrou um teor de umidade médio de 100% no bambu Moso verde, 82% na parte superior e 110% na parte inferior.

Na Tabela 4.5 são apresentados os valores médios para cada idade

Tabela 4.5 - Médias do teor de umidade de cada idade para o bambu Moso

	1 Ano	3 Anos	5 Anos
Média (%)	90,71	75,15	60,40
Desvio Padrão (%)	15,89	14,63	12,54
Coeficiente de variação (%)	17,52	19,46	20,75

Através da Tabela 4.5, observa-se que os valores encontrados foram inferiores aos encontrados por CHUN (2003), onde encontrou-se valores de teor de umidade de 135% para um ano de idade, 91% de dois para três e de 82% para cinco anos.

Com base na tabela ANOVA (Apêndice H) houve uma diferença significativa entre as idades e entre as posições, porém a interação não foi significativa estatisticamente a nível de 5%. Entre as idades houve um aumento significativo do Teor de Umidade dos colmos de cinco anos para os colmos de três e para os colmos de um ano. Com relação às posições, houve um aumento significativo do topo para a base, porém não houve uma diferença significativa entre as do meio e as do topo.

A diminuição do teor de umidade provocada pelo aumento da idade deve-se provavelmente à diminuição do lúmen, que é uma consequência do aumento da parede das células das fibras; sendo assim, o espaço onde contém água é maior nos primeiros anos. Com relação à variação do teor de umidade ao longo dos colmos, isto ocorre devido à diminuição do tecido parenquimatoso provocado pela diminuição do diâmetro e da espessura das paredes dos colmos. O teor de umidade também é influenciado pelo solo, pelas condições climáticas, pela precipitação pluviométrica, pela densidade, etc, tendo assim variações conforme o local da colheita.

#### 4.3.3. Estabilidade dimensional

A Figura 4.8 apresenta os valores médios para a contração no sentido tangencial

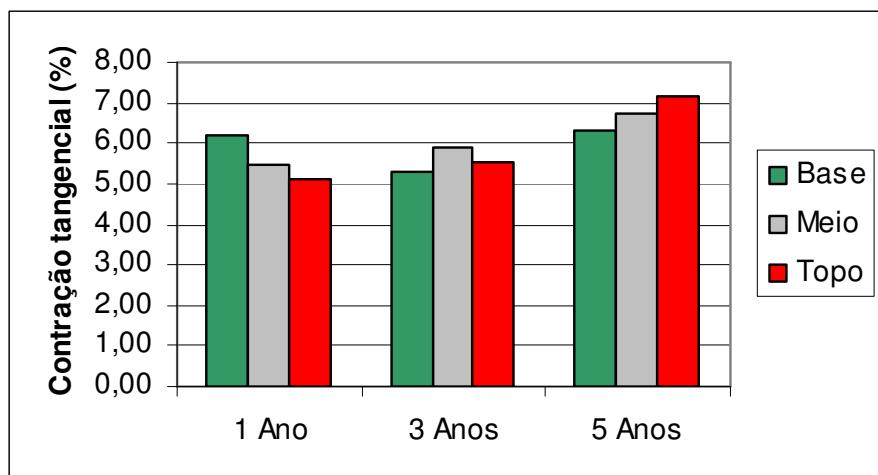


Figura 4.8 - Variação da contração tangencial entre base, meio e topo

Na Figura 4.8, verifica-se que o valor máximo encontrado foi de 7,15% no topo dos colmos de cinco anos e o valor mínimo encontrado foi de 5,09% no topo dos colmos de um ano.

Com base na Tabela ANOVA (Apêndice I) houve uma diferença significativa entre as idades, porém não houve entre as posições. A interação foi significativa estatisticamente a nível de 5%. Houve um aumento significativo da contração tangencial dos colmos de um e três anos para os colmos de cinco anos.

Tabela 4.6 - Médias da contração tangencial de cada idade

	<b>1 Ano</b>	<b>3 Anos</b>	<b>5 Anos</b>
<b>Média (%)</b>	5,56	5,60	6,78
<b>Desvio Padrão (%)</b>	0,65	1,03	1,20
<b>C.V (%)</b>	11,65	18,38	17,73

CHUN (2003) encontrou uma contração tangencial de 5,5% para a mesma espécie, 7,8% para a espécie *Dendrocalamus giganteus* e 4,7% para a espécie *Bambusa vulgaris*. GARBINO *et al.* (2004) encontraram valores de 6,11% a 11,78% para a espécie *Dendrocalamus giganteus*. ADB.LATIF *et al.* (1993) 6,4% a 20,1% para a espécie *Bambusa bluemeana*.

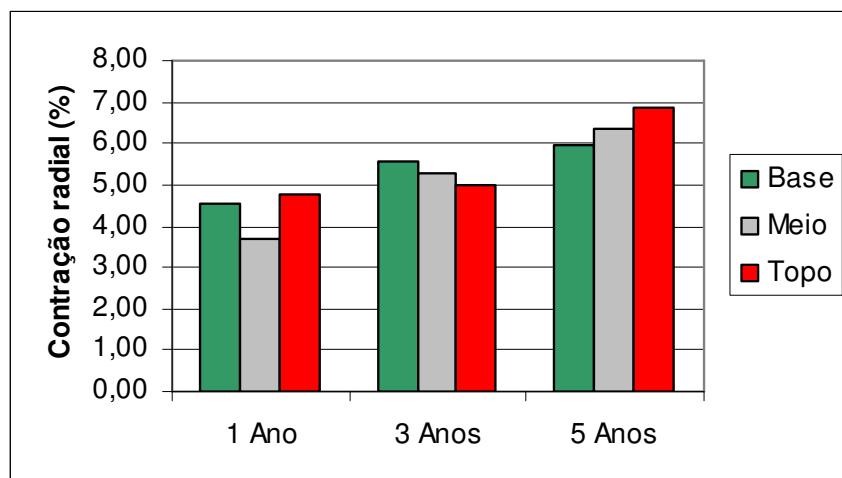


Figura 4.9 - Variação da contração radial entre base, meio e topo

Na Figura 4.9, vê-se que o valor máximo encontrado foi de 6,86% no topo dos colmos de cinco anos e o valor mínimo encontrado foi de 3,69 no meio dos colmos de um ano.

Com base na Tabela ANOVA (Apêndice I) houve uma diferença significativa entre as idades, porém não houve entre as posições. A interação foi significativa estatisticamente a nível de 5%. Houve um aumento significativo da contração radial dos colmos de um para os de três e dos de três anos para os colmos de cinco anos.

Tabela 4.7 - Médias da contração radial de cada idade

	1 Ano	3 Anos	5 Anos
<b>Média (%)</b>	4,25	5,28	6,41
<b>Desvio Padrão (%)</b>	0,76	1,01	1,08
<b>C.V (%)</b>	17,80	19,22	16,85

CHUN (2003) encontrou uma contração radial de 8,7% para a mesma espécie, 9,8% para a espécie *Dendrocalamus giganteus* e 5,0% para a espécie *Bambusa vulgaris*. GARBINO *et al.* (2004) encontrou valores de 7,11% a 11,44% para a espécie *Dendrocalamus giganteus*. ADB.LATIF *et al.* (1993) 5.4% a 9.5% para a espécie *Bambusa bluemeana*.

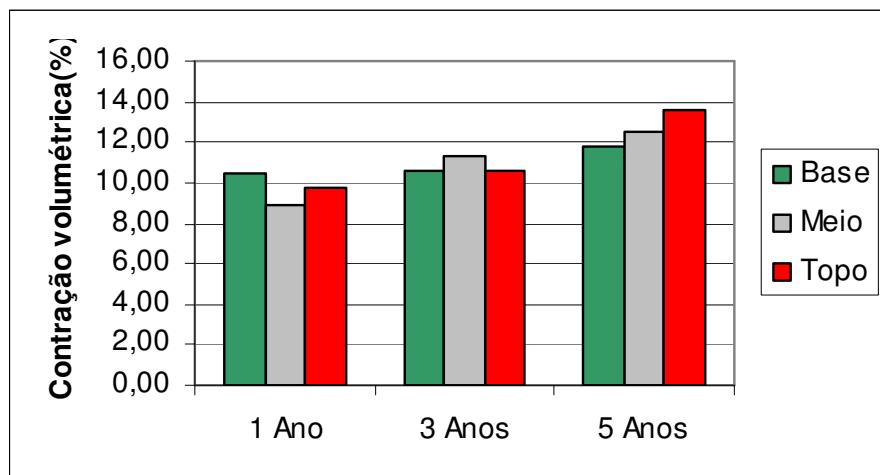


Figura 4.10 - Variação da contração volumétrica entre base, meio e topo

Na Figura 4.10, observa-se que o valor máximo encontrado foi de 13,63% no topo dos colmos de cinco anos e o valor mínimo encontrado foi de 8,85 no meio dos colmos de um ano.

Com base na tabela ANOVA (Apêndice I) houve uma diferença significativa entre as idades, porém não houve entre as posições. A interação foi significativa estatisticamente em nível de 5%. Houve um aumento significativo da contração volumétrica dos colmos de um para os de três e dos de três anos para os colmos de cinco anos.

Tabela 4.8 - Médias da contração volumétrica de cada idade

	1 Ano	3 Anos	5 Anos
Média (%)	9,70	10,77	12,70
Desvio Padrão (%)	1,07	1,76	1,71
C.V (%)	11,05	16,32	13,49

CHUN (2003) encontrou uma contração radial de 14,7% para a mesma espécie, 19,7% para a espécie *Dendrocalamus giganteus* e 10,2% para a espécie *Bambusa vulgaris*. GARBINO *et al.* (2004) encontrou valores de 7,11% a 11,44% para a espécie *Dendrocalamus giganteus*. ADB.LATIF *et al.* (1993) 5,4% a 9,5% para a espécie *Bambusa bluemeana*.

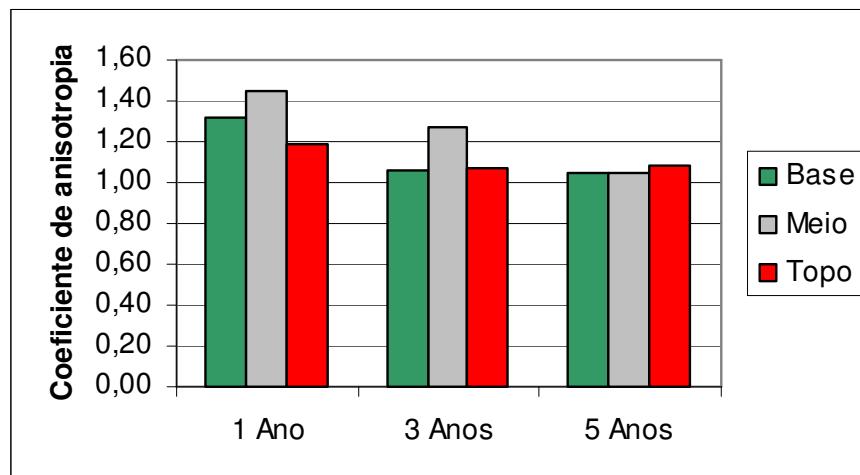


Figura 4.11 - Variação do coeficiente de anisotropia entre base, meio e topo

Na Figura 4.11, vê-se que o valor máximo encontrado foi de 1,45% no meio dos colmos de um ano e o valor mínimo encontrado foi de 1,04% no meio dos colmos de um ano.

Na Tabela 4.9 são apresentadas às médias do coeficiente de anisotropia de cada idade.

Tabela 4.9 - Médias do coeficiente de anisotropia de cada idade

	1 Ano	3 Anos	5 Anos
<b>Média (%)</b>	1,33	1,13	1,07
<b>Desvio Padrão (%)</b>	0,24	0,18	0,20
<b>C.V (%)</b>	17,88	16,20	18,47

Com base na tabela ANOVA (Apêndice I) houve uma diferença significativa entre as idades e entre as posições. A interação foi significativa estatisticamente a nível de 5%. Houve uma diminuição significativa do coeficiente de anisotropia dos colmos de três e cinco anos para os colmos de um ano.

#### 4.4. ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS

Para os ensaios de flexão, compressão e tração os corpos-de-prova foram primeiramente confeccionados com dimensões diferentes para a base, meio e topo devido ao fato que a espessura da base é maior do que o topo, portanto a idéia era de manter a proporção da distribuição dos feixes fibrovasculares. Porém os resultados não foram coerentes, mesmo mantendo as proporções dos corpos-de-prova (largura e comprimento). Portanto as dimensões tiveram que ser as mesmas para todas as posições, sendo removido o mínimo da espessura da parte externa dos corpos-de-prova e uma quantidade maior da parte interna.

##### 4.4.1. Resistência à Flexão

Os valores médios do módulo de elasticidade obtidos no ensaio de flexão nas três idades e nas três posições são apresentados na Figura 4.12.

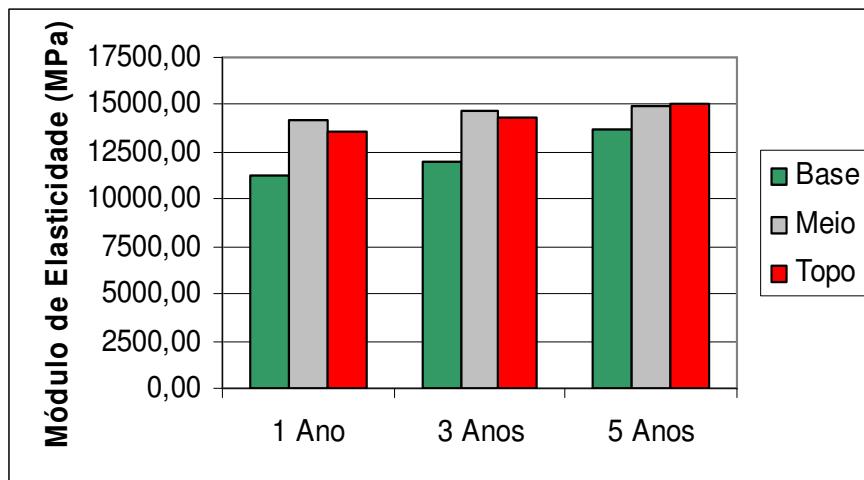


Figura 4.12 - Módulo de elasticidade no ensaio de flexão

Da Figura 4.12, constatou-se que o valor máximo encontrado foi de 15.090 MPa no topo dos colmos de 5 anos e o valor mínimo de 11.208 MPa na base dos colmos de um ano de idade. Nos estudos realizados por LI (2004) o menor valor encontrado foi de 7.770 MPa na base dos colmos de um ano e o valor máximo de 13.410 MPa no meio dos colmos de 5 anos. Esta diferença pode ser justificada pela densidade dos colmos.

Com base na Tabela ANOVA (Apêndice J) houve uma diferença significativa entre as idades e entre as posições, porém a interação não foi significativa estatisticamente ao nível de 5%. Entre as idades houve um aumento significativo do MOE nos colmos de um ano para os colmos de cinco anos, porém não houve diferença significativa estatisticamente entre os colmos de um e de três anos. Com relação às posições houve um aumento significativo do MOE da base para o topo, porém não houve uma diferença significativa entre a do meio e a do topo.

A Tabela 4.10 mostra a média do módulo de elasticidade para cada idade, obtidos no ensaio de flexão.

Tabela 4.10 - Média do módulo de elasticidade na flexão para cada idade

	<b>1 Ano</b>	<b>3 Anos</b>	<b>5 Anos</b>
<b>Média (MPa)</b>	12.990,63	13.618,44	14.554,73
<b>Desvio Padrão (MPa)</b>	1.814,68	1.653,27	1.455,72
<b>Coeficiente de Variação (%)</b>	13,97	12,14	10,00

Com base nos valores encontrados na Tabela 4.10, nota-se que o valor máximo encontrado foi de 14.554,73 MPa para os colmos de 5 anos. Este valor foi superior aos que foram encontrado por CHUN (2003), onde encontrou 11.323 MPa e LI (2004) encontrou 13.293 MPa para esta mesma espécie, posição e idade.

Os valores médios do módulo de ruptura obtidos no ensaio de flexão são apresentados na Figura 4.13.

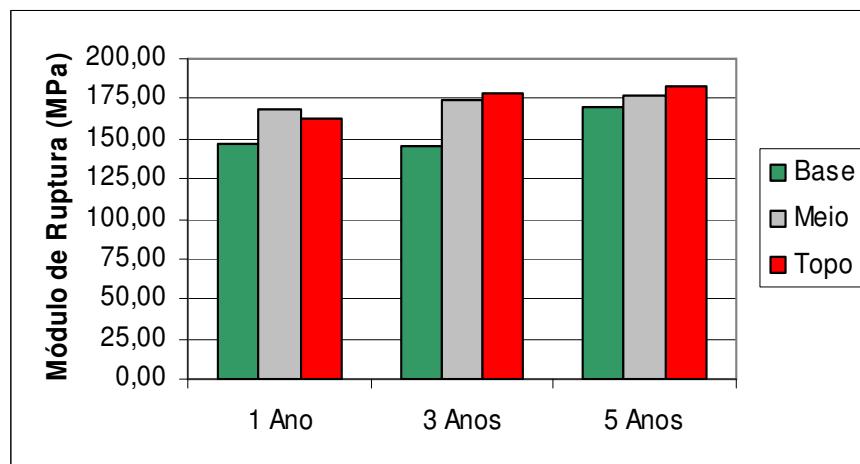


Figura 4.13 - Módulo de ruptura no ensaio de flexão

Constatou-se na Figura 4.13, que o valor máximo encontrado foi de 182,87 MPa no topo dos colmos de cinco anos e valor mínimo de 145,28 MPa na base dos colmos de 3 anos de idade. Nos estudos realizados por LI (2004) o menor valor encontrado foi de 110,3 MPa na base dos colmos de um ano e o valor máximo de 186,2 MPa na base dos colmos de 5 anos.

Com base na Tabela ANOVA (Apêndice K) houve uma diferença significativa entre as idades e entre as posições, porém a interação não foi significativa estatisticamente ao nível de 5%. Entre as idades houve um aumento significativo do MOR nos colmos de um ano para os colmos de cinco anos, porém não houve diferença significativa estatisticamente entre os colmos de um e de três anos. Com relação às posições houve um aumento significativo do MOR da base para o topo, porém não houve uma diferença significativa entre os valores para o meio e o topo.

A Tabela 4.11 mostra a média do módulo de ruptura para cada idade, obtidos no ensaio de flexão.

Tabela 4.11 - Média do módulo de ruptura na flexão para cada idade

	<b>1 Ano</b>	<b>3 Anos</b>	<b>5 Anos</b>
<b>Média (MPa)</b>	159,59	166,11	176,41
<b>Desvio Padrão (MPa)</b>	18,74	19,38	15,60
<b>Coeficiente de variação (%)</b>	11,74	11,67	8,84

Com base na Tabela 4.10 o valor máximo encontrado para o módulo de ruptura foi de 176,41 MPa nos colmos de 5 anos. Estes valores foram ligeiramente inferiores aos encontrados por LI (2004) (184,8 MPa) e ligeiramente superiores aos valores encontrados por CHUN (2003) (158,6 MPa). Nota-se que a variação entre a posição e entre a idade foi parecida ao encontrado por CHUN (2003), porém inferior à encontrada por LI (2004).

Nas Figuras 4.14 e 4.15 são apresentadas as correlações para o MOR e o MOE com a densidade a 12% medidas nos corpos de prova do ensaio de flexão

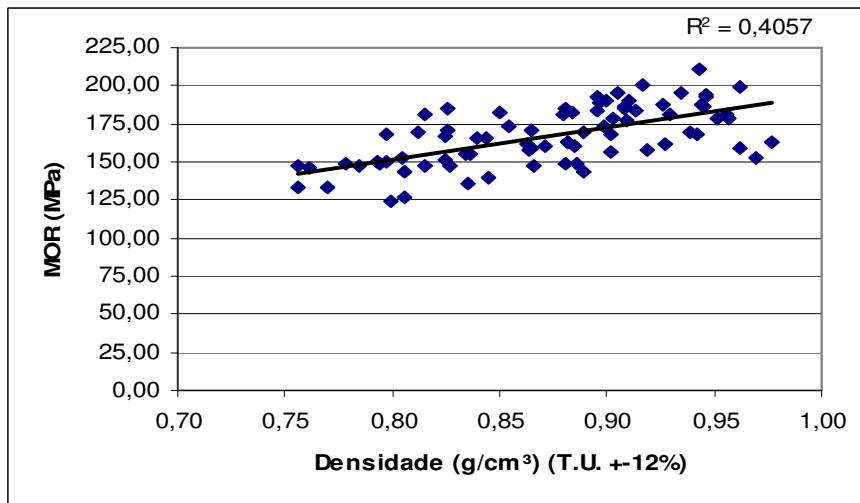


Figura 4.14 - Correlação entre MOR x Densidade (12% T.U.) para ensaio de flexão

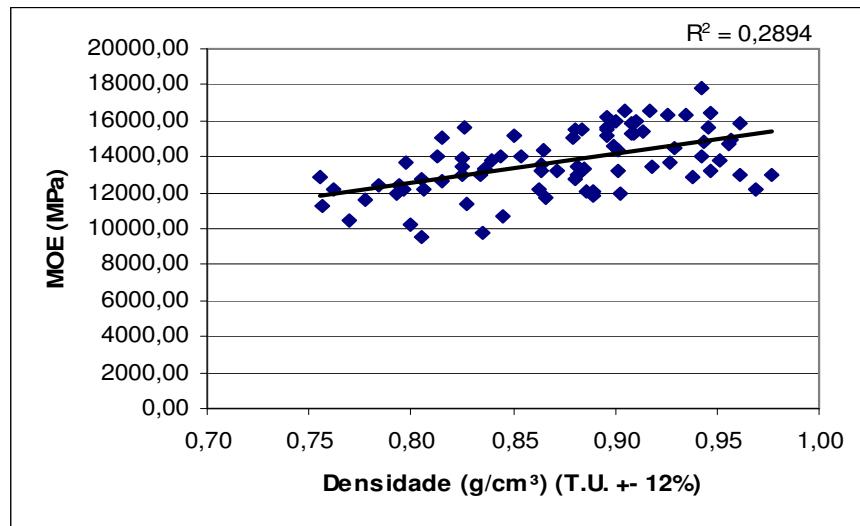


Figura 4.15 - Correlação entre MOE x Densidade (12% T.U.) para ensaio de flexão

A equação do  $R^2$  apresenta a correlação entre as duas variáveis analisadas. Quanto mais próximo de um a correlação é mais forte. A Figura 4.14 apresentou uma baixa correlação do MOR com a densidade básica, já na Figura 4.15 esta correlação foi um pouco superior. Pode-se observar que os valores da densidade dos corpos-de-prova foram superior aos valores encontrados na análise da densidade no item 4.2.1. Isto ocorre porque a densidade dos corpos-de-prova foi medida com um teor de umidade de 12%. Outro fato é que a espessura dos corpos-de-prova foi igual para a base, meio e topo, sendo assim, uma quantidade maior da

parte interna da base e meio teve que ser removida deixando os corpos-de-prova com uma densidade superior devido a concentração dos feixes fibrovasculares serem maior na parte externa.

#### 4.4.2. Resistência à Compressão

Os valores médios do módulo de elasticidade obtidos no ensaio de compressão para as três idades e as três posições, são apresentados na Figura 4.16.

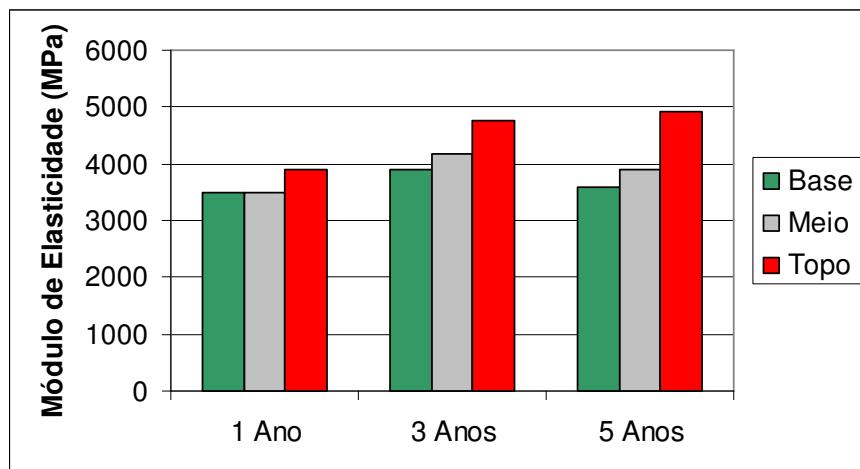


Figura 4.16 - Módulo de elasticidade no ensaio de compressão

Na Figura 4.16, que o valor máximo encontrado foi de 4.922 MPa no topo dos colmos de cinco anos e o valor mínimo foi de 3.493 MPa na base dos colmos de um ano. Nos estudos conduzido por CHUN (2003) foram encontrados valores de 5.533 MPa para base, 6.886 MPa para o meio e 7.330 MPa para o topo. Os valores encontrados neste estudo para os colmos de 5 anos foram de 3.581 MPa para a base, 3.894 MPa para o meio e 4.922 MPa para o topo. Comparando os resultados observa-se que o valor máximo encontrado foi para o topo dos colmos de cinco anos, porém em proporções diferentes.

Com base na Tabela ANOVA (Apêndice L) houve uma diferença significativa entre as idades e entre as posições, porém a interação não foi significativa estatisticamente ao nível de 5%. Entre as idades houve um aumento significativo do MOE na compressão nos colmos de um ano para os colmos de três anos, porém não houve diferença significativa estatisticamente entre os colmos de um e de cinco

anos e entre os colmos de três e cinco anos. Com relação às posições houve um aumento significativo do MOE da base para o topo, porém não houve um aumento significativo entre a base e o meio.

A Tabela 4.12, mostra a média do módulo de elasticidade para cada idade, obtidos no ensaio de compressão.

Tabela 4.12 - Média do módulo de elasticidade na compressão para cada idade

	1 Ano	3 Anos	5 Anos
<b>Média (MPa)</b>	3.634,37	4.272,30	4.132,99
<b>Desvio Padrão (MPa)</b>	852,99	876,92	694,83
<b>Coeficiente de Variação (%)</b>	23,47	20,53	16,81

Nos estudos conduzidos por CHUN (2003) foram encontrados módulos de elasticidade de 7.716 MPa para um ano, 8.448 MPa para três anos e 7.607 MPa para cinco anos. Comparando os resultados nota-se que o valor máximo encontrado foi nos colmos de três anos em ambos os estudos, porém com valores diferentes. Esta diferença provavelmente ocorre em virtude das variações edafo-climáticas e também pela falta de uma norma específica para bambu que pudesse possibilitar comparações precisas.

Na Figura 4.17 é apresentada a variação do módulo de ruptura na compressão para as três idades e as três posições.

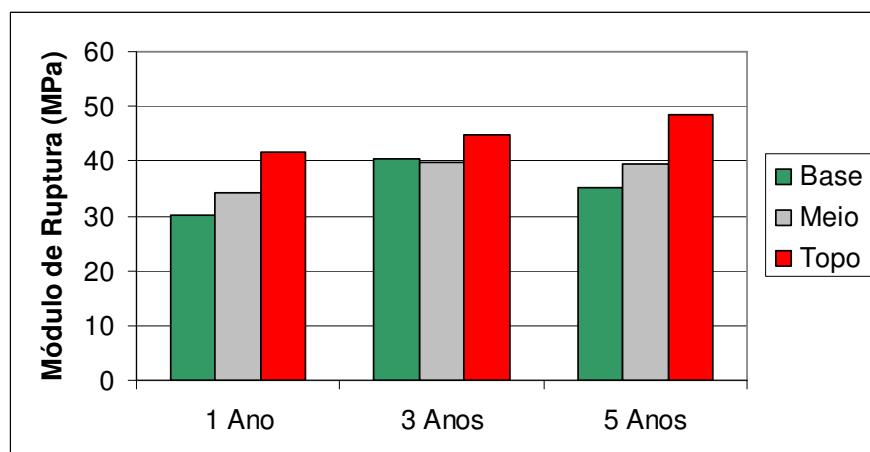


Figura 4.17 - Módulo de ruptura no ensaio de compressão

Na Figura 4.17, nota-se que o valor máximo encontrado foi de 48,36 MPa no topo dos colmos de cinco anos e o valor mínimo foi de 30,17 MPa na base dos colmos de um ano. Nos estudos conduzido por CHUN (2003) foram encontrados valores de 60,9 MPa para a base, 69,9 MPa para o meio e 70 MPa para o topo. Os valores encontrados neste estudo foram de 35,04 MPa para a base, 39,42 MPa para o meio e 48,36 MPa para o topo. Comparando os valores, o módulo de ruptura máximo foi no topo dos colmos em ambos os estudos, porém com proporções diferentes.

Com base na Tabela ANOVA (Apêndice M) não houve uma diferença significativa entre as idades e entre as posições, e a interação também não foi significativa estatisticamente ao nível de 5%.

A Tabela 4.13, mostra a média do módulo de elasticidade para cada idade, obtidos no ensaio de compressão.

Tabela 4.13 - Média do módulo de ruptura na compressão para cada idade

	<b>1 Ano</b>	<b>3 Anos</b>	<b>5 Anos</b>
<b>Média (MPa)</b>	35,34	41,70	40,94
<b>Desvio Padrão (MPa)</b>	9,89	6,79	8,05
<b>Coeficiente de Variação (%)</b>	27,98	16,29	19,66

Nos estudos conduzidos por CHUN (2003) foi encontrados módulos de ruptura de 63,5 MPa para um ano, 63,6 MPa para três anos e 63,4 MPa para cinco anos. Comparando os resultados nota-se que o valor máximo encontrado foi nos colmos de três anos em ambos os estudos, porém com valores diferentes. Esta diferença provavelmente ocorre em virtude das variações edafo-climáticas e também pela falta de um norma específica para bambu para possibilitar comparações precisas.

Nas Figuras 4.18 e 4.19 são apresentadas as correlações para o MOR e o MOE com a densidade a 12% medidas nos corpos de prova do ensaio de compressão.

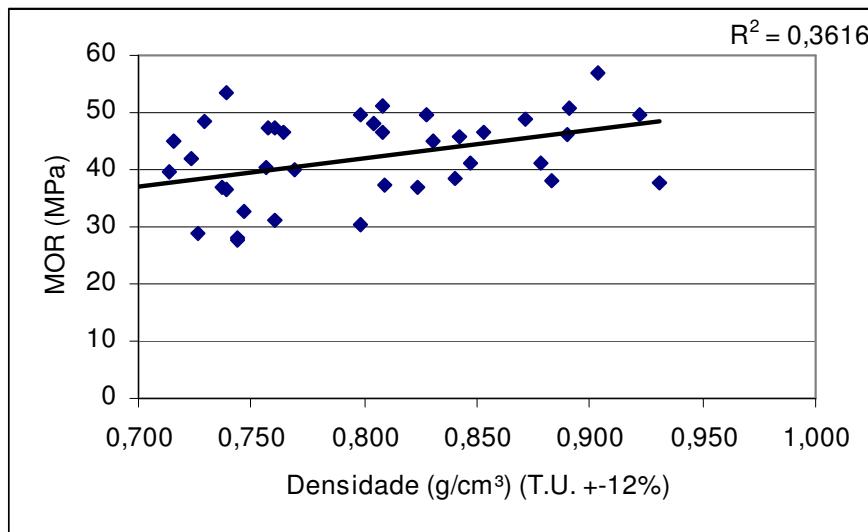


Figura 4.18 - Correlação entre MOR x Densidade a 12% para compressão

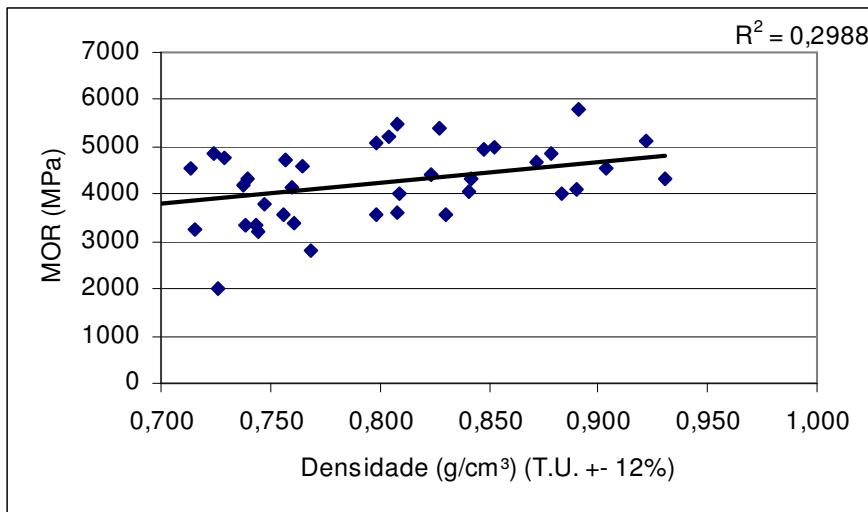


Figura 4.19 - Correlação entre MOR e MOE x Densidade a 12% para compressão

A equação do  $R^2$  apresentada na Figura 4.18 apresentou uma baixa correlação entre o MOR e a densidade básica, sendo um pouco superior para o MOR na Figura 4.19. Assim como no item 4.4.1 pode-se observar que as densidades dos corpos-de-prova apresentaram-se superior aos valores encontrados na análise da densidade no item 4.2.1. Como já foi explicado, isto ocorre porque a densidade dos corpos-de-prova foi medida com um teor de umidade de 12%. Outro fator é que a espessura dos corpos-de-prova foi igual para a base, meio e topo, sendo assim uma quantidade maior da parte interna da base e meio teve que ser removida deixando

os corpos-de-prova com uma densidade superior devido à concentração dos feixes fibrovasculares ser maior na parte externa.

#### 4.4.3. Resistência à Tração

Assim como comentado por LIMAYE (1952), os corpos-de-prova de tração romperam primeiramente por cisalhamento, como mostra na Figura 4.20. Por isso os corpos de provas tiveram que serem refeitos com uma largura e espessura menores na região do estrangulamento. Com isso os corpos de prova romperam por tração.



Figura 4.20 – Corpos de tração rompidos por cisalhamento

Na Figura 4.21 é apresentada a variação do módulo de ruptura na tração para as três idades e as três posições.

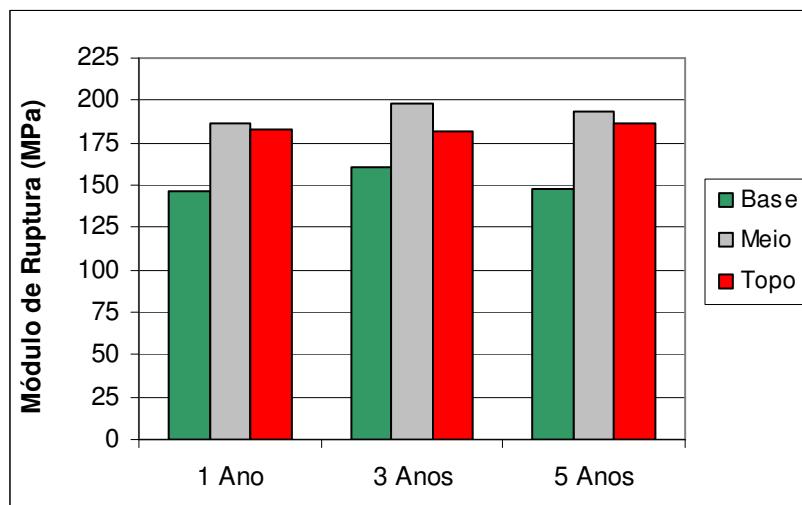


Figura 4.21 - Módulo de ruptura no ensaio de tração

Na Figura 4.21, nota-se que o valor máximo encontrado foi de 198,15 MPa no meio dos colmos de três anos e o valor mínimo foi de 146,86 MPa na base dos colmos de um ano. Nos estudos conduzido por CHUN (2003) foram encontrados valores de 157,9 MPa para a base, 194,2 MPa para o meio e 208,9 MPa para o topo dos colmos de cinco anos, valores similares aos encontrados neste trabalho.

Com base na Tabela ANOVA (Apêndice O) não houve uma diferença significativa entre as idades e entre as posições, e a interação também não foi significativa estatisticamente ao nível de 5%.

A Tabela 4.14, mostra a média dos módulos de ruptura para cada idade, obtidos no ensaio de tração.

Tabela 4.14 - Média dos módulos de ruptura na tração para cada idade

	<b>1 Ano</b>	<b>3 Anos</b>	<b>5 Anos</b>
<b>Média (MPa)</b>	181,53	181,20	180,70
<b>Desvio Padrão (MPa)</b>	37,06	33,15	28,80
<b>Coeficiente de Variação (%)</b>	20,42	18,29	15,94

Nos estudos conduzidos por CHUN (2003) foram encontrados módulos de ruptura de 91,1 MPa para os colmos de um ano 176,4 MPa para os colmos de três anos e 184,1 MPa para os colmos de cinco anos. Comparando os valores nota-se que neste estudo não houve uma tendência no aumento do módulo de ruptura como se pode observar nos estudos de conduzidos por CHUN (2003).

#### 4.4.4. Dureza

Na Figura 4.22, são apresentadas às médias do ensaio de dureza Brinell entre as três idades e as três posições.

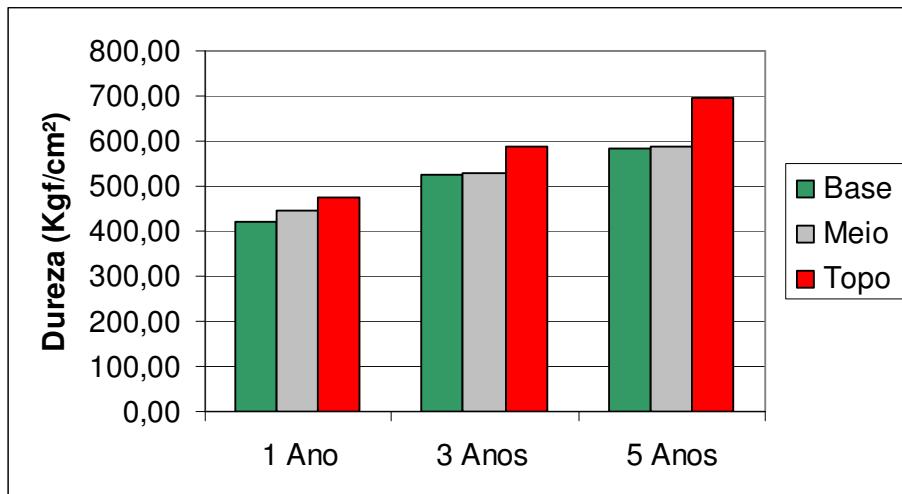


Figura 4.22 - Variação da dureza Brinell

Os valores apresentados na Figura 4.22, mostram que a dureza Brinell do bambu Moso variam de 418,71 Kgf/cm<sup>2</sup> (4,18 HB) a 697,32 Kgf/cm<sup>2</sup> (6,97 HB). Observa-se que houve uma tendência ao aumento da dureza Brinell da base para o topo e de um para cinco anos, havendo uma forte correlação entre a densidade e a dureza.

Com base na Tabela ANOVA (Apêndice P) houve uma diferença significativa entre as idades e entre as posições, porém a interação não foi significativa estatisticamente ao nível de 5%. Entre as idades houve um aumento significativo da dureza nos colmos de um ano para os de três e para colmos de cinco anos. Com relação às posições houve um aumento significativo da dureza da base para o topo, porém não houve uma diferença significativa entre a base para o meio e entre o meio e o topo.

A Tabela 4.15 mostra a média da dureza Brinell para cada idade

Tabela 4.15 - Médias da dureza Brinell de cada idade.

	1 Ano	3 Anos	5 Anos
<b>Média (Kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	447,01	535,23	673,56
<b>Desvio Padrão (Kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	66,24	87,62	75,58
<b>Coeficiente de Variação (%)</b>	14,82	16,37	11,22

Na Tabela 4.15, observa-se um aumento significativo na dureza Brinell com o aumento da idade. Considerando que os pisos de bambu são fabricados com bambu

de cinco anos, os valores encontrados foram superiores aos valores encontrados pela Organização Holandesa para Aplicações Científicas e Pesquisa que encontraram valores de 4 a 6 HB (400 a 600 Kgf/cm<sup>2</sup>). Porém, os valores encontrados foram inferiores aos valores encontrados por OSTAPIV et al.(2007) que foi de 8 HB (800 Kgf/cm<sup>2</sup>).

#### 4.4.5. Resistência à Abrasão

Na Figura 4.23, pode-se observar as linhas de tendências de perda de massa no ensaio de abrasão para cada idade e posição de zero a mil ciclos.

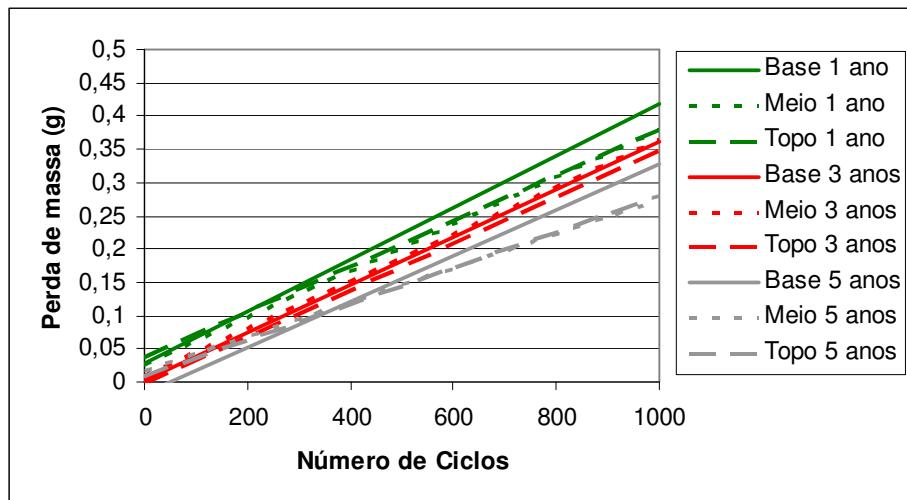


Figura 4.23 - Linhas de tendência da perda de massa pelo número de ciclos

Os valores apresentados na Figura 4.23, para o ensaio de resistência a abrasão do bambu Moso tiveram uma perda da massa variando de 0,26g a 0,47g, sendo estes valores encontrados no meio dos colmos de 5 anos e na base dos colmos de um ano respectivamente.

Nota-se que nas amostras do meio e topo de um ano e na base de 3 anos apresentaram nós no caminho percorrido pelo disco abrasivo. Isso provocou um desgaste menor nestas amostras, devido a presença de sílica nos nós.

Com base nos valores encontrados na amostra da base de um ano mostrou-se semelhante ao encontrado por KOGA et al. (2002) para o bambu *Dendrocalamus giganteus* que foi de aproximadamente 0,4g. Porém, as amostras de cinco anos do

bambu Moso, deste trabalho, mostraram uma resistência ao desgaste abrasivo maior do que as amostras de bambu e das madeiras citas por KOGA *et al.* (2002) (ipê, maçaranduba e peroba-rosa) e por SILVA e BITTENCOURT (2002) (Eucalipto e Jatobá).

Na Figura 4.24 é mostrada a medida da espessura dos corpos-de-prova nas quatro posições, conforme indicado na Figura 3.20 do capítulo anterior .

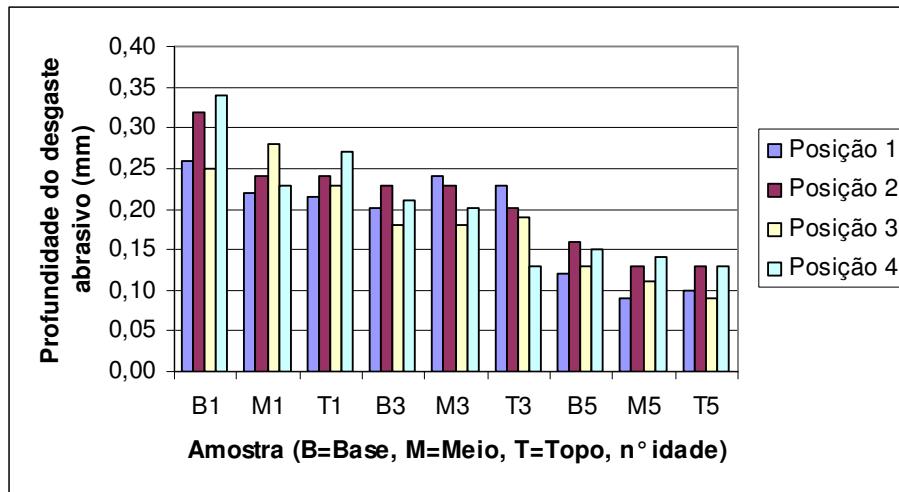


Figura 4.24 - Medida da perda de espessura

Na Figura 4.24, nota-se que houve uma tendência na diminuição da espessura conforme o aumento da posição e da idade. Porém os valores não são conclusivos em relação ao desgaste do sentido longitudinal e transversal às fibras, pois não houve uma tendência de maior desgaste em nenhum dos lados.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 5.1. CONCLUSÕES

Diversos experimentos foram conduzidos neste estudo, os quais permitiram um melhor entendimento das propriedades e do comportamento do bambu *Phyllostachys pubescens*. Considerando que na literatura brasileira tais propriedades são escassas, acredita-se que os resultados obtidos neste trabalho possam colaborar para a utilização do bambu como uma alternativa para o setor madeireiro.

Em função dos resultados obtidos conclui-se que:

- A performance da máquina desenvolvida mostrou-se eficiente para a fabricação das lâminas para o presente estudo.
- A geometria dos feixes fibrovasculares do bambu Moso (*Phyllostachys pubescens*) pertence ao tipo I.
- O diâmetro dos vasos diminuiu da parte interna para a parte externa das paredes dos colmos. Houve um aumento significativo dos diâmetros nos colmos de cinco para os de um e três anos e aumentou com a posição longitudinal.
- A concentração dos feixes fibrovasculares aumentou da parte interna para a parte externa, justificando o aumento da densidade na parte externa. Na base para o topo houve um aumento significativo na concentração dos feixes, justificando também o aumento da densidade nas partes superiores dos colmos
- A densidade básica média dos colmos de bambu com cinco anos de idade foi de 0,76 g/cm<sup>3</sup>. Houve um aumento significativo dos colmos com o aumento da idade e da posição.
  - O teor de umidade diminuiu proporcionalmente com o aumento da densidade.
  - Houve um aumento no módulo de elasticidade na flexão nos colmos de cinco com relação aos de um e três anos. Houve um aumento do MOR na flexão no meio e topo com relação a base.
  - Houve um aumento no módulo de elasticidade na compressão nos colmos de três e cinco anos com relação aos de um ano e houve um aumento no topo com relação à base e o meio.

- O módulo de ruptura na compressão não sofreu influência de nenhum dos fatores analisados.

- Não houve uma diferença significativa no módulo de ruptura na tração em função da idade e posição.

- A dureza aumentou com a idade e teve seu valor máximo no topo dos colmos.

- A resistência à abrasão máxima foi encontrada nos colmos de cinco anos. Os colmos de três e cinco anos apresentaram resistência a abrasão superior as espécies: Ipê, Maçaranduba, Peroba-rosa, Eucalipto e Jatobá, demonstrando uma ótima aplicação deste material para pisos de madeira.

- Com os resultados apresentados acima, recomenda-se o corte do bambu Moso com idade entre 3 a 5 anos, dependendo da sua utilização e esforço que será submetido.

- Através das características físicas e mecânicas determinadas neste estudo, pode-se concluir que o bambu Moso (*Phyllostachys pubescens*) apresenta potencial técnico para a produção de lâminas para aplicação em pisos e em produtos onde se exija alta resistência mecânica.

- Assim como já citados por alguns autores, a falta de normas específicas para a análise das propriedades do bambu dificultam a comparação dos resultados com outros estudos. Portanto, uma normalização dos corpos-de-prova para os ensaios do bambu laminado forneceria dados mais precisos para possibilitar as comparações entre os diferentes ensaios realizados pelos diferentes autores.

- O bambu poderia ser mais utilizado no Brasil, pois trata-se de um material de alta resistência e de rápido crescimento, que pode promover o desenvolvimento sustentável local, gerando renda e inclusão social para milhares de pessoas e ajudando a suprir o déficit de produção de madeira, evitando o corte de árvores nativas. Um conglomerado industrial pode ser desenvolvido a partir desta matéria-prima, produzindo diversos produtos, tais como brotos de bambu, madeira, carvão, fibra, papel, etc, minimizando problemas sociais e ambientais.

- Para possibilitar a industrialização em grande escala faz-se necessário à criação de programas de incentivo para o plantio do bambu em grandes áreas, pois só assim torna-se viável o investimento de capital para a aquisição de máquinas

para o processo de manufatura do bambu. Vale a pena salientar, que sem esta ação, a implementação de uma indústria de lâminas de bambu em grande escala esgotaria os recursos disponíveis hoje em nosso país.

## 5.2. RECOMENDAÇÕES

O estudo conduzido demonstra um futuro promissor para o bambu Moso no Sul do Brasil, que pode oferecer uma alternativa potencial para suprir o déficit de produção de madeira. Os ensaios realizados neste estudo abrangeram as propriedades de lâminas de bambu, desconsiderando a existência de nós. Portanto, estudos futuros podem analisar as diferenças das propriedades nas duas partes.

A utilização das lâminas de bambu, de uma forma geral, é dada por meio da colagem destas para a obtenção de painéis ou também conhecido como bambu laminado colado (BLC). Por tanto, faz-se necessário um estudo complementar sobre as propriedades do BLC desta espécie assim como propriedades adesivas deste material, tais como ângulo de contato, capacidade de absorção, pH, etc.

O processo de obtenção de lâminas de bambu geram resíduos. Estes resíduos podem ser matéria-prima para outros produtos. Por isso, é necessário também um estudo do aproveitamento dos resíduos do processo de obtenção das lâminas, por exemplo, aglomerados, materiais compósitos, *Bamboo parallel strip lumber* (BPSL), entre outros materiais.

Analizar as propriedades químicas do bambu nas diferentes idades juntamente com um estudo sobre a biodegradação do bambu, possibilitará um melhor entendimento da durabilidade deste material.

O método de seleção dos colmos por idades, por meio de marcação do ano de nascimento, proporcionaria maior confiança nos resultados.

No estudo anatômico desta espécie é interessante analisar as dimensões das fibras e também a diferença de espessura da parede das células das fibras entre as diferentes idades, pois este é um dos principais fatores que explicam a mudança das propriedades no decorrer dos anos.

Uma das utilizações da parte superior dos colmos do bambu é para a fabricação de carvão. Um estudo da avaliação do carvão de bambu permitirá conhecer o potencial do bambu como uma fonte de energia.

Por último, um estudo sobre a viabilidade econômica do uso do bambu dever ser levado em consideração, obordandos todos os custos, na produção do bambu laminado colado em escala industrial.

## 6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABIMCI - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Estudo setorial 2004.** Curitiba, PR 2005

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1997). NBR 7190 – **Projeto de Estruturas de Madeira.** Rio de Janeiro1997.

ADB.LATIF, M.; WAN, W.A.; FAUZIDAH, A; **Anatomical features and mechanical properties of three Malaysian bamboos.** Journal Tropical Forest Science 2(3): 227-234. 1990.

ADB.LATIF, M.; **Effects of age and height of three bamboo species on their machining properties.** Journal Tropical Forest Science. 5(4): 528-535. 1993

AHMAD, M. **Analysis of calcutta bamboo for structural composite materials.** Dissertation, Wood Sci. and Forest Products, VT. pp. 210. 2000.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber.** D-143-94. Vol. 04.10 on Wood. Annual Book of ASTM Standards, ASTM. West Conshohocken, PA, 2004

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS **Standard Test Method for Abrasion Resistance of Organic Coatings by the Taber Abraser.** D 4060-95 West Conshohocken, PA, 1995

AMPUGROUP disponível em [www.ampugroup.com](http://www.ampugroup.com) , acessado em: 12/05/2005

AZZINI, A.; BERALDO. A.L.; **Métodos práticos para utilização do bambu.** Campinas:UNICAMP, 2001.

BERALDO, L.; AZZINI, A.; ZULLO, J.; **Características físicas, químicas e anatômicas de três espécies de bambu gigantes.** Encontro brasileiro em madeiras e Estruturas de madeira. 6.,1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: IBRAMEM, 1998. v. 4, p. 297-306.

BERALDO, A. L. ; FREIRE, W. J.; **Tecnologias e materiais alternativos de construção** São Paulo: Editora Unicamp, 2003.

- BERALDO, A. L.; AZZINI, A.; **Bambu características e aplicações.** Rio Grande do Sul: Guaíba, Editora Agropecuária Ltda, 2004.
- BERNDSEN, F. S.; BERNDSEN, R. S.; POULMANN, E.; **Desenvolvimento de ferramenta manual para corte longitudinal de bambu.** Trabalho de diplomação em Tecnologia Mecânica, UTFPR Campus Curitiba, 2005.
- CARRASCO, E. V. M.; MOREIRA, L. E.; XAVIER, P V; **Bambu laminado e colado.** XV Encontro Brasileiro em madeiras e em estruturas de madeira. - EBRAFEM.. Belo Horizonte, MG. Anais, v. II, 1995.
- CASAGRANDE, E. F; **O bambu como matéria-prima sustentável para a geração de renda e inclusão social no município de Fazenda Rio Grande – Paraná.** Curitiba-PR, 2004.
- CHAPMAN, G.P. **The biology of grasses.** Department of Biochemistry and Biological Sciences, Wye College, University of London, U.K. CAB International. 1996.14-19
- CHUN, Z. F; **The production and utilization of bamboo forest in China.** Hangzhou: China National Research Center of Bamboo –CBRC, 2003.
- CHUN, Z. F.; **The structure of culm of Phyllostachys** Hangzhou: China National Research Center of Bamboo - CBRC, 2003.
- CHEN, X., 2003; **Development in China and in the world.** Intl. Conf. INBAR in China and the World INBAR Proc. Beijing, 2003.
- CORREA, A de A; LUZ, C.N.R. & FRZÃO, F.J.L. **Características papeleiras dos bambus da região do Acre da Amazônia.** In Congresso anual da associação brasileira de celulose e papes, São Paulo, 1997.
- CRUZ, M. L. S.; **Caracterização física e mecânica de colmos inteiros do bambu da espécie Phyllostachys aurea: Comportamento à flambagem.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio, 2002, 114p
- FERREIRA,G.C.S.; MORENO,JR.; BERALDO, A.L.; **Caracterização de Taliscas de bambu Dendrocalamus giganteus à tração.** Conferência Brasileira sobre Materiais

e Tecnologias não-convencionais na Construção Ecológica e Sustentável. BRASIL NOCMAT 2006 - Salvador, BA, 2006.

FU, J.; “**Moso Bamboo**” in **China**. The Magazine of the American Bamboo Society October 2000 · Volume 21 · No. 6

FU, J. **Chinese Moso Bamboo:Its Importance**. The Magazine of the American Bamboo Society October 2001 · Volume 22 · No. 5

GARBINO, L. V.; GONÇALVES, M. T. T.; PEREIRA M. A. R.; **Métodos de ensaio para amostras de bambu laminado**. VIII Encontro brasileiro em madeira e em estruturas de madeira, Uberlândia , 2002.

GARBINO, L. V.; GONÇALVES, M. T. T.; PEREIRA M. A. R.; **Procedimentos experimentais para determinação de propriedades físicas do bambu**. IX Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas De Madeira. Cuiabá, 2004.

GHAVAMI, K e MARINHO, A. B. **Determinação das propriedades dos bambus das espécies: Moso, Matake, Guadua angustifolia, Guadua tagoara e Dendrocalamus giganteus para utilização na engenharia**. Publicação – RMNC Bambu 01/2001 do Departamento de engenharia civil da PUC-Rio. 2001. 53 p.

GHAVAMI, K.; **Desenvolvimento de elementos estruturais utilizando-se bambu**. Rio de Janeiro: PUC RJ, 2002.

GONÇALVES, M. T. T.; PEREIRA, M. A. R.; AIRES, C.; MARIANO, G. **Development of manufacture techniques for products based on glued plated bamboo**. V International Bamboo Congress. San José, Costa Rica, 1999.

GONÇALVES, M.T.T; PEREIRA, M.A.R.; GONÇALVES, C.D.; **Ensaios de resistência mecânica em peças lâminadas de bambu**. XXIX Congresso Brasileiro de engenharia agrícola – CONBEA 2000. Fortaleza, 2000.

GONÇALVES, M.T.T.; PEREIRA, M.A.R.; GARBINO, L.V.; **Métodos de ensaio de bambu laminado**. In: Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, 8. Uberlândia, 2002. Anais. Uberlândia: UFU, 2002, Cd-rom.

GROOVER, M.P.; **Fundamentals of modern manufacturing: Materials, process, and systems**. Second edition, Danvers - MA, 2002

- GROSSER, D.; LIESE, W.; **The anatomy of Asian bamboos, with special reference to their vascular bundles.** Wood Sci.Technol. 1971, 290 – 312.
- GROSSER. D.; LIESE, W.; **The variability of fiber length of bamboo.** Holzforschung. 1973, 202-211.
- HAYGREEN, J.G.; BOWYER, J.L.; **Forest products and wood science. An introduction.** Iowa State University Press/Ames. Third Edition. 1998.
- ITAPAGÉ CELULOSE disponível em [www.itapage.com.br](http://www.itapage.com.br), acessado em 12/09/2007
- IRISHCAR disponível em [www.irishcar.com](http://www.irishcar.com), acessado em 07/09/2005
- JIANGHUA X. **Multi-Function Values and Classified Management in Bamboo Forest.** Presentation on: 2007 Training Course on Bamboo Technology for Developing Countries at China National Bamboo Research Center, Hangzhou, 2007.
- KISHEN, J.; GHOSH, D.P.; REHMAN, M.A.; **Studies on moisture content, shrinkage, swelling and intersection point of mature (*Dendrocalamus strictus*) male bamboo.** Indian Forest. Research. 1956, 1-3 0
- KLEINHENZ, V.; MIDMORE, D. J.; **Aspects of bamboo agronomy.** Austrália: Academic Pres, Central Queensland University, 2001.
- KOGA, R. C.; BITTENCOURT, R. M.; GONÇALVES, M. T. T.; **Resistência à abrasão do bambu gigante e espécies de madeiras para utilização como elemento de piso.** VII Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, Uberlândia – 2002.
- KOGA, R. C; **Resistência à abrasão de madeira e bambu laminados colados utilizados como elementos de piso.** Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Guaratinguetá-SP, 2001, 117 p.
- LEE, A.W.C.; XUESONG B; PERRY N.P.; **Selected physical and mechanical properties of giant timber bamboo grown in South Carolina.** Forest Prod.Journal, 1994. 40-46.
- LI, X.; **Physical, chemical, and mechanical properties of bamboo and its utilization potential for fiberboard manufacturing.** Dissertation, The School of Renewable Natural Resources, Louisiana, 2004. 76p.

- LIESE, W.; **Preservation of bamboo.** Proc, of a workshop Singapore, 1980.
- LIESE, W.; **The Anatomy of bamboo culms.** INBAR – International Network for bamboo and rattan. China: Technical Report, 1998. p. 204
- LIMAYE, V.D.; **Strength of bamboo (*Dendrocalamus strictus*),** Indian Forest Records, 1952. 1-17.
- LONDOÑO, Ximena. **Evaluation of Bamboo Resources in Latina America.** A Summary of the Final Report Project 96-8300-01-04. International Network for Bamboo and Rattan-INBAR, 1999.
- LÓPEZ, O. H.; **Bambu – Su cultivo y aplicaciones en: fabricacion de papel, construcción, arquitectura, ingeniería, artesanía.** Colômbia: Estudios Técnicos Colombianos Ltda, Cali, 1974.
- MAINIERI, C.; CHIMELO, J. P.; **Fichas de Características das Madeiras Brasileiras** - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2<sup>a</sup> ed., IPT – SP, 1989.
- MOFCOM (Ministry of Commerce of China); CBRC (China National Bamboo Research); **Training Course on Bamboo Technology for Developing Countries 2006** – Hangzhou: China, 2006.
- MOHANAN, C.; W. LIESE.; **Diseases of bamboos.** Int. J. Trop. Plant Diseases, 1990, I-20.
- OLIVEIRA, A.C.A. **Efeitos do bambu Guadua weberbaueri Pilger sobre a fisionomia e estrutura de uma floresta no sudoeste da Amazônia.** Dissertação de mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Fundação Universidade do Amazonas. Manaus, Amazonas, 2000. 84p.
- OLIVEIRA, A.K.F; PAEZ,J.B; **Caracterização físico-mecânica de laminado colado de bambu (*Dendrocalamus giganteus*) para revestimento de pisos.** BRASIL NOCMAT 2006 - Salvador,BA
- OSTAPIV, F.; **Análise e melhoria do processo produtivo de tábuas de bambu (*Phyllostachys pubescens*) com foco em pisos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

OSTAPIV, F.; BERNDSEN, R. S.; SALAMON, C.; GONÇALVES, M.T.T; NASCIMENTO, E. M. **Determinação da variação da massa específica em colmos de bambu moso (*Phyllostachys pubescens*) através dos métodos de medida geométrica e de imersão em água.** Revista Floresta – FUPEF – Curitiba 2008

OTA, M.; **Studies on the properties of bamboo stem Part 11.** On the fibre saturation point obtained from the effect of moisture content on the ‘swelling and shrinkage of bamboo splint. Bull. of Kyushu University. For. 1955, 61-72.

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

PEREIRA, M. A. dos R.; **Características hidráulicas de tubos de bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus*).** Tese de Doutorado. Unesp, Faculdade de Ciências Agronômicas. 1997 a. p.161.

PEREIRA, M.A. R.; **Bambu, espécies, características e aplicações.** UNESP, Bauru, 1999.

PEREIRA, M.A.R.; **Determinação de Características Físicas do Bambu Gigante Laminado (*Dendrocalamus giganteus*), Cultivado na Unesp/Campus De Bauru.** Anais do 10º Encontro Brasileiro em madeiras e em estruturas de madeira – EBRAMEN São Pedro – SP, 2006.

PNF. 2005. **I Reunião de avaliação e perspectivas do uso sustentável do bambu no Brasil.** Brasília. Programa Nacional de Florestas – Relatório PNF- 2005. 12p

QISHENG, Z.; SHENXUE, J.; YONGYU, T.; **Industrial Utilization on Bamboo.** China: Imbar, Nanjing Forestry University, 2003.

RIVERO, L. A.; **Laminado colado e contraplacado de bambu.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade de Campinas, Campinas, 2003.

SALGADO, A. L. B.; **Instruções Técnicas sobre o bambu.** Instituto Agronômico de Campinas, 1994.

SATTAR, M.A.; KABIR M.F.; BHATTACHARJEE ,D.K.; **Physical and mechanical properties of *Bambusa arundinacea*, *Bambusa longispiculata*, *Bambusa vulgaris* and *Dendrocalamus giganteus*.** Bangladesh Journal of Forest Science, 1991. 20-25.

SILVA, F. D; BITTENCOURT, R. M. **Estudo do desgaste à abrasão do eucalipto, madeira laminada e bambu gigante laminado utilizados como elemento de piso.** VIII Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. Uberlândia - Julho de 2002.

SOUZA, S. A; **Ensaio mecânico de materiais metálicos. Fundamentos teóricos.** São Paulo, 1982. 2<sup>o</sup>ed.

STAMM, J. **Laminados de Guadua** - Conferencia de Jörg Stamm en la Universidad Tecnológica de Pereira. Colômbia Abril 2002

TOMALANG, F.N.; LOPEZ A.R.; SEMARA, J.A.; CASIN, R.F.; ESPILOY, Z.B.; **Properties and utilization of Philippine erect bamboo.** In International Seminar on Bamboo Research in Asia held in Singapore, proceedings edited by G.Lessard and A. Chouinard. Singapore: International Development Research Center and the International Union of Forestry Research Organization. 1980

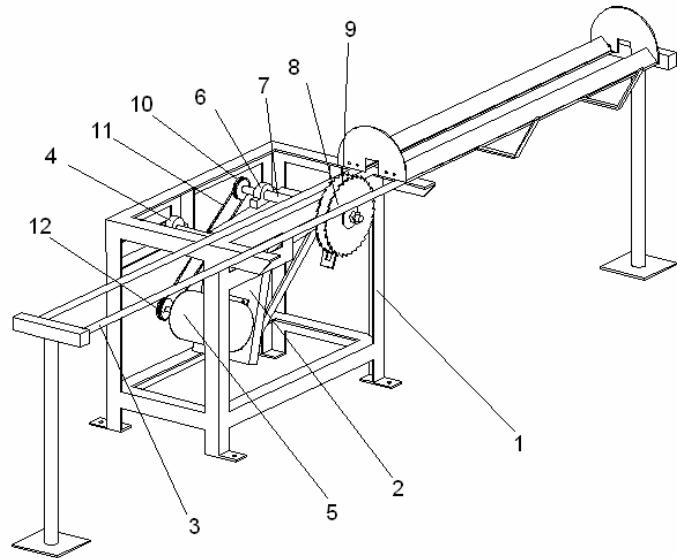
UEDA K.; **Culture of bamboo as raw material,** Dyoto, Association of Overseas Technical Scholarship, 1987.

WANG, D. and SHEN, S.J.; **Bamboos of China.** Timber Press, Portland, Oregon. 1987.

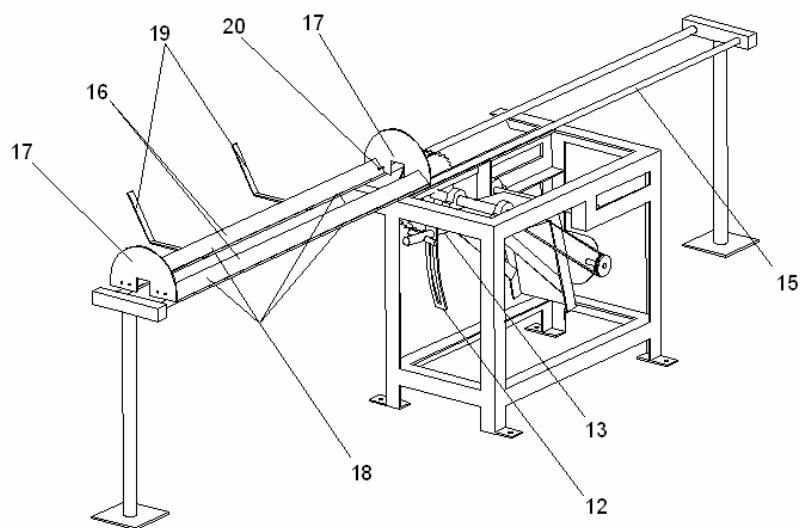
WANG, Q.H.; HUANG, B.H.; **Chinese Moso Bamboo.** Zhejiang Science and Technology Publishing House, 1996.

ZHOU, F.C.; **Mechanical properties of bamboo-wood.** 2007 Training course on Bamboo Technologies for Developing Countries. China National Research Center (CBRC) HangZhou, China 2007

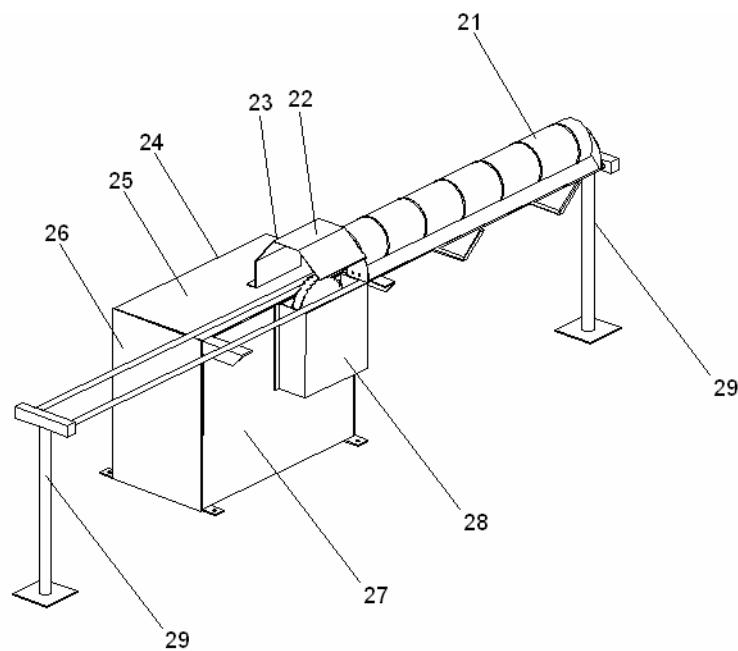
## **APÊNDICES**

**APÊNDICE A – DESENHOS DA MÁQUINA DE CORTE LONGITUDINAL DE BAMBU**

Vista em perspectiva superior



Vista em perspectiva inferior



Vista da máquina com as proteções

## APÊNDICE B – DESCRIÇÃO DOS COMPONENTES DA MÁQUINA DE CORTE LONGITUINAL

### DESCRÍÇÃO DOS DESENHOS

A seguir, para melhor entendimento e compreensão do objeto da patente de invenção do “EQUIPAMENTO PARA CORTE LONGITUDINAL DE BAMBU PARA O PROCESSO DE MANUFATURA DO BAMBU LAMINADO COLADO (BLC)”. apresentam-se os desenhos ilustrativos do equipamento , onde sevê:

O equipamento é formado pela estrutura (1) que serve como sustentação para a base de regulagem de corte (2), e das guias paralelas (3).

A base da regulagem de corte (2) é sustentada por dois mancais (4) fixos na estrutura (1) e sobre ela é fixado o motor elétrico (5), além de dois mancais de movimentação (6) do eixo de rotação (7) das serras circulares (8) paralelas, reguláveis separadas por buchas (9).

O eixo de rotação (7) é dotado na outra extremidade de polia móvel (10) interligada a uma correia (11) até outra polia (12 ) fixada no motor (5).

A estrutura (1) é dotada ainda de guia de regulagem (13) da altura das serras através da barra (14) soldada à base de regulagem de corte (2). Na extremidade da barra (14) é alocado um fixador (15) para dar o posicionamento da base de regulagem de corte (2).

O carro de movimentação das peças de bambu (16) que é sustentado pelas guias paralelas (3) fixadas à estrutura (1), é composto de duas cantoneiras (17) unidas por duas chapas laterais (18) em cada extremidade de formato semi-circular vazada ao centro para passagem da serra (8).

As cantoneiras (17) são dotadas, na parte inferior, de rolamentos (19), para movimentação do carro (19), que é dada por meio de duas barras angulares (20).

Em uma das cantoneiras (17) do carro de movimentação (16) existe um rasgo para a colocação de um pino regulador (21) que dará o posicionamento angular da peça de bambu (22). Na extremidade das guias paralelas (3) são

dispostos dois suportes em formato de T (23) para sustentação das extremidades das referidas guias.

Na parte superior das serras (8) existe uma chapa de proteção (24) que é sustentada na estrutura (1). Na parte lateral da serras (8) existe outra chapa de proteção (25). Ambas garantem segurança na hora do corte.

## APÊNDICE C – DESCRIÇÃO DA FUNCIONALIDADE DA MÁQUINA DE CORTE LONGITUINAL

O procedimento de obtenção das tiras de bambu através do equipamento descrito consiste no operador delimitar previamente o comprimento das peças de bambu para ajustar ao determinado pelo equipamento.

Logo após, o operador deverá posicionar as peças de bambu entre as cantoneiras e posicionando-se entre as barras angulares promoverá o movimento do carro de modo que a peça ultrapasse em toda sua extensão longitudinal as serras de corte.

Antes do movimento de retorno do carro o operador deverá retirar a peça de bambu de entre as cantoneiras e apóia-la na barra angular.

Após o primeiro corte o pino regulador existente no carro de movimentação é acionado. Sua função é a de posicionamento da peça de bambu de modo a aferir simetria entre as tiras, que restam interligadas pelos nós de modo a não desmembrar a peça durante o corte.

**APÊNDICE D - TESTE DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA) E  
COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (TUKEY) PARA OS FATORES IDADE E POSIÇÃO  
PARA O DIAMETRO DOS VASOS**

Analysis of Variance for DIAMETRO DOS VASOS - Type III Sums of Squares					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
<b>MAIN EFFECTS</b>					
A:IDADE	11651,0	2	5825,5	33,96	0,0000
B:POSICAO	52125,0	2	26062,5	151,91	0,0000
<b>INTERACTIONS</b>					
AB	10783,7	4	2695,92	15,71	0,0000
RESIDUAL	121983,0	711	171,565		
TOTAL (CORRECTED)	196542,0	719			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Multiple Range Tests for DIAMETRO DOS VASOS by IDADE

Method: 95,0 percent Tukey HSD			
IDADE	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
3	240	113,297	X
1	240	113,771	X
5	240	122,057	X
<b>Contrast</b>			
		Difference	+/- Limits
1 - 3		0,474236	2,80815
1 - 5		*-8,28638	2,80815
3 - 5		*-8,76062	2,80815

\* denotes a statistically significant difference.

Multiple Range Tests for DIAMETRO DOS VASOS by POSICAO

Method: 95,0 percent Tukey HSD			
POSICAO	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
1	240	104,755	X
2	240	119,477	X
3	240	124,892	X
<b>Contrast</b>			
		Difference	+/- Limits
1 - 2		*-14,7217	2,80815
1 - 3		*-20,1372	2,80815
2 - 3		*-5,41547	2,80815

\* denotes a statistically significant difference.

**APÊNDICE E - TESTE DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA) E  
COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (TUKEY) PARA OS FATORES IDADE E POSIÇÃO  
PARA A FREQUENCIA DOS FEIXES**

Analysis of Variance for FREQUENCIA DOS FEIXES - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
<b>MAIN EFFECTS</b>					
A: IDADE	5103,28	2	2551,64	6,14	0,0063
B: POSICAO	2832,94	2	1416,47	3,41	0,0479
<b>INTERACTIONS</b>					
AB	397,652	4	99,413	0,24	0,9137
<b>RESIDUAL</b>					
	11222,7	27	415,656		
<b>TOTAL (CORRECTED)</b>					
	19556,6	35			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Multiple Range Tests for FREQUENCIA DOS FEIXES by IDADE

Method: 95,0 percent Tukey HSD			
IDADE	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
1	12	164,321	X
5	12	187,644	X
3	12	191,146	X

Contrast	Difference	+/- Limits
1 - 3	*-26,825	20,6423
1 - 5	*-23,3233	20,6423
3 - 5	3,50167	20,6423

\* denotes a statistically significant difference.

Multiple Range Tests for FREQUENCIA DOS FEIXES by POSICAO

Method: 95,0 percent Tukey HSD			
POSICAO	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
1	12	173,112	X
2	12	176,578	X
3	12	193,422	X

Contrast	Difference	+/- Limits
1 - 2	-3,46583	20,6423
1 - 3	-20,31	20,6423
2 - 3	-16,8442	20,6423

\* denotes a statistically significant difference.

## APÊNDICE F - TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS PARA PARTE INTERNA E EXTERNA DO DIAMETRO DOS VASOS E FREQUENCIA DOS FEIXES

### DIÂMETRO DOS VASOS

Comparison of Means

-----  
95,0% confidence interval for mean of EXTERNA: 101,633 +/- 1,43132 [100,201,103,064]  
95,0% confidence interval for mean of INTERNA: 131,117 +/- 1,45018 [129,667,132,567]  
95,0% confidence interval for the difference between the means  
assuming equal variances: -29,4841 +/- 2,03757 [-31,5217,-27,4465]

t test to compare means

Null hypothesis: mean1 = mean2  
Alt. hypothesis: mean1 NE mean2  
assuming equal variances: t = -28,3611 P-value = 0,0

### CONCENTRAÇÃO DOS VASOS

Comparison of Means

-----  
95,0% confidence interval for mean of EXTERNA: 211,422 +/- 10,5082 [200,914,221,93]  
95,0% confidence interval for mean of INTERNA: 150,651 +/- 7,11524 [143,536,157,766]  
95,0% confidence interval for the difference between the means  
assuming equal variances: 60,7708 +/- 12,4675 [48,3033,73,2383]

t test to compare means

Null hypothesis: mean1 = mean2  
Alt. hypothesis: mean1 NE mean2  
assuming equal variances: t = 9,72159 P-value = 0,0

**APÊNDICE G - TESTE DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA) E  
COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (TUKEY) PARA OS FATORES IDADE E POSIÇÃO  
PARA A DENSIDADE BASICA**

Analysis of Variance for DENSIDADE – Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
<b>MAIN EFFECTS</b>					
A:IDADE	0,222139	2	0,11107	31,55	0,0000
B:POSICAO	0,0590403	2	0,0295202	8,38	0,0008
<b>INTERACTIONS</b>					
AB	0,00232264	4	0,00058066	0,16	0,9551
RESIDUAL	0,158431	45	0,00352068		
TOTAL (CORRECTED)	0,441933	53			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Multiple Range Tests for DENSIDADE by IDADE

Method: 95,0 percent Tukey HSD			
IDADE	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
1	18	0,602728	X
3	18	0,668372	X
5	18	0,759161	X

Contrast	Difference	+/- Limits
1 - 3	*-0,0656444	0,0479413
1 - 5	*-0,156433	0,0479413
3 - 5	*-0,0907889	0,0479413

\* denotes a statistically significant difference.

Multiple Range Tests for DENSIDADE by POSICAO

Method: 95,0 percent Tukey HSD			
POSICAO	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
1	18	0,631328	X
2	18	0,689856	X
3	18	0,709078	X

Contrast	Difference	+/- Limits
1 - 2	*-0,0585278	0,0479413
1 - 3	*-0,07775	0,0479413
2 - 3	-0,0192222	0,0479413

\* denotes a statistically significant difference.

**APÊNDICE H - TESTE DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA) E  
COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (TUKEY) PARA OS FATORES IDADE E POSIÇÃO  
PARA O TEOR DE UMIDADE**

Analysis of Variance for TEOR DE UMIDADE – Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
<b>MAIN EFFECTS</b>					
A:IDADE	8267,87	2	4133,93	25,41	0,0000
B:POSICAO	3130,48	2	1565,24	9,62	0,0003
<b>INTERACTIONS</b>					
AB	149,415	4	37,3537	0,23	0,9204
RESIDUAL	7321,75	45	162,706		
TOTAL (CORRECTED)	18869,5	53			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Multiple Range Tests for TEOR DE UMIDADE by IDADE

Method: 95,0 percent Tukey HSD

IDADE	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
-------	-------	---------	--------------------

5	18	60,4033	X
3	18	75,145	X
1	18	90,7089	X

Contrast	Difference	+/- Limits
1 - 3	*15,5639	10,3062
1 - 5	*30,3056	10,3062
3 - 5	*14,7417	10,3062

\* denotes a statistically significant difference.

Multiple Range Tests for TEOR DE UMIDADE by POSICAO

Method: 95,0 percent Tukey HSD

POSICAO	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
---------	-------	---------	--------------------

3	18	67,8161	X
2	18	72,6172	X
1	18	85,8239	X

Contrast	Difference	+/- Limits
1 - 2	*13,2067	10,3062
1 - 3	*18,0078	10,3062
2 - 3	4,80111	10,3062

\* denotes a statistically significant difference.

**APÊNDICE I - TESTE DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA) E  
COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (TUKEY) PARA OS FATORES IDADE E POSIÇÃO  
PARA A INSTABILIDADE DIMENSIONAL**

Analysis of Variance for BETA RADIAL – Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
<b>MAIN EFFECTS</b>					
A:POSICAO	2,26552	2	1,13276	1,37	0,2598
B:IDADE	98,5028	2	49,2514	59,41	0,0000
<b>INTERACTIONS</b>					
AB	12,4896	4	3,12239	3,77	0,0068
RESIDUAL	82,0763	99	0,829054		
TOTAL (CORRECTED)	195,334	107			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Multiple Range Tests for BETA RADIAL by IDADE

Method: 95,0 percent Tukey HSD

IDADE	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
-------	-------	---------	--------------------

1	36	4,26389	X
3	36	5,13917	X
5	36	6,58028	X

Contrast	Difference	+/-	Limits
1 - 3	*-0,875278		0,510674
1 - 5	*-2,31639		0,510674
3 - 5	*-1,44111		0,510674

\* denotes a statistically significant difference.

Multiple Range Tests for BETA RADIAL by POSICAO

Method: 95,0 percent Tukey HSD

POSICAO	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
---------	-------	---------	--------------------

2	36	5,14472	X
1	36	5,33972	X
3	36	5,49889	X

Contrast	Difference	+/-	Limits
1 - 2	0,195		0,510674
1 - 3	-0,159167		0,510674
2 - 3	-0,354167		0,510674

\* denotes a statistically significant difference.

## Analysis of Variance for BETA TANGENCIAL – Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
<b>MAIN EFFECTS</b>					
A: IDADE	26,0377	2	13,0188	16,34	0,0000
B: POSICAO	0,185756	2	0,0928778	0,12	0,8901
<b>INTERACTIONS</b>					
AB	23,2202	4	5,80506	7,29	0,0000
RESIDUAL	78,869	99	0,796656		
<b>TOTAL (CORRECTED)</b>					
	128,313	107			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

## Multiple Range Tests for BETA TANGENCIAL by IDADE

Method: 95,0 percent Tukey HSD

IDADE	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
1	36	5,61417	X
3	36	5,76528	X
5	36	6,72306	X

Contrast	Difference	+/- Limits
1 - 3	-0,151111	0,500596
1 - 5	*-1,10889	0,500596
3 - 5	*-0,957778	0,500596

\* denotes a statistically significant difference.

## Multiple Range Tests for BETA TANGENCIAL by POSICAO

Method: 95,0 percent Tukey HSD

POSICAO	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
3	36	5,97583	X
1	36	6,05806	X
2	36	6,06861	X

Contrast	Difference	+/- Limits
1 - 2	-0,0105556	0,500596
1 - 3	0,0822222	0,500596
2 - 3	0,0927778	0,500596

\* denotes a statistically significant difference.

## Analysis of Variance for BETA VOLUME - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
<b>MAIN EFFECTS</b>					
A:IDADE	195,797	2	97,8985	48,02	0,0000
B:POSICAO	0,403746	2	0,201873	0,10	0,9058
<b>INTERACTIONS</b>					
AB	48,981	4	12,2453	6,01	0,0002
RESIDUAL	201,85	99	2,03889		
<b>TOTAL (CORRECTED)</b>					
	447,032	107			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

## Multiple Range Tests for BETA VOLUME by IDADE

Method: 95,0 percent Tukey HSD  
 IDADE      Count      LS Mean      Homogeneous Groups

1	36	9,62722	X
3	36	10,6739	X
5	36	12,8592	X
<hr/>			
Contrast		Difference	+/- Limits
1 - 3		*-1,04667	0,800845
1 - 5		*-3,23194	0,800845
3 - 5		*-2,18528	0,800845

\* denotes a statistically significant difference.

## Multiple Range Tests for BETA VOLUME by POSICAO

Method: 95,0 percent Tukey HSD  
 POSICAO      Count      LS Mean      Homogeneous Groups

2	36	10,9775	X
1	36	11,0556	X
3	36	11,1272	X
<hr/>			
Contrast		Difference	+/- Limits
1 - 2		0,0780556	0,800845
1 - 3		-0,0716667	0,800845
2 - 3		-0,149722	0,800845

\* denotes a statistically significant difference.

## Analysis of Variance for ANISOTROPIA DE CONTRACAO - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
<b>MAIN EFFECTS</b>					
A: IDADE	1,82296	2	0,911478	22,08	0,0000
B: POSICAO	0,290289	2	0,145144	3,52	0,0333
RESIDUAL	4,25236	103	0,041285		
TOTAL (CORRECTED)	6,3656	107			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

## Multiple Range Tests for ANISOTROPIA DE CONTRACAO by IDADE

Method: 95,0 percent Tukey HSD

IDADE	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
5	36	1,03722	X
3	36	1,14278	X
1	36	1,35	X

Contrast	Difference	+/- Limits
1 - 3	*0,207222	0,113891
1 - 5	*0,312778	0,113891
3 - 5	0,105556	0,113891

\* denotes a statistically significant difference.

## Multiple Range Tests for ANISOTROPIA DE CONTRACAO by POSICAO

Method: 95,0 percent Tukey HSD

POSICAO	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
3	36	1,12278	X
1	36	1,16056	XX
2	36	1,24667	X

Contrast	Difference	+/- Limits
1 - 2	-0,0861111	0,113891
1 - 3	0,0377778	0,113891
2 - 3	*0,123889	0,113891

\* denotes a statistically significant difference.

**APÊNDICE J - TESTE DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA) E  
COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (TUKEY) PARA OS FATORES IDADE E POSIÇÃO  
PARA O moe NA FLEXÃO**

Analysis of Variance for MOE – Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
<b>MAIN EFFECTS</b>					
A:IDADE	3,34549E7	2	1,67274E7	10,05	0,0001
B:POSICAO	8,38445E7	2	4,19223E7	25,18	0,0000
<b>INTERACTIONS</b>					
AB	8,07147E6	4	2,01787E6	1,21	0,3132
RESIDUAL	1,19867E8	72	1,66482E6		
TOTAL (CORRECTED)	2,45238E8	80			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Multiple Range Tests for MOE by IDADE

Method: 95,0 percent Tukey HSD

IDADE	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
-------	-------	---------	--------------------

1	27	12990,6	X
3	27	13618,4	X
5	27	14554,7	X

Contrast	Difference	+/- Limits
1 - 3	-627,808	840,434
1 - 5	*-1564,1	840,434
3 - 5	*-936,295	840,434

\* denotes a statistically significant difference.

Multiple Range Tests for MOE by POSICAO

Method: 95,0 percent Tukey HSD

POSICAO	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
---------	-------	---------	--------------------

1	27	12289,3	X
3	27	14315,7	X
2	27	14558,8	X

Contrast	Difference	+/- Limits
1 - 2	*-2269,47	840,434
1 - 3	*-2026,45	840,434
2 - 3	243,023	840,434

\* denotes a statistically significant difference.

**APÊNDICE K - TESTE DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA) E  
COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (TUKEY) PARA OS FATORES IDADE E POSIÇÃO  
PARA O MOR NA FLEXÃO**

Analysis of Variance for MOR – Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
<b>MAIN EFFECTS</b>					
A:IDADE	3882,32	2	1941,16	8,72	0,0004
B:POSICAO	7480,24	2	3740,12	16,80	0,0000
<b>INTERACTIONS</b>					
AB	1721,64	4	430,41	1,93	0,1141
RESIDUAL	16026,9	72	222,596		
TOTAL (CORRECTED)	29111,1	80			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Multiple Range Tests for MOR by IDADE

Method: 95,0 percent Tukey HSD

IDADE	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
-------	-------	---------	--------------------

1	27	159,589	X
3	27	166,104	X
5	27	176,406	X

Contrast	Difference	+/- Limits
1 - 3	-6,51519	9,71804
1 - 5	*-16,8167	9,71804
3 - 5	*-10,3015	9,71804

\* denotes a statistically significant difference.

Multiple Range Tests for MOR by POSICAO

Method: 95,0 percent Tukey HSD

POSICAO	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
---------	-------	---------	--------------------

1	27	153,809	X
2	27	173,33	X
3	27	174,961	X

Contrast	Difference	+/- Limits
1 - 2	*-19,5207	9,71804
1 - 3	*-21,1522	9,71804
2 - 3	-1,63148	9,71804

\* denotes a statistically significant difference.

**APÊNDICE L - TESTE DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA) E  
COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (TUKEY) PARA OS FATORES IDADE E POSIÇÃO  
PARA O MOE NA COMPRESSÃO**

Analysis of Variance for MOE - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
<b>MAIN EFFECTS</b>					
A: IDADE	4,04996E6	2	2,02498E6	3,68	0,0331
B: POSICAO	7,49713E6	2	3,74856E6	6,81	0,0026
<b>INTERACTIONS</b>					
AB	1,39065E6	4	347661,0	0,63	0,6424
RESIDUAL	2,47615E7	45	550256,0		
TOTAL (CORRECTED)	3,76992E7	53			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Multiple Range Tests for MOE by IDADE

Method: 95,0 percent Tukey HSD

IDADE Count LS Mean Homogeneous Groups

1	18	3634,37	X
5	18	4132,99	XX
3	18	4272,3	X

Contrast	Difference	+/-	Limits
1 - 3	*-637,934		599,348
1 - 5	-498,623		599,348
3 - 5	139,311		599,348

\* denotes a statistically significant difference.

Multiple Range Tests for MOE by POSICAO

Method: 95,0 percent Tukey HSD

POSICAO Count LS Mean Homogeneous Groups

1	18	3655,06	X
2	18	3857,57	X
3	18	4527,03	X

Contrast	Difference	+/-	Limits
1 - 2	-202,502		599,348
1 - 3	*-871,968		599,348
2 - 3	*-669,466		599,348

\* denotes a statistically significant difference.

**APÊNDICE M - TESTE DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA) E  
COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (TUKEY) PARA OS FATORES IDADE E POSIÇÃO  
PARA O MOR NA COMPRESSÃO**

Analysis of Variance for MOR - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
<b>MAIN EFFECTS</b>					
A: IDADE	8960,48	2	4480,24	0,63	0,5344
B: POSICAO	29351,3	2	14675,6	2,05	0,1290
<b>INTERACTIONS</b>					
AB	5100,31	4	1275,08	0,18	0,9495
RESIDUAL	5,07943E6	711	7144,07		
TOTAL (CORRECTED)	5,12519E6	719			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Multiple Range Tests for MOR by IDADE

Method: 95,0 percent Tukey HSD

IDADE Count LS Mean Homogeneous Groups

3	258	120,601	X
1	204	122,815	X
5	258	128,733	X

Contrast Difference +/- Limits

1 - 3	2,214	18,5979
1 - 5	-5,91832	18,5979
3 - 5	-8,13232	17,4773

\* denotes a statistically significant difference.

Multiple Range Tests for MOR by POSICAO

Method: 95,0 percent Tukey HSD

POSICAO Count LS Mean Homogeneous Groups

1	204	115,018	X
2	258	125,044	X
3	258	132,086	X

Contrast Difference +/- Limits

1 - 2	-10,0256	18,5979
1 - 3	-17,0672	18,5979
2 - 3	-7,04163	17,4773

\* denotes a statistically significant difference.

**APÊNDICE N - TESTE DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA)  
E COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (TUKEY) PARA OS FATORES IDADE E POSIÇÃO  
PARA O MOR NA TRAÇÃO**

Analysis of Variance for MOR - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
<b>MAIN EFFECTS</b>					
A:IDADE	3882,32	2	1941,16	8,72	0,0004
B:POSICAO	7480,24	2	3740,12	16,80	0,0000
<b>INTERACTIONS</b>					
AB	1721,64	4	430,41	1,93	0,1141
<b>RESIDUAL</b>					
	16026,9	72	222,596		
<b>TOTAL (CORRECTED)</b>					
	29111,1	80			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Multiple Range Tests for MOR by IDADE

Method: 95,0 percent Tukey HSD			
IDADE	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
1	27	159,589	X
3	27	166,104	X
5	27	176,406	X

Contrast	Difference	+/- Limits
1 - 3	-6,51519	9,71804
1 - 5	*-16,8167	9,71804
3 - 5	*-10,3015	9,71804

\* denotes a statistically significant difference.

Multiple Range Tests for MOR by POSICAO

Method: 95,0 percent Tukey HSD			
POSICAO	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
1	27	153,809	X
2	27	173,33	X
3	27	174,961	X

Contrast	Difference	+/- Limits
1 - 2	*-19,5207	9,71804
1 - 3	*-21,1522	9,71804
2 - 3	-1,63148	9,71804

\* denotes a statistically significant difference.

**APÊNDICE O - TESTE DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FATORIAL (ANOVA) E  
COMPARAÇÃO DE MÉDIAS (TUKEY) PARA OS FATORES IDADE E POSIÇÃO  
PARA A DUREZA**

Analysis of Variance for DUREZA - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
<b>MAIN EFFECTS</b>					
A:IDADE	57,7095	2	28,8547	57,11	0,0000
B:POSICAO	4,76229	2	2,38115	4,71	0,0119
<b>INTERACTIONS</b>					
AB	2,38387	4	0,595967	1,18	0,3271
<b>RESIDUAL</b>					
	36,3804	72	0,505284		
<b>TOTAL (CORRECTED)</b>					
	101,236	80			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Multiple Range Tests for DUREZA by IDADE

Method: 95,0 percent Tukey HSD

IDADE	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
-------	-------	---------	--------------------

1	27	4,33711	X
3	27	5,21737	X
5	27	6,39741	X

Contrast	Difference	+/- Limits
1 - 3	*-0,880259	0,463007
1 - 5	*-2,0603	0,463007
3 - 5	*-1,18004	0,463007

\* denotes a statistically significant difference.

Multiple Range Tests for DUREZA by POSICAO

Method: 95,0 percent Tukey HSD

POSICAO	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
---------	-------	---------	--------------------

1	27	5,01207	X
2	27	5,33456	XX
3	27	5,60526	X

Contrast	Difference	+/- Limits
1 - 2	-0,322481	0,463007
1 - 3	*-0,593185	0,463007
2 - 3	-0,270704	0,463007

\* denotes a statistically significant difference.

## **ANEXOS**

## ANEXO A – GENEROS E ESPÉCIES DE BAMBU

Genus	Species	English Name
<i>Arundinaria</i>	<i>alpina, amabilis<sup>1</sup>, anceps, angustifolia, auricoma<sup>2</sup>, callosa, elegans, falcata, fastuosa<sup>3</sup>, fortunei, gigantea, graminea, griffithiana, hindsii, hookeriana, humilis, intermedia, khasiana, manni, prainii, racemosa, tecta<sup>4</sup>, tessellata<sup>5</sup>, vagans, viridi-striata, wightiana</i>	1.Tonkin cane 2.Golden haired bamboo 3.Narihira bamboo 4.Switch cane 5.Mountain bamboo
<i>Bambusa</i>	<i>arundinacea<sup>1</sup>, balcooa, beecheiana, blumeana, burmanica, dissimilator<sup>2</sup>, dolichomerithalla, edulis, glaucescens<sup>3</sup>, khasiana, laxa, longispiculata, malingensis, multiplex, nutans, oldhami, pachinensis, pallia, pervariabilis, polymorpha, stenostachya, textilis, tulta, tuloides<sup>4</sup>, ventricosa<sup>5</sup>, vulgaris<sup>6</sup>, wrayi</i>	1.Thorny bamboo 2.Durable thorny bamboo 3.Hedge or Chinese Goddess bamboo 4.Punting pole bamboo 5.Buddha's belly bamboo 6.Painted bamboo
<i>Cephalostachyum</i>	<i>capitatum, pergracile, virgatum</i>	
<i>Chimonobambusa</i>	<i>marmorea<sup>1</sup>, quadrangularis</i>	1.Marble bamboo
<i>Chusquea</i>	<i>culeou, coronalis, longipendula, pilgeri, ramosissima, simpliciflora</i>	
<i>Dendrocalamus</i>	<i>asper, giganteus, hamiltonii, hookerii, latiflorus, longispathus, membranaceus, merrillianus, pendulus, sikkimensis, sinuatus, strictus<sup>1</sup></i>	1.Male bamboo or Calcutta bamboo
<i>Dinochloa</i>	<i>Maclellandii, darvelana, obclavata, prunifera, robusta, scabrida, sripatangensis, sublaevigata, trichogona</i>	
<i>Gigantochloa</i>	<i>apus<sup>1</sup>, albopilosa, albovestita, hasskarkiana, holttumiana, levii, ligulata, macrostachya, ridleyi, rostrata, scorchedinii, thoii, wrayi verticillata,</i>	1.Tabashir bamboo
<i>Guadua</i>	<i>aculeata, amplexifolia, angustifolia, capitata, inermis, latifolia, paniculata, superba, tagoara, tomentosa, virgata, werbertauneri</i>	
<i>Holttumochloa</i>	<i>korbuensis, magica, pubescens</i>	
<i>Indocalamus</i>	<i>latifolius, tessellatus</i>	
<i>Kinabaluchloa</i>	<i>wrayi</i>	
<i>Melocalamus</i>	<i>Compactiflora</i>	

Fonte: Ahmad (2000)

<i>Melocanna</i>	<i>baccifera</i> <sup>1</sup>	1.Muli bamboo
<i>Ochlandra</i>	<i>capitata, travancorica</i> <sup>1</sup>	1.Elephant grass
<i>Oxytenanthera</i>	<i>abyssinica, albociliata, nigrociliata</i>	
<i>Phyllostachys</i>	<i>angusta</i> <sup>1</sup> , <i>arcana</i> , <i>aurea</i> <sup>2</sup> , <i>aureosulcata</i> <sup>3</sup> , <i>bambusoides</i> <sup>4</sup> , <i>bissetii</i> , <i>congesta</i> , <i>decora</i> <sup>5</sup> , <i>dulcis</i> <sup>6</sup> , <i>elegans</i> <sup>7</sup> , <i>flexuosa</i> , <i>glauca</i> , <i>heterocycla</i> , <i>humilis</i> , <i>makinoi</i> <sup>8</sup> , <i>meyeri</i> <sup>9</sup> , <i>nidularia</i> <sup>10</sup> , <i>nigra</i> <sup>11</sup> , <i>nuda</i> , <i>propinqua</i> , <i>pubescens</i> <sup>12</sup> , <i>purpurata</i> , <i>rubromarginata</i> , <i>viridi-glaucescens</i> , <i>viridis</i> , <i>vivax</i>	1.Stone bamboo 2.Pheonix, fish pole or golden bamboo 3.Yellowgrove bamboo 4.Giant timber bamboo 5.Beautiful bamboo 6.Sweetshoot bamboo 7.Elegant bamboo 8.Mikano bamboo 9.Meyer bamboo 10.Big node bamboo 11.Black bamboo 12.Moso bamboo
<i>Pleioblastus</i>	<i>argenteostriatus</i> , <i>chino</i> , <i>pumilus</i> , <i>fortunei</i> , <i>pygmaeus</i> , <i>simonii</i> , <i>viridistriatus</i>	
<i>Pseudosasa</i>	<i>japonica</i> <sup>1</sup> , <i>disticha</i> <sup>2</sup> , <i>pumila</i> , <i>pygmaea</i> , <i>tessellata</i> , <i>variegata</i> <sup>3</sup> ,	1.Arrow bamboo 2.Dwarf fernleaf bamboo 3.Dwarf whitestripe bamboo
<i>Pseudostachyum</i>	<i>polymorphum</i>	
<i>Racemobambos</i>	<i>setifera</i> , <i>gibbsiae</i> , <i>glabrahepburnii</i> , <i>hirsuta</i> , <i>pairinii</i> , <i>rigidifolia</i>	
<i>Sasa</i>	<i>kagamiana</i> , <i>kurilensis</i> , <i>palmata</i> , <i>tsuboiana</i> , <i>veitchii</i> <sup>1</sup>	1.Kumazasa bamboo
<i>Schizostachyum</i>	<i>hainanense</i> , <i>lima</i> , <i>lumampao</i> , <i>aciculare</i> , <i>brachucladum</i> , <i>gracile</i> , <i>grande</i> , <i>iraten</i> , <i>juculans</i> , <i>latifolium</i> , <i>lengguanii</i> , <i>zollingeri</i>	
<i>Semiarundinaria</i>	<i>fastuosa</i> , <i>yashadake</i> ,	
<i>Shibataea</i>	<i>kumasasa</i>	
<i>Sinarundinaria</i>	<i>murielae</i> , <i>nitida</i> <sup>1</sup>	1.Fountain bamboo
<i>Teinostachyum</i>	<i>dullooa</i>	
<i>Thamnocalamus</i>	<i>falconeri</i> , <i>spathaceus</i> <sup>1</sup> , <i>spathiflora</i>	1.Umbrella bamboo
<i>Thyrsostachys</i>	<i>Oliverii</i> , <i>siamensis</i>	
<i>Yushania</i>	<i>tessellata</i>	

Fonte: Ahmad (2000)

**ANEXO B – PROPRIEDADES MECÂNICAS DE DIFERENTES ESPÉCIES DE BAMBU**

Common <sup>†</sup> and botanical names of species (source)	Re <sup>*</sup>	Condition	Relative Density	Static bending			Compression parallel to grain (psi)	Tension parallel to grain (psi)	Shear parallel to grain (psi)
				Modulus of rupture (psi)	Modulus of Elasticity (X 10 <sup>6</sup> psi)	Stress at proportional limit (psi)			
Giant Timber Bamboo <i>Phyllostachys bambusoides</i> (Japan, widely planted in U.S.)	14	green dry	0.48	10,084 14,894	1.04 1.55	-	4,452 6,126	14,580 17,413	-
Thorny Bamboo <i>Bambusa arundinacea</i> (India)	36	green dry	0.583 0.649	10,656 13,834	1.34 1.76	6,584 8,925	4,895 9,251	-	-
Terai Bamboo <i>Melocanna beccaria</i> (Pakistan, Burma, India)	36	green dry	0.751 0.817	7,549 8,173	1.62 1.84	4,682 6,158	5,080 9,918	-	-
Thanawha <i>Thyrsostachys oliverii</i> (Thailand, Burma, India)	36	green dry	0.733 0.758	8,783 12,770	1.38 1.72	4,725 7,180	6,655 8,230	-	-
Buloh Duri <i>Bambusa blumeana</i> (Malaysia, Indonesia, India, Philippines)	7	green dry	-	16,088	0.60	4,192	3,928	-	698
Buloh Gading <i>Bambusa vulgaris</i> (Malaysia, Indonesia, Sudan, S. America, Thailand, Philippines, Bangladesh)	7	green dry	- 0.700	8,833	1.01	5,890	4,086	-	657
Buloh Semantan <i>Gigantochloa scorchedinii</i> (Malaysia)	7	green dry		8,620	0.72	5,965	4,176	-	656
Moso Bamboo <i>Phyllostachys pubescens</i> (China, Japan, successfully planted in U.S.)	21	green dry	0.666	14,118	1.15	6,953	6,016	1,745	1,632
Balku Bans** <i>Bambusa balcooa</i> (India)	21	green dry	0.785	9,237	1.06	-	6,612	-	-
Picble** <i>Bambusa nutans</i> (India)	21	green dry	0.631 0.693	8,840 12,330	1.39 1.76	4,739 6,981	6,428 10,201	-	-
Tulda <i>Bambusa tulda</i> (India, Pakistan, Burma, Thailand, S.America)	21	green dry	- 0.640	17,438	1.83	10,528	9,223	-	-
Punting Pole Bamboo** <i>Bambusa tuldaoides</i> (China, Malaysia, Brazil, El Salvador)	21	green dry	- 0.830	21,950	- 2.30	11,976	-	-	-
Guadua** <i>Guadua angustifolia</i> (Ecuador, Colombia, Peru, Argentina to Panama)	21	green dry	- 0.820	- 20,546	- 2.50	- 11,961	-	-	-

Fonte: Ahmad (2000)

Buloh Aur Buluk** <i>Bambusa burmanica</i> (Burma, Thailand, India, Malaysia)	37	green dry	0.570 0.672	8,471 14,898	1.56 2.53	5,846 7,719	5,151 9,436	-	-
Phai Songkham** <i>Bambusa pallida</i> (India, Thailand)	37	green dry	0.731 -	7,832 -	1.83 -	4,768 -	6,995 -	-	-
Buddha's Belly Bamboo** <i>Bambusa ventricosa</i> (China)	37	green dry	0.626 -	4,838 -	0.48 -	2,426 -	5,009 -	-	-
Tinwa** <i>Cephalostachyum</i> <i>peregrinum</i> (India, Burma, Thailand)	37	green dry	0.601 0.640	7,463 10,117	1.58 2.73	4,540 6,442	5,009 7,123	-	-
Wabo-myetsangye** <i>Dendrocalamus</i> <i>hamiltonii</i> (India, Burma, Thailand, Laos, Vietnam, Bangladesh)	37	green dry	0.515 -	5,676 -	0.35 -	2,497 -	5,931 -	-	-
Savannah Bamboo** <i>Oxytenanthera</i> <i>abyssinica</i> (Ethiopia, Angola, Ghana)	37	green dry	0.688 -	11,862 -	2.12 -	6,584 -	7,107 -	-	-
Thorny Bamboo** <i>Bambusa arundinacea</i> (Bangladesh, India)	39 <sup>††</sup>	green dry	0.690 0.790	11,380 13,196	1.93 2.53	7,648 8,513	6,045 6,825	-	-
Mitenga** <i>Bambusa longispiculata</i> (Bangladesh, India, Thailand)	39 <sup>††</sup>	green dry	0.650 0.910	5,874 7,180	1.15 1.46	3,973 4,867	6,371 7,903	-	-
Buloh Gading** <i>Bambusa vulgaris</i> (Malaysia, Indonesia, Sudan, S. America, Thailand, Philippines, Bangladesh)	39 <sup>††</sup>	green dry	0.580 0.790	9,010 10,968	1.62 1.70	6,853 7,875	5,193 6,782	-	-
Giant Bamboo** <i>Dendrocalamus</i> <i>giganteus</i> (Burma, Bangladesh, India, Sri Lanka, Thailand, Madagascar)	39 <sup>††</sup>	green dry	0.620 0.730	2,171 7,350	0.21 1.39	1,632 1,745	4,455 7,151	-	-
Buloh Duri** <i>Bambusa blumeana</i> (Malaysia, Indonesia, India, Philippines)	40 <sup>††</sup>	green dry	0.537 -	4,119 -	1.28 -	2,930 -	5,730 -	-	-
Bolo** <i>Gigantochloa levis</i> (Philippines, Malaysia)	40 <sup>††</sup>	green dry	0.539 -	2,843 -	1.51 -	2,161 -	6,048 -	-	-

† - Some common names have been translated and passed to English usage. Other common names used could be found in Anon (21), Wong (23) and Farrell(30).

\* - Reference

\*\* - Full size test (round bamboo)

†† - Strength value from middle portion of bamboo.

Fonte: Ahmad (2000)

## ANEXO C – PROPRIEDADES MECÂNICAS DE DIFERENTES ESPÉCIES DE MADEIRA

Nome comum (dicotiledôneas)	Nome científico	$\rho_{ap\,(12\%)}^{\text{1)}$ kg/m <sup>3</sup>	$f_{c0}^{\text{2)}$ MPa	$f_{10}^{\text{3)}$ MPa	$f_{190}^{\text{4)}$ MPa	$f_v^{\text{5)}$ MPa	$E_{c0}^{\text{6)}$ MPa	$n^{\text{7)}$
Angelim araroba	<i>Vataireopsis araroba</i>	688	50,5	69,2	3,1	7,1	12 876	15
Angelim ferro	<i>Hymenolobium spp</i>	1 170	79,5	117,8	3,7	11,8	20 827	20
Angelim pedra	<i>Hymenolobium petraeum</i>	694	59,8	75,5	3,5	8,8	12 912	39
Angelim pedra verdadeiro	<i>Dinizia excelsa</i>	1 170	76,7	104,9	4,8	11,3	16 694	12
Branquinho	<i>Termilalia spp</i>	803	48,1	87,9	3,2	9,8	13 481	10
Cafeirana	<i>Andira spp</i>	677	59,1	79,7	3,0	5,9	14 098	11
Canáfstula	<i>Cassia ferruginea</i>	871	52,0	84,9	6,2	11,1	14 613	12
Casca grossa	<i>Vochysia spp</i>	801	56,0	120,2	4,1	8,2	16 224	31
Castelo	<i>Gossypiospermum praecox</i>	759	54,8	99,5	7,5	12,8	11 105	12
Cedro amargo	<i>Cedrela odorata</i>	504	39,0	58,1	3,0	6,1	9 839	21
Cedro doce	<i>Cedrela spp</i>	500	31,5	71,4	3,0	5,6	8 058	10
Champagne	<i>Dipterys odorata</i>	1 090	93,2	133,5	2,9	10,7	23 002	12
Cupiúba	<i>Gouania glabra</i>	838	54,4	62,1	3,3	10,4	13 627	33
Catiúba	<i>Qualea paraensis</i>	1 221	83,8	86,2	3,3	11,1	19 426	13
<i>E. Alba</i>	<i>Eucalyptus alba</i>	705	47,3	69,4	4,6	9,5	13 409	24
<i>E. Camaldulensis</i>	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	899	48,0	78,1	4,6	9,0	13 286	18
<i>E. Citriodora</i>	<i>Eucalyptus citriodora</i>	999	62,0	123,6	3,9	10,7	18 421	68
<i>E. Cloeziana</i>	<i>Eucalyptus cloeziana</i>	822	51,8	90,8	4,0	10,5	13 963	21
<i>E. Dunnii</i>	<i>Eucalyptus dunnii</i>	690	48,9	139,2	6,9	9,8	18 029	15
<i>E. Grandis</i>	<i>Eucalyptus grandis</i>	640	40,3	70,2	2,6	7,0	12 813	103
<i>E. Maculata</i>	<i>Eucalyptus maculata</i>	931	63,5	115,6	4,1	10,6	18 099	53
<i>E. Maidene</i>	<i>Eucalyptus maidene</i>	924	48,3	83,7	4,8	10,3	14 431	10
<i>E. Microcorys</i>	<i>Eucalyptus microcorys</i>	929	54,9	118,6	4,5	10,3	16 782	31
<i>E. Paniculata</i>	<i>Eucalyptus paniculata</i>	1 087	72,7	147,4	4,7	12,4	19 881	29
<i>E. Propinqua</i>	<i>Eucalyptus propinqua</i>	952	51,6	89,1	4,7	9,7	15 561	63
<i>E. Punctata</i>	<i>Eucalyptus punctata</i>	948	78,5	125,6	6,0	12,9	19 360	70

<sup>1)</sup>  $\rho_{ap(12\%)}$  é a massa específica aparente a 12% de umidade.

<sup>2)</sup>  $f_{c0}$  é a resistência à compressão paralela às fibras.

<sup>3)</sup>  $f_{10}$  é a resistência à tração paralela às fibras.

<sup>4)</sup>  $f_{190}$  é a resistência à tração normal às fibras.

<sup>5)</sup>  $f_v$  é a resistência ao cisalhamento.

<sup>6)</sup>  $E_{c0}$  é o módulo de elasticidade longitudinal obtido no ensaio de compressão paralela às fibras.

<sup>7)</sup>  $n$  é o número de corpos-de-prova ensaiados.

### NOTAS

1 As propriedades de resistência e rigidez apresentadas neste anexo foram determinadas pelos ensaios realizados no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeiras (LaMEM) da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da Universidade de São Paulo.

2 Coeficiente de variação para resistências a solicitações normais:  $\delta = 18\%$ .

3 Coeficiente de variação para resistências a solicitações tangenciais:  $\delta = 28\%$ .

Fonte: ABNT 7190 (1997)

Nome comum (dicotiledôneas)	Nome científico	$\rho_{ap}$ <sup>1)</sup> kg/m <sup>3</sup>	$f_{co}$ <sup>2)</sup> MPa	$f_{t0}$ <sup>3)</sup> MPa	$f_{t90}$ <sup>4)</sup> MPa	$f_v$ <sup>5)</sup> MPa	$E_{co}$ <sup>6)</sup> MPa	<sup>7)</sup> n
<i>E. Saligna</i>	<i>Eucalyptus saligna</i>	731	46,8	95,5	4,0	8,2	14 933	67
<i>E. Tereticornis</i>	<i>Eucalyptus tereticornis</i>	899	57,7	115,9	4,6	9,7	17 198	29
<i>E. Triantha</i>	<i>Eucalyptus triantha</i>	755	53,9	100,9	2,7	9,2	14 617	08
<i>E. Umbra</i>	<i>Eucalyptus umbra</i>	889	42,7	90,4	3,0	9,4	14 577	08
<i>E. Urophylla</i>	<i>Eucalyptus urophylla</i>	739	46,0	85,1	4,1	8,3	13 166	86
Garapa Roraima	<i>Apuleia leiocarpa</i>	892	78,4	108,0	6,9	11,9	18 359	12
Guaiçara	<i>Luetzelburgia spp</i>	825	71,4	115,6	4,2	12,5	14 624	11
Guarucaia	<i>Peltophorum vogelianum</i>	919	62,4	70,9	5,5	15,5	17 212	13
Ipê	<i>Tabebuia serratifolia</i>	1 068	76,0	96,8	3,1	13,1	18 011	22
Jatobá	<i>Hymenaea spp</i>	1 074	93,3	157,5	3,2	15,7	23 607	20
Louro preto	<i>Ocotea spp</i>	684	56,5	111,9	3,3	9,0	14 185	24
Maçaranduba	<i>Manilkara spp</i>	1 143	82,9	138,5	5,4	14,9	22 733	12
Mandioqueira	<i>Qualea spp</i>	856	71,4	89,1	2,7	10,6	18 971	16
Oiticica amarela	<i>Clarisia racemosa</i>	756	69,9	82,5	3,9	10,6	14 719	12
Quarubarana	<i>Erisma uncinatum</i>	544	37,8	58,1	2,6	5,8	9 067	11
Sucupira	<i>Diplostropis spp</i>	1 106	95,2	123,4	3,4	11,8	21 724	12
Tatajuba	<i>Bagassa guianensis</i>	940	79,5	78,8	3,9	12,2	19 583	10

<sup>1)</sup>  $\rho_{ap}(12\%)$  é a massa específica aparente a 12% de umidade.  
<sup>2)</sup>  $f_{co}$  é a resistência à compressão paralela às fibras.  
<sup>3)</sup>  $f_{t0}$  é a resistência à tração paralela às fibras.  
<sup>4)</sup>  $f_{t90}$  é a resistência à tração normal às fibras.  
<sup>5)</sup>  $f_v$  é a resistência ao cisalhamento.  
<sup>6)</sup>  $E_{co}$  é o módulo de elasticidade longitudinal obtido no ensaio de compressão paralela às fibras.  
<sup>7)</sup> n é o número de corpos-de-prova ensaiados.

NOTAS

1 Coeficiente de variação para resistências a solicitações normais  $\delta = 18\%$ .  
 2 Coeficiente de variação para resistências a solicitações tangenciais  $\delta = 28\%$ .

Fonte: ABNT 7190 (1997)

Nome comum (coníferas)	Nome científico	$\rho_{ap}$ (12%) kg/m <sup>3</sup>	$f_{c0}$ <sup>2)</sup> MPa	$f_{t0}$ <sup>3)</sup> MPa	$f_{t90}$ <sup>4)</sup> MPa	$f_v$ <sup>5)</sup> MPa	$E_{c0}$ <sup>6)</sup> MPa	<sup>7)</sup> n
Pinho do Paraná	<i>Araucaria angustifolia</i>	580	40,9	93,1	1,6	8,8	15 225	15
<i>Pinus caribea</i>	<i>Pinus caribea</i> var. <i>caribea</i>	579	35,4	64,8	3,2	7,8	8 431	28
<i>Pinus bahamensis</i>	<i>Pinus caribea</i> var. <i>bahamensis</i>	537	32,6	52,7	2,4	6,8	7 110	32
<i>Pinus hondurensis</i>	<i>Pinus caribea</i> var. <i>hondurensis</i>	535	42,3	50,3	2,6	7,8	9 868	99
<i>Pinus elliottii</i>	<i>Pinus elliottii</i> var. <i>elliottii</i>	560	40,4	66,0	2,5	7,4	11 889	21
<i>Pinus oocarpa</i>	<i>Pinus oocarpa shiede</i>	538	43,6	60,9	2,5	8,0	10 904	71
<i>Pinus taeda</i>	<i>Pinus taeda L.</i>	645	44,4	82,8	2,8	7,7	13 304	15

<sup>1)</sup>  $\rho_{ap(12\%)}$  é a massa específica aparente a 12% de umidade.  
<sup>2)</sup>  $f_{c0}$  é a resistência à compressão paralela às fibras.  
<sup>3)</sup>  $f_{t0}$  é a resistência à tração paralela às fibras.  
<sup>4)</sup>  $f_{t90}$  é a resistência à tração normal às fibras.  
<sup>5)</sup>  $f_v$  é a resistência ao cisalhamento.  
<sup>6)</sup>  $E_{c0}$  é o módulo de elasticidade longitudinal obtido no ensaio de compressão paralela às fibras.  
<sup>7)</sup> n é o número de corpos-de-prova ensaiados.

NOTAS

1 Coeficiente de variação para resistências a solicitações normais  $\delta = 18\%$ .  
 2 Coeficiente de variação para resistências a solicitações tangenciais  $\delta = 28\%$ .

Fonte: ABNT 7190 (1997)