

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Painel de bambu laminado colado estrutural**

**Claudia de Lima Nogueira**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em  
Recursos Florestais. Área de concentração: Tecnologia de  
Produtos Florestais

**Piracicaba**

**2008**

Claudia de Lima Nogueira  
Arquiteta Urbanista

## **Painel de bambu laminado colado estrutural**

**Orientador:**  
**Prof. Dr. JOSÉ NIVALDO GARCIA**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Recursos Florestais. Área de concentração: Tecnologia de Produtos Florestais

**Piracicaba**

**2008**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Nogueira, Claudia de Lima  
Painel de bambu laminado colado estrutural / Claudia de Lima Nogueira. - -  
Piracicaba, 2008.  
92 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2008.  
Bibliografia.

1. Bambu 2. Estrutura da madeira 3. Propriedades físicas 4. Propriedades mecânicas I.  
Título

CDD 676.14

**“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”**

**Dedico o presente trabalho aos meus pais pelo incentivo e a Deus pela saúde da minha amada avó.**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiro gostaria de agradecer a oportunidade de estudar na Universidade de São Paulo, devido a sua estrutura, ao excelente corpo docente e ao apoio e incentivo à pesquisa dados aos estudantes. Com a mesma intensidade agradeço ao CNPq.

Fazendo uma retrospectiva da minha trajetória dentro da instituição, vejo que uma folha seria pouco para tantos agradecimentos. Tudo começou quando fui conversar com o Professor Garcia sobre a possibilidade de orientar uma pesquisa sobre componentes de madeira usados na construção civil. Esse professor me abriu as portas para pesquisa, ciência e para o laboratório de engenharia da madeira que fica sob sua supervisão. Durante o tempo em que não era aluna regular, cursei algumas matérias e enquanto amadurecia a idéia do projeto de pesquisa, tive uma conversa informal com a Professora Tsai sobre a aplicação do bambu na área da arquitetura, foi ai que tive a certeza de que esse seria o material usado na minha pesquisa. Falei com o Professor Garcia, montei o projeto de pesquisa e o submeti para ingresso no programa de pós-graduação em Recursos Florestais. Enquanto me preparava para a prova, utilizei a biblioteca do IPEF e tive a ajuda preciosa da Maria Alice. No dia em que fui entrevistada estava visivelmente nervosa e só fui me acalmar após as palavras do Professor Geraldo: Cláudia não há razão para tanto nervosismo, você não é assim. Esse professor certamente nem imagina o quanto àquelas palavras foram importantes para mim. Tornei-me uma aluna regular e comecei a investigar a planta dos Deuses. Lembro-me que fui a biblioteca do CENA e a Bibliotecária Marília me passou instruções e dicas de pesquisa que uso até hoje. Depois veio a coleta do material que foi uma tarefa bem difícil, pois não imaginava o quanto é trabalhoso derrubar um único colmo. Para tanto tive ajudas preciosas! Primeiro do pessoal da sessão de Parques e jardins da ESALQ. Iniciei algumas análises com esse material e após 6 meses atinei que os colmos coletados estavam infestados por brocas, foi quando recorri ao grupo Bambu Brasil. Com a perda do material tive que providenciar tudo novamente e dessa vez contei com a ajuda do Facco, Trivella e do Professor Stape que gentilmente cedeu seu funcionário Zé Martins. Ainda no inicio da minha trajetória fui conhecer um dos professores que é um ícone no Brasil quando se trata de bambu, o Professor Marco Pereira da UNESP. O Pereira me presenteou com seu conhecimento tanto na área de cultivo como na tecnologia da madeira. A cada experimento, surgiam novos contatos. Foi em uma dessas pesquisas que conheci o Sergio. Ele foi uma das pessoas que me instigou a investigar a

penetração do adesivo na estrutura anatômica do bambu. Foi então que fiz o curso de Microscopia eletrônica de varredura (MEV) ministrada pelo Professor Kitajima e iniciei um estudo sobre a anatomia do bambu analisada através de micrografias geradas pelo MEV. A ajuda da bióloga Mônica e da Professora Neusa Nogueira (CENA) com as micrografias foram imprescindíveis e quando surgiam dúvidas que não conseguia solucionar corria para o conhecimento do Professor Tomazello que sempre foi muito solícito. Agradeço aos técnicos: Udemilson (laboratório de química da madeira – ESALQ) por ter cedido uma estufa para secagem das ripas, Maria (Laboratório de anatomia da madeira ESALQ) pela preparação das amostras para análise no MEV, ao Beto (laboratório de fisiologia das árvores) pela atenção no monitoramento das peças secas em estufa e ao Facco que acompanhou e me ajudou em todas as etapas dessa pesquisa. Sou imensamente agradecida aos funcionários da Serraria da ESALQ que não mediram esforços ao me ajudar quando precisei. E com tantos agradecimentos não posso deixar de lado a equipe do RUCAS que diariamente me forneceu alimentos proporcionando energia para prosseguir com os estudos. Meus sinceros agradecimentos vão para a equipe da secretaria do departamento de Ciências Florestais (Marcelo, Raquel e especialmente a Catarina), para todo o corpo docente da tecnologia, para a comissão de pós-graduação do programa de Recursos Florestais, para o pessoal da Biblioteca central da ESALQ, especialmente para a Eliana e Silvia. Para que fosse possível a realização dessa pesquisa tive o apoio das empresas henkel e adespec que me forneceram os adesivos.

Não posso deixar de citar o ótimo clima do laboratório proporcionado por uma equipe impar (Maris, Julieth, Facco, Garcia e aos estagiários Lampião, Gampi,) que diga se de passagem me deu grande incentivo. Durante esses anos construí grandes amizades que pretendo levar por toda minha vida, foram momentos impagáveis que passei ao lado da Camila (Douby) e da Patrícia (vó). Depois veio o pessoal do CECU (centro cultural), da salinha da pós (Renata, Gisele, Michele, Laurão, Grelha, Wiri e Luciélío) e é lógico que toda essa trajetória não seria possível sem a ajuda dos meus pais (que foram bastante pacientes com a minha ausência nos finais de semana), das minhas irmãs Luciana e Denise, do meu cunhado João Carlos, meu primo Eduardo, meu sobrinho Lucca que me contagiava de alegria a cada retorno para casa. Ficam registrados os meus agradecimentos à todos os que foram citados e aos que não foram também (às vezes escapa alguém). Digo com certeza absoluta que a ajuda de todos foi imensurável. Thank you very, very much!!!!

We should be flexible in our  
life like bamboo, because if it  
blows down by wind, it gets up  
again! *Japanese Proverb*

## SUMÁRIO

RESUMO.....	10
ABSTRACT.....	11
1 INTRODUÇÃO.....	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1 Crescimento do colmo de bambu.....	14
2.2 Anatomia da parede do colmo.....	16
2.2.1 Macro camadas da parede do colmo.....	18
2.2.1.1 Camada Externa - Epiderme – (Córtex) .....	18
2.2.1.2 Camada Interna.....	18
2.2.1.3 Camada Central.....	19
2.2.2 Parênquima.....	19
2.2.3 Feixes Fibrovasculares.....	21
2.2.3.1 Tipo I - open type.....	23
2.2.3.2 Tipo II - Tught-waist.....	23
2.2.3.3 Tipo III - Broken waist.....	23
2.2.3.4 Tipo IV - Double broken.....	23
2.2.3.5 Tipo V - Semi open.....	24
2.2.3.6 Tipo VI .....	24
2.2.4 Vasos (Metaxilema) .....	25
2.2.5 Fibras.....	25
2.3 Composição Química do Bambu.....	29
2.4 Descrição da espécie <i>D. giganteus</i> .....	30
2.5 Propriedades Mecânicas e Físicas.....	32
2.5.1 Propriedades mecânicas.....	32
2.5.2 Propriedades físicas.....	34
2.6 Durabilidade Natural do Bambu.....	35
2.7 Painéis.....	38
2.7.1 Pannel de partículas de bambu (Bamboo Particleboard) e OSB.....	39
2.7.2 Compensado de Bambu (Bamboo plywood) .....	40



2.7.3 Esteira de bambu compensado (Mat Plywood).....	41
2.7.4 Chapas de bambu reconstituído (Reconstituted Bamboo Boards).....	41
2.7.5 Bambu laminado colado (Glued Laminated Bamboo) .....	41
2.7.6 Pisos de Bambu Laminado Colado (Bamboo Flooring) .....	42
2.7.7 Viga de bambu laminado colado (Laminated bamboo lumber) .....	44
2.8 Adesivos.....	45
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	46
3.1 Coleta do material.....	46
3.2 Processamento das ripas de bambu.....	46
3.3 Processo de laminação.....	47
3.4 Montagem dos painéis.....	50
3.5 Sorteio da manufatura dos compósitos.....	50
3.6 Colagem e prensagem.....	50
3.7 Adesivos utilizados.....	52
3.8 Preparação dos corpos-de-prova para os ensaios.....	53
3.9 Sorteio da retirada os corpos e prova.....	55
3.10 Ensaio mecânicos.....	55
3.11 Ensaio Físicos.....	55
3.12 Macro Análise da anatomia do bambu.....	56
3.13 Micro Análise.....	56
4 RESULTADO E DISCUSSÃO.....	58
4.1 Macro Análise.....	58
4.2 Propriedades físico-mecânicas.....	59
4.2.1 Compressão.....	59
4.2.2 Cisalhamento na lâmina de cola.....	61
4.2.3 Cisalhamento longitudinal tangencial às fibras.....	63
4.2.4 Cisalhamento radial.....	65
4.2.5 Módulo de ruptura na flexão estática.....	67
4.2.6 Módulo de elasticidade na flexão estática.....	70
4.2.7 Dureza longitudinal.....	72
4.2.8 Dureza radial.....	74

4.2.9 Massa específica.....	76
4.2.10 Absorção de água em massa.....	77
4.2.11 Inchamento.....	79
4.2.12 Comparação entre BLC e Madeira.....	80
4.3 Micro Análise do material.....	83
5 CONCLUSÕES.....	87
REFERÊNCIAS.....	89

## RESUMO

### Painel de bambu laminado colado estrutural

A busca por produtos fabricados com matéria prima renovável e cuja transformação não cause impactos ambientais motivou a presente pesquisa que se refere à utilização do colmo de bambu como material lenhoso na fabricação de painéis estruturais, para uso na construção civil. O Bambu apresenta algumas vantagens em relação a outras matérias primas, pois além de ser renovável, como a madeira e crescer mesmo em áreas marginais, apresenta um crescimento tão rápido que permite sua utilização estrutural já a partir de 3 anos de idade. O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar as propriedades físico-mecânicas de painéis à base de bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus* e compará-los entre si. A variação radial dos feixes fibrovasculares dentro da parede do colmo motivou a obtenção de lâminas de duas posições consideradas anatomicamente discrepantes, próxima à epiderme e próxima à lacuna do centro do colmo. Os colmos foram processados mecanicamente de tal forma a produzirem-se lâminas externas e internas que foram coladas e prensadas, originando os painéis BLC<sub>e</sub> (Bambu laminado colado com lâminas externas) e BLC<sub>i</sub> (lâminas internas). Amostras foram retiradas desses compósitos e observadas no microscópio eletrônico de varredura (MEV) para avaliar variáveis da matéria prima e do processo de fabricação que influenciam na qualidade do painel, principalmente a adesão entre as lâminas constituintes. A resistência ao cisalhamento no plano de cola foi a propriedade mais crítica, dentre as estudadas na presente pesquisa, porque sendo baixa, influenciou negativamente no módulo de elasticidade e, mais intensamente ainda, no módulo de ruptura, ambos na flexão estática. O inchamento, que se refere à variação da espessura do painel por absorção de água, foi considerado a propriedade desfavorável do painel de bambu, pois acumulou ao inchamento das lâminas individuais afastamentos indesejados que ocorreram as camadas constituintes do painel.

Palavras-chave: BLC; Bambu; Propriedades físicas; Propriedades mecânicas; Painéis estruturais de bambu

## ABSTRACT

### Bamboo structural glued laminated panel

The search for products manufactured with renewable raw material which can be produced through an industrialization which does not cause environmental impacts led this research work to considerate the use of bamboo culm as woody material to manufacture structural panels that can be used as construction material. Bamboo presents some advantages over other materials, because beside of being renewable as wood is and growing even in poor sites, presents so fast growth that allows the culm to be used for structural purposes from 3 years old. This study was carried out to evaluate physical and mechanical properties of bamboo based panels produced with *Dendrocalamus giganteus* bamboo species and comparing themselves with each other. The radial variation of fibre vascular bundles inside the bamboo culm wall had motivated taking laminas from two different positions considered anatomically discrepant, next to the epidermis and by the culm center. The culms were mechanically processed in a way to produce external and internal laminas that were glued and pressed originating the GLB<sub>e</sub> (Glued Laminate Bamboo with external laminas) and GLB<sub>i</sub> (internal laminas) panels. Specimens were taken from the composites and observed in a Scanning Electron Microscope (SEM) to evaluate raw material variables and manufacturing process variables that influence the panel quality especially the adhesion between component laminas. The shear strength on glued surface was the critical property among those studied in this research, because being low did affect the modulus of elasticity and, even more intensively, the modulus of rupture both in bending test. Swelling that refers to panel thickness variation due to absorption of water, was considered the most unfavorable property of the panel because accrued to the individual laminas swelling the unexpected displacement that pull apart the panel component layers.

Keywords: LGB; Bamboo; Strenght; Laminated bamboo panel

## 1 INTRODUÇÃO

Os problemas ambientais tornaram-se expressivos em vista do crescimento demográfico, forçando a considerar produtos aplicados na área da construção que não agridem ou que minimizem impactos ambientais. Com o desmatamento e pressão ambiental sobre as florestas tropicais e reflorestamentos, torna-se cada vez mais necessária à descoberta de insumos renováveis para a produção industrial e, também, de soluções alternativas capazes de atenuar, em parte, esse processo. O bambu apresenta potencial econômico de utilização, pois completa o seu crescimento em poucos meses e atinge o máximo de sua resistência em poucos anos. Além dos usos tradicionais onde essa matéria-prima tem sido convenientemente aplicada, alguns usos industriais do bambu já estão sendo desenvolvidos e melhor conhecidos, como por exemplo, celulose, materiais de engenharia e construção e produtos como pisos e elementos estruturais. O uso do bambu em produtos laminados colados utilizados no setor de construção civil, como por exemplo, pisos, painéis e vigas podem ser otimizados pela coleta de material na posição especial mais adequado do colmo. É necessário saber qual a melhor posição para a retirada das lâminas, tanto em relação à altura, quanto em relação à parede do bambu, pois há variações significativas de suas características anatômicas que influem nas propriedades físicas e mecânicas dentro do mesmo colmo. Adesão entre lâminas depende do adesivo e também das características anatômicas do material e varia com a posição em que as lâminas foram retiradas do colmo, seja da região mais periférica, rica em fibras, seja da mais interna, rica em parênquima.

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de produzir e avaliar as propriedades físicas e mecânicas de dois tipos de painéis à base de bambu, denominados BLCe (Bambu laminado colado com lâminas retiradas da camada externa da parede do colmo) e BLCi (Bambu laminado colado com lâminas retiradas da camada interna da parede do colmo). Na manufatura desses painéis foram utilizados dois tipos adesivos (PVA e Adespec). Para que fosse possível avaliar as características físicas e mecânicas de cada tipo de painel, foi necessária a adaptação dos corpos-de-prova devido à inexistência de uma norma específica para ensaios físicos e mecânicos de painéis laminados de bambu. A variabilidade das propriedades do BLCe e do BLCi foram em parte explicadas através de micrografias obtidas em microscópios estereoscópio e eletrônico de varredura. O trabalho inicia-se com uma revisão sobre o assunto, principalmente dos elementos

anatômicos encontrados na parede do colmo, seguida da metodologia do processo de manufatura e da análise do comportamento físico-mecânico dos compósitos.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Crescimento do colmo de bambu

Bambu é o nome dado às plantas da subfamília *Bambusoideae* pertencente à família das gramíneas (*Poaceae* ou *Gramineae*). É classificado como planta lenhosa, monocotiledônea, pertencente às angiospermas. Constitui-se de uma parte aérea denominada colmo e outra subterrânea caracterizada pela presença de rizoma e raiz. O rizoma é responsável pela propagação dos bambus. Os colmos desenvolvem-se a partir de rizomas cujas ramificações classificam os bambus em dois grupos principais denominados leptomorfos e paquimorfos.

Leptomorfos ou Alastrantes: os rizomas são alongados e finos, tendo entrenós longos. Os colmos crescem separados uns dos outros e são mais grossos que o rizoma que se alastra horizontalmente para os lados. Pereira e Beraldo (2007) mencionam que os rizomas desse grupo chegam, quando somados linearmente, ao valor de 50 a 100 mil metros por hectare. Os leptomorfos são encontrados em climas temperados como do Japão, Coréia e China onde o inverno é rigoroso. Em geral são representados nas espécies do gênero *Phyllostachys* (LOPEZ, 2003).

Paquimorfos ou Entouceirantes: os rizomas possuem forma de bulbos e entrenós curtos. Os colmos crescem próximos uns dos outros formando touceira, porque os rizomas, que se desenvolvem a partir de outros rizomas, alcançam pequenas distâncias na direção radial. Pereira e Beraldo (2007) afirmam que nesse grupo de bambus são formados de 5 a 10 novos colmos anualmente, dependendo da espécie, condições locais e manejo utilizado. Os paquimorfos são encontrados em climas tropicais das Américas, Ásia, África e Oceania. Esse tipo de rizoma é representado por gêneros como *Bambusa* e *Dendrocalamus* (LOPEZ, 2003).

Inicialmente os colmos aparentam pequenos brotos nos nós do rizoma, que crescem por alguns anos até que emergem do solo brotos nas formas, pequenas, espessas e cônicas, envolvidos por bainhas de folhas. A partir deste ponto o broto de bambu desenvolve em colmos com enorme velocidade (DUNKELBERG, 1985). Dentro de um ano alcançará o seu tamanho final e as folhas da bainha irão se soltar completamente.

Os colmos de bambu são compostos por nós, entrenós e diafragmas, como ilustra a Figura 1, que apresenta uma seqüência destes componentes. Os entrenós ocos são separados

transversalmente uns dos outros por diafragmas que se apresentam como nós na parte externa. Segundo Dunkelberg (1985), os diafragmas são os responsáveis pela maior flexibilidade e resistência dos colmos.



Figura 1 - Seqüência do colmo  
Fonte: Dunkelberg (1985)

O diâmetro do colmo permanece o mesmo desde o principio e, por essa razão não serve para indicar a idade da planta, que pode ser predita pelo aspecto e aparência da superfície externa do colmo. O bambu é muito brando e flexível, entre os quatro e doze primeiros meses, sendo apropriado para fabricação de cestos e artesanato em geral. Entre três e seis anos de idade, o colmo atinge sua resistência máxima sendo apropriado para utilização na construção civil (LOPEZ, 1974).

Ao contrário da madeira, o bambu possui uma superfície externa dura e outra interna tenra e de acordo com Dunkelberg (1985), após aproximadamente os três primeiros anos de crescimento as células dos colmos começam lignificar e formar silicato vagarosamente. A estrutura de célula lignificada do tecido e as propriedades tecnológicas do bambu são muito similares às da madeira (DUNKELBERG, 1985).



## 2.2 Anatomia da parede do colmo

O estudo da estrutura anatômica do colmo de bambu é base para compreensão de suas propriedades físicas, mecânicas e estruturais e, principalmente, de suas variações.

Grosser e Liese (1971) descrevem que o tecido do colmo de bambu em corte transversal é composto por fibras, feixes vasculares (xilema e floema) e parênquima. A Figura 2 (a) apresenta uma vista tri-dimensional do tecido do colmo de *Oxytenanthera abyssinica*.

Os feixes vasculares são formados pelo xilema, com dois vasos largos do metaxilema, pelo floema com tubos crivados conectados por células companheiras e protoxilema. Os vasos do xilema e os tubos crivados do floema são envolvidos por bainhas de esclerenquima. Tomazello e Azzini (1987) afirmam que além dessas bainhas, a maioria das espécies de bambu apresenta feixes de fibras isolados em um lado ou em ambos os lados do feixe vascular. A anatomia do colmo em um corte transversal pode ser observada na Figura 2 (b).

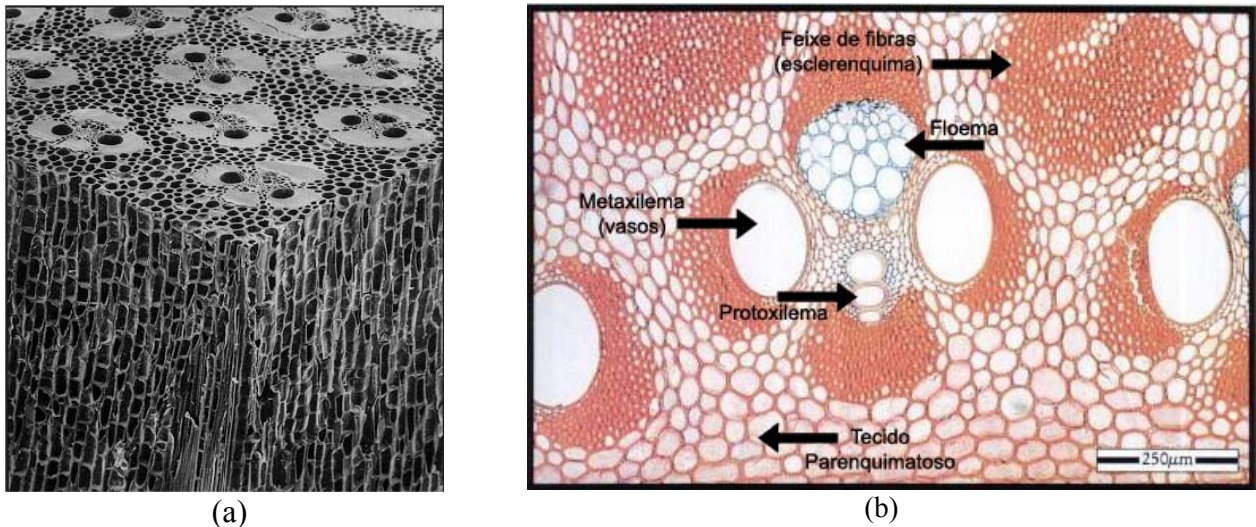


Figura 2 - Vista tri-dimensional do tecido do colmo de *Oxytenanthera abyssinica* (a) e elementos anatômicos da espécie *Phyllostachys edulis* vistos na seção transversal (b)

Fonte: Liese (1998)

Em média, o bambu apresenta 52 % de parênquima, 40 % de fibras e 8 % células condutoras (vasos e elementos crivados) no tecido do colmo.

A distribuição dos elementos anatômicos varia dentro da parede do colmo; Liese (1998) afirma que o teor de fibras decresce a partir da camada externa em direção à interna, ocorrendo o contrário com o tecido parenquimatoso.

Segundo Liese (1992), as fibras mais curtas estão sempre perto dos nós e as mais longas estão no meio do internó. A figura 3 (a) ilustra a região nodal, onde a grã é irregular devido ao arranjo das células. Nos internós os feixes vasculares apresentam arranjo uniforme diferente da região nodal onde as bainhas laterais de fibras são pouco desenvolvidas e aparecem ao lado do floema (Figura 3 (b)). O metaxilema possui somente um vaso (Figura 3(c)) e as posições do xilema e do floema podem mudar por causa da distorção. Essa figura também mostra a assimetria do feixe fibrovascular (LIESE, 1998).

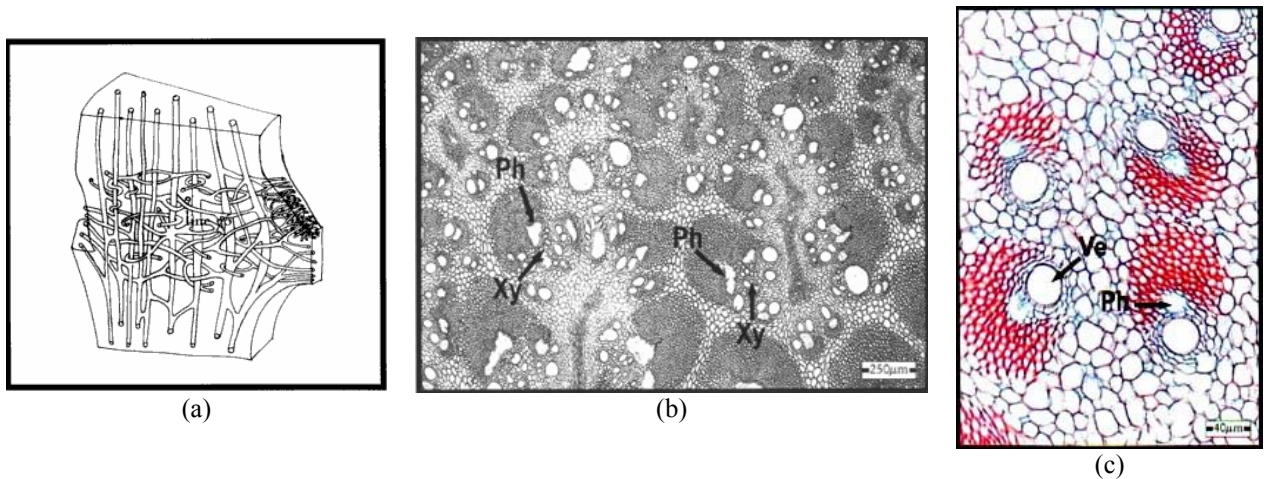


Figura 3 - Distorção dos feixes fibrovasculares na região nodal (a), irregularidade anatômica no diafragma (b) e feixes vasculares com apenas um vaso (c)

Onde: Ph: floema; Xy: xilema e ve: vaso

Fonte: Liese, (1998)

Bai (1996) menciona que a densidade dos nós é geralmente mais elevada do que a dos entrenós porque nessa região há menor quantidade de parênquima. Considera, entretanto, que a resistência à flexão, resistência à compressão e resistência ao cisalhamento são menores. A presença dos nós conduz a uma redução notável em todas as propriedades de resistência.

Segundo Liese (1992), o bambu não apresenta meristema cambial e elementos radiais, dificultando o movimento de distribuição transversal da seiva. A classificação dos gêneros de bambu fica restrita à seção transversal, pois as seções tangencial e radial do colmo de bambu não exibem características distintas, como acontece na madeira.

### **2.2.1 Macro camadas da parede do colmo**

Lopez (2003) descreveu a parede do colmo subdividida em 3 camadas, a primeira refere-se a uma fina camada localizada na epiderme denominada camada externa. A segunda é uma película localizada na parte interna da parede do colmo denominada camada interna, o restante, ou seja, todo o lenho do colmo se localiza na camada central. Dentre Lopez, outros autores também descreveram essas camadas, os relatos estão expostos a seguir.

#### **2.2.1.1 Camada Externa - Epiderme – (Córtex)**

A função da epiderme é a de revestimento. A disposição compacta das células forma uma camada resistente a choques mecânicos, impede a invasão de insetos e restringe a perda de água. As células epidérmicas caracterizam-se por estarem perfeitamente justapostas, sem deixar espaços intercelulares (Apezato e Carmello, 2003). De acordo com Liese (1998), as células da epiderme são freqüentemente revestidas por uma camada de cutina (mistura insolúvel que contém cera) de celulose e pectina com lamela tangencial formando uma cobertura cerosa. Nessa camada há grande quantidade de células de sílica contendo alto teor de dióxido de silício, o qual fortalece a camada epidérmica.

#### **2.2.1.2 Camada Interna**

A camada interna da parede do colmo, adjacente à cavidade central denominada lacuna é composta, praticamente, por células do parênquima que são freqüentemente grossas e altamente lignificadas (LOPEZ, 2003).

De acordo com Taihui e Wenwei citados por Lopez (2003), o tecido do parênquima que circunda os feixes vasculares funciona como uma zona amortecedora que contribui para a elasticidade dos colmos e a sua ausência os deixaria frágeis e inflexíveis.

### 2.2.1.3 Camada Central

Segundo Lopez (2007), a camada central compreende toda área fibrovascular do bambu, e está situada entre o córtex e a camada interna do colmo. Esta região é formada pelo material lenhoso do colmo.

Beraldo e Zoulalian citados por Rivero (2003) desenvolveram uma pesquisa sobre a distribuição dos elementos anatômicos encontrados na parte lenhosa do bambu. Essa parte foi subdividida em 3 que foram denominadas camadas interna, intermediária e externa. Os autores utilizaram duas espécies distintas de bambu. Os dados obtidos no estudo estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Distribuição dos elementos anatômicos nas camadas internas, intermediárias e externas do colmo

Camada do colmo	<i>Dendrocalamus giganteus</i>			<i>Phyllostachys viridis</i>		
	Vasos (%)	Fibras (%)	Parênquima (%)	Vasos (%)	Fibras (%)	Parênquima (%)
Interna	11	16	73	13	24	63
Intermediária	9	32	59	13	37	50
Externa	8	55	37	10	63	27

Fonte: Beraldo e Zoulalian apud Rivero (2003)

### 2.2.2 Parênquima

Segundo Parameswaran e Liese apud Liese (1998), há dois tipos de células de parênquima: células alongadas e células curtas intercaladas entre si, como apresenta a Figura 4 (a). As células alongadas do parênquima são caracterizadas por paredes mais espessas e tornam-se lignificadas nos primeiros estágios de crescimento do colmo. As mais curtas apresentam citoplasma mais denso e parede delgada e não se tornam lignificadas mesmo em colmos adultos. Essas células podem permanecer vivas em colmos com mais de dez anos.

Como as células do parênquima formam o tecido de armazenamento da planta, podem conter significativa quantidade de amido, como apresentado na Figura 4 (b). Segundo Tomazello

e Azzini (1987), as células intercomunicam-se através de pontuações simples localizadas nas paredes longitudinais.

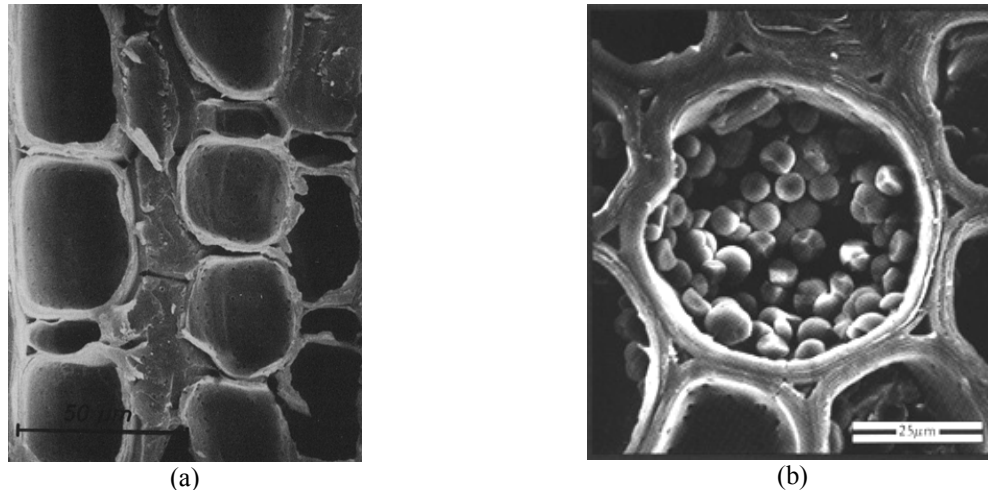


Figura 4 - Exemplo de células longas e curtas do parênquima na seção longitudinal (a) e Célula do parênquima da espécie *Phyllostachys viridiglaucescens* preenchida por grãos de amido (b)  
Fonte: Liese (1998)

O teor de amido como fonte de energia foi estudado por Liese e Weiner (1996), para o desenvolvimento da pesquisa, os autores utilizaram colmos de diferentes idades da espécie *P. viridiglaucescens* e observaram que não havia presença de amido durante o período de crescimento, pois todos os nutrientes são utilizados no metabolismo da planta, como pode ser observado na Figura 5 (a). Observaram presença abundante de amido em colmos mais velhos, inclusive em colmos de 12 anos de idade como ilustrado na Figura 5 (b).

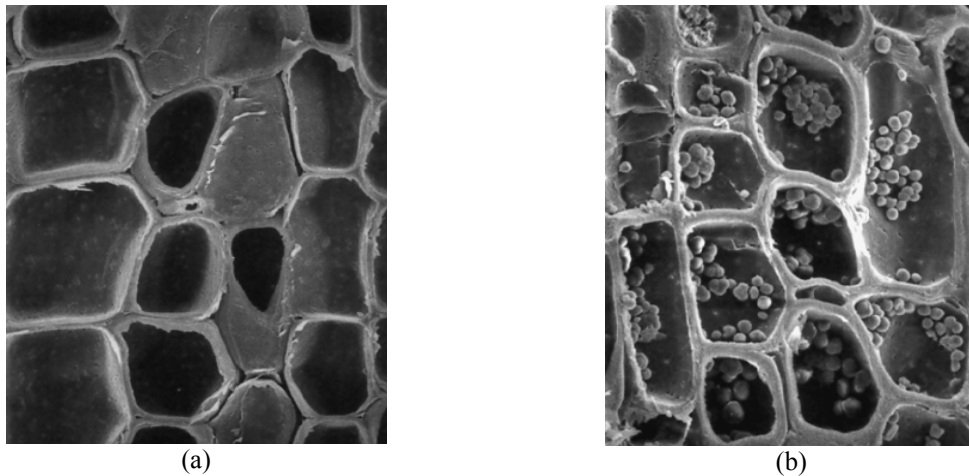


Figura 5 – Células do parênquima da espécie *Phyllostachys viridiglaucescens* no corte longitudinal 1 ano de idade (a) e 12 (b) anos de idade  
Fonte: Liese (1996)

Além de sua importância para o armazenamento e resistência do colmo, o parênquima também influencia no teor de umidade. Segundo Liese e Grover citados por Liese (1998), o teor de água do colmo é consideravelmente mais elevado na base do que no topo. Isso ocorre devido à diferença de quantidade de parênquima presente nessas regiões. Similarmente, a capacidade de reter água do colmo também varia com a posição longitudinal e está correlacionada com a quantidade de parênquima existente em cada posição. Segundo Liese (1998), o teor de umidade dos entrenós do colmo de *Dendrocalamus strictus*, do norte da Índia, era de 144% na base e 110% no topo em agosto. Em junho do ano seguinte esse teor diminuiu para 81% e 39%, respectivamente.

### 2.2.3 Feixes Fibrovasculares

Segundo Liese (1998), os feixes fibrovasculares são claramente observados macroscopicamente no corte transversal. Observa-se na Figura 6 a variação dos feixes fibrovasculares dentro da parede do colmo. As regiões mais escuras são representadas por células do esclerênquima e as mais claras representam as células parenquimatosas.

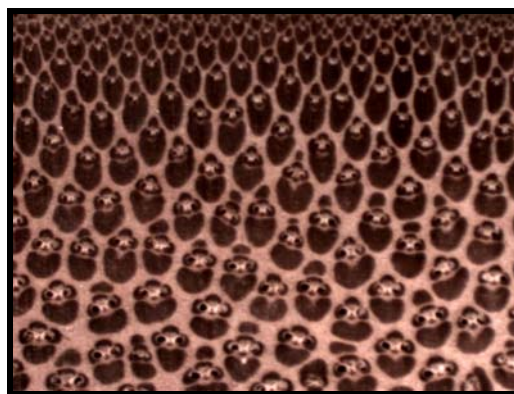


Figura 6 - Variação dos feixes de fibras na parede do colmo da espécie *D. giganteus*  
Fonte: Nogueira et al. (2007)

Dentro dos feixes vasculares condutores, os vasos (metaxilema) têm a finalidade de transportar água do rizoma subterrâneo para folhas no topo do colmo. Os elementos crivados (floema) transportam nutrientes das folhas para células do parênquima no rizoma e no colmo e o protoxilema situado entre os dois grandes vasos do metaxilema tem a função de transportar a água ao broto em fase de crescimento.

O topo do colmo tem densidade específica mais elevada por possuir mais feixes fibrovasculares e menos parênquima. A resistência à flexão e à compressão aumenta, portanto com altura. Em direção a camada interna da parede do colmo, os feixes vasculares tornam-se maiores e extensamente espaçados.

Os autores Grosser em 1971 e Grosser e Liese (1971 – 1973) conduziram uma pesquisa detalhada sobre os tipos de feixes fibrovasculares encontrados em 52 espécies e 14 gêneros. Os autores analisaram a variabilidade desses feixes na forma e tamanho e os agruparam em tipos básicos. Há uma variabilidade considerável na aparência dos feixes fibrovasculares dentro de um mesmo colmo, tanto na seção transversal da parede do colmo quanto no sentido longitudinal.

Segundo Grosser e Liese (1971), os conjuntos vasculares podiam ser classificados em 4 tipos de acordo com o número de regiões de esclerênquima, suas formas e o modo como se arranjam em torno dos vasos. Segundo Lopez (2003), em 1992 Ya e Xu adicionaram o tipo V e de acordo com Lybeer (2006), em 2000 Grosser e Liese adicionaram mais um tipo de feixe vascular aos anteriores. Os tipos de feixes fibrovasculares são descritos a seguir e apresentados na Figura 7.

### **2.2.3.1 Tipo I - open type**

Este tipo de feixe consiste em tecido vascular central com quatro feixes de fibras como tecido de sustentação (esclerênquima). As bainhas de esclerênquima dos feixes vasculares apresentam os mesmos tamanhos e são posicionadas simetricamente, como apresentado na Figura 7 (a). Mansur (2000) acrescenta que as bainhas de esclerênquima apresentam espaço intercelular com tilose. Este tipo de feixe está presente em espécies com rizoma monopodial, como as dos gêneros *Phyllostachys* e *Arundinaria* (LIESE; GROSSER apud LYBEER, 2006).

### **2.2.3.2 Tipo II - Tught-waist**

Este tipo de feixe consiste em tecido vascular central com 4 feixes de fibras como tecido de sustentação, como é ilustrado na Figura 7 (b). A bainha de esclerênquima do protoxilema é maior do que as outras três. Mansur (2000) acrescenta a informação que no espaço intercelular não há tiloses. As espécies de bambu que possuem este tipo de feixe vascular pertencem ao grupo paquimorfos. A figura 7 (b) ilustra esse tipo de feixe (LOPEZ, 2003; LIESE; GROSSER apud LYBEER, 2006).

### **2.2.3.3 Tipo III - Broken waist**

O feixe vascular do tipo III consiste de um feixe vascular central com bainhas de esclerênquima e um feixe de fibra isolado. A bainha do protoxilema é geralmente maior que as outras do feixe vascular. Essas características podem ser observadas a Figura 7 (c). As espécies de bambu que possuem este tipo de feixe vascular são do tipo paquimorfo nos gêneros *Gigantochloa*, *Dendrocalamus*, *Bambusa* (LOPEZ, 2003; LIESE apud LYBEER, 2006).

### **2.2.3.4 Tipo IV - Double broken**

O feixe vascular desse tipo está situado entre dois feixes de fibras isolados localizados ao lado do floema e protoxilema. O feixe vascular apresenta-se acompanhado por bainhas de esclerênquima pequenas. As espécies de bambu deste tipo são do tipo do grupo de paquimorfos,



nos gêneros *Gigantochloa*, *Dendrocalamus*, *Bambusa* e sempre ocorrem combinados com o tipo III (LOPEZ 2003; LIESE; GROSSER apud LYBEER, 2006). Esse tipo de feixe está ilustrado na figura 7 (d).

#### **2.2.3.5 Tipo V - Semi open**

Nesse tipo de feixe, não há bainhas de fibra, mas as bainhas laterais e do interior do feixe vascular são unidas, como apresenta a Figura 7 (e) (LOPEZ, 2003). Outra definição encontrada para esse tipo de feixe é dada por Grosser e Liese apud Lybeer (2006), que afirmam que esse tipo de feixe está parcialmente correlacionado aos tipos III e IV. Esse tipo é pouco freqüente entre as espécies.

#### **2.2.3.6 Tipo VI**

O feixe vascular do tipo VI pode ser observado na Figura 7(f). Esse tipo de feixe ocorre em tipos de bambu paquimorfo (ex: *Dinochloa* spp). A seção transversal apresenta o floema na forma oval alongada, os vasos do metaxilema, de diâmetro extremamente grande e de um espaço pequeno para o protoxilema. O esclerênquima é na maioria das vezes limitado a pequenas bainhas de células maiores.

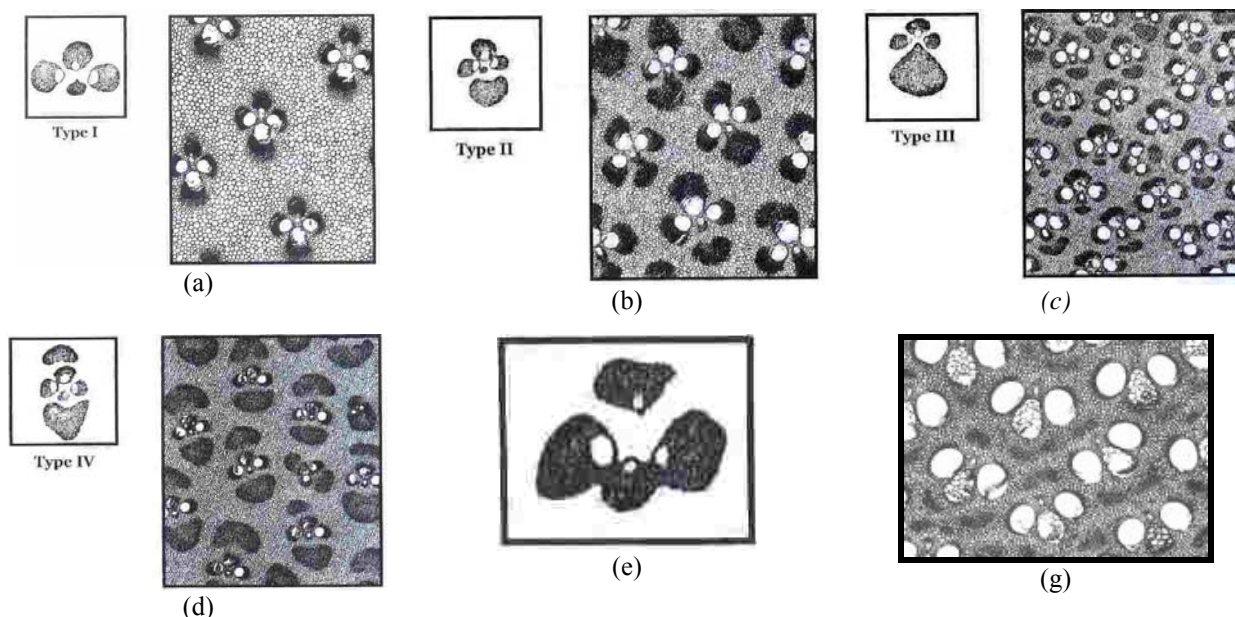


Figura 7 – Tipos de feixes vasculares encontrados nas diferentes espécies. Tipo I (a), Tipo II (b), Tipo III (c), Tipo IV (d), Tipo V (e) e Tipo VI (f)  
 Fonte: Lopez (2003) e Lybeer (2006).

#### 2.2.4 Vasos (Metaxilema)

Segundo Liese (1998), a área dos vasos é de grande importância para a condutividade da água na planta viva e no tratamento preservativo por substituição de seiva logo após a colheita.

O metaxilema consiste de dois vasos largos separados por parênquima. Dentro da região internodal, os vasos são orientados axialmente, sem interconexão, são cercados por uma ou duas camadas de células de parênquima lignificadas, e nos nós o metaxilema é caracterizado por apenas um vaso. Nos entrenós as células do parênquima são conectadas com os vasos através de pontuações semi-aureoladas (Liese, 1998). O diâmetro desses vasos aumenta da superfície exterior para interior do colmo.

#### 2.2.5 Fibras

As fibras compõem o tecido mecânico da planta e sua função é, essencialmente, a de dar resistência ao colmo. Segundo Lopez (2003), constituem em média 40 a 50% do tecido total da planta. Nos entrenós ocorrem nos feixes vasculares circundando os elementos condutores (xilema e floema) e nos feixes isolados denominados de bainhas ou feixe de fibras. Na periferia do colmo

próximo à epiderme, há geralmente uma ou duas camadas de fibras arranjadas umas próximas às outras proporcionando alta resistência mecânica. As fibras contribuem com 60 a 70% do peso total do colmo. São longas e afiladas em suas extremidades. Geralmente as fibras de bambu são mais longas que as de madeiras folhosas e mais curtas que as de coníferas. De acordo com Bai (1996), aproximadamente 50% das fibras estão localizadas na camada externa da parede do colmo.

Liese e Grosser (1972) apud Liese (1992), afirmam que o comprimento das fibras varia consideravelmente entre espécies. Determinadas espécies possuem fibras mais curtas, como o *Phyllostachys edulis* (1.5 mm) e outras possuem fibras mais longas como o *Dendrocalamus giganteus* (3.2 mm). O comprimento da fibra influencia a densidade e as propriedades de resistência relacionadas à flexão.

Liese (1985) propôs um modelo da micro-estrutura da fibra de bambu. De acordo com a Figura 8 (a), as letras “l” e “t” significam, respectivamente, orientação longitudinal e transversal das microfibrilas nas lamelas. Na lamela média, a parede primária P é a camada mais externa seguida pela parede secundária, com uma lamela de transição denominada S0 (O 0 significa que esta camada nem sempre é presente) e segue com subcamadas S1-l, S2-t, S3-l, S4-t, S5-l, S6-t, S7-l, S8-t. Dessa forma, as lamelas se alternam em espessa e fina orientadas, respectivamente, nas direções longitudinal e transversal. Nas lamelas mais espessas, as microfibrilas são orientadas no ângulo de 2 a 5° e em direção à parte interna da parede, o ângulo aumenta para 10 a 20°. A lamela delgada apresenta fibrilas orientadas no ângulo de 85 a 90°, sendo constante em toda a espessura da parede (Parameswaran; Liese citados por Liese, 1998).

A camada na delimitação do lúmen é do tipo fina ou espessa e não apresenta semelhança na textura fibrilar em relação à parede terciária típica das fibras da madeira. A Figura 8 (b) foi gerada em microscópio eletrônico de transmissão ilustrando a lamela média (CML) e as camadas de S1 a S6.

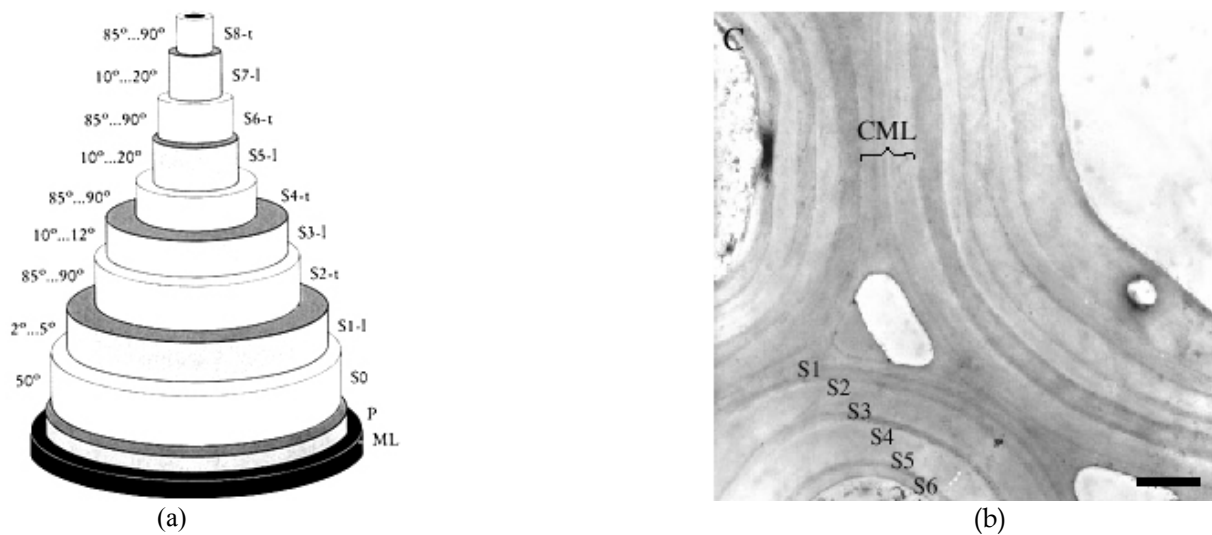


Figura 8 - Micro estrutura polilamelada da parede da fibra de bambu (a) e sua estrutura observada no microscópio eletrônico de transmissão (b)  
 Fonte: Liese (1998) para 8 (a) e Gritsh (2005)

Modificações nas estruturas das células podem influenciar nas propriedades físicas e mecânicas do bambu e, nesse aspecto, as fibras desenvolvem um papel importante. Liese e Weiner (1996) desenvolveram uma pesquisa utilizando amostras retiradas de colmos da espécie *Phyllostachys viridiglaucescens* de diferentes idades, que partiam desde a brotação até colmos com mais de 12 anos de idade. Os autores observaram os feixes fibrovasculares das amostras em microscópio eletrônico de varredura. Diversos tipos de fibras dentro de um feixe foram deparados nas análises efetuadas. As fibras em contato direto com o tecido parenquimatoso apresentaram múltiplas camadas com numerosas lamelas de transição delgadas, diferindo de outras fibras do mesmo feixe. As do centro do feixe eram maiores que as das extremidades e as que estavam em contato com o floema e protoxilema eram menores. Os autores encontraram dentro do feixe de fibras próximo ao protoxilema células maiores que podem ser representadas pelo grupo de células do parênquima, como apresentadas na Figura 9.

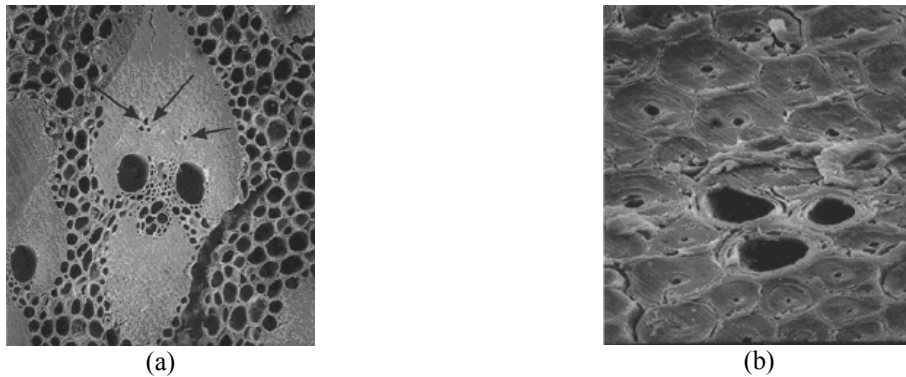


Figura 9 – Corte transversal do colmo de *Phyllostachy* mostrando três células de parênquima (indicadas por flechas) no interior de um feixe de fibras (a) e detalhe dessas células ampliadas (b)  
 Fonte: Liese (1996)

Notaram também que as fibras não apresentavam lignificação nos primeiros meses de crescimento do colmo. As amostras retiradas do 20º entrenó de um colmo em fase de crescimento apresentaram fibras com paredes delgadas começando a se unir. Nas amostras do colmo completamente formado e com a mesma idade do colmo em fase de crescimento, a parede da fibra era mais espessa. Em colmo de um ano a parede da fibra apresentava 3 lamelas lignificadas, como aponta a Figura 10 (a). Após um ano a fibra apresentava de 4 a 5 lamelas, portanto sua espessura aumentou. As fibras de colmos com idade entre 9 e 12 anos revelaram aumento adicional na espessura da parede e apresentaram 5 ou 6 camadas, como observado na Figura 10 (b) .

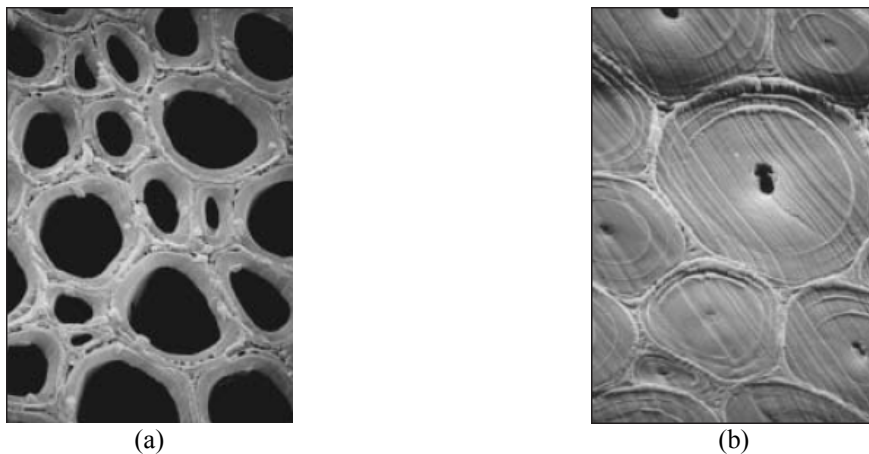


Figura 10 – Seção transversal de um feixe de fibras do colmo de um ano (a) e de 12 anos (b) da espécie *Phyllostachys viridiglaucens*  
 Fonte: Liese (1996)

O número de lamelas varia de fibra para fibra, sendo maior naquelas adjacentes aos elementos do sistema vascular ou na periferia do feixe de fibras.

A estrutura das fibras de bambu é de grande interesse devido à resistência que confere ao colmo. Portanto as fibras tem sido objeto de estudo de vários cientistas interessados na formação de sua estrutura. Diferentes autores relataram que a parede da fibra é formada por várias lamelas embora discordem quanto ao número, que pode chegar a 18.

### 2.3 Composição Química do Bambu

O colmo é coberto por película impermeável tanto na parte externa como na interna e seus principais constituintes são: celulose, hemicelulose e lignina. Os constituintes secundários se resumem em resinas, taninos, ceras, sais inorgânicos, e outros extrativos (BAI, 1996). Segundo Yongyu (1984), há também a composição nutricional formada por proteína (1.5 a 6%), glucose (2%), amido (2.02 a 5.18%), gordura e cera (2.18 a 3.55%). Liese (1992) afirma que esse tipo de composição é responsável pelo ataque de carunchos e brocas, especialmente da espécie *Dinoderus spp*, que vão à procura do amido no bambu. Os nós apresentam menos extrativos solúveis em água, hemicelulose (na maior parte pentoses), cinzas e lignina, porém mais celulose (BAI, 1996). O teor de cinza é maior na parte interna da parede do colmo e o maior teor de sílica é depositado na epiderme considerando que os nós contêm pouco silício e os tecidos dos entrenós não contêm quase nenhum. Liese (1992) afirma que a sílica afeta o corte e a qualidade da polpação e seu teor atinge entre 0,5 a 5% de acordo com as espécies. A composição química varia também com de acordo com a espécie, as condições de crescimento, a idade do bambu e a posição no colmo.

Os principais constituintes químicos do bambu apresentam teores similares aos de madeira conífera, como pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2 : Propriedades do bambu comparadas às propriedades das coníferas

<b>Componente</b>	<b>Bambu</b>	<b>Conífera</b>
Celulose	55	50
Lignina	25	25
Hemicelulose	20	25
Peso por volume kg/m <sup>3</sup>	600	600

Fonte: Janssen (1981)

Segundo Liese (1987) e Chumwarin (1975) citados por Bai (1996), a celulose de bambu consiste em cadeias lineares de unidades  $\beta$  - D - anidroglicosas unidas pelos carbonos 1 e 4 de cada uma das unidades participantes da cadeia. Possui estrutura bem ordenada e cristalina. O número de unidades de glicose ( $C_6H_{12}O_6$ ) em uma cadeia molecular indica o grau de polimerização. O grau de polimerização para o bambu é consideravelmente mais elevado em relação às madeiras dicotiledôneas. A celulose do bambu é difícil de ser isolada na forma pura porque está associada tanto às hemiceluloses quanto com a lignina.

A lignina representa o segundo maior constituinte do bambu. Segundo Abreu et al., citado por Xavier (2004), a lignina é um polímero de alto peso molecular, formado por unidades fenilpropanóides. O processo de lignificação dos elementos anatômicos de um colmo da espécie *Phyllostachys heterocycla* foi estudado por Itoh (1990), que acompanhou o desenvolvimento de colmos até 2 anos de idade e observou que o processo de lignificação desenvolve-se da camada externa em direção à interna e do topo do colmo em direção a parte basal. As células da epiderme e fibras antecedem o parênquima nesse processo e os vasos do metaxilema e as paredes das fibras iniciam o processo de lignificação pela lamela média e pelas bordas das células.

Segundo Jain (1992), o bambu pode ser considerado como um composto natural onde a lignina atua como matriz e as fibras de celulose como reforço. Ghavami (2005) descreve a lignina como um armazenador de energia responsável pela transferência de tensões entre as fibras e acrescenta que as fibras de celulose promovem grande resistência à tração, flexão e rigidez na seção longitudinal do colmo.

#### **2.4 Descrição da espécie *D. giganteus***

O bambu possui cerca de 50 gêneros e 1250 espécies que se distribuem naturalmente entre as latitudes 46° Norte e 47° Sul, sendo encontrados em altitudes entre 0 e 4.000 metros. Os bambus nativos crescem em todos os continentes, exceto na Europa, sendo que 62% das espécies são nativas da Ásia, 34% das Américas e 4% da África e Oceania (NUNES, 2005). Os vários tipos de bambu compreendem, desde espécies pequenas de 10 cm a 3 m de altura com diâmetros de 0,5 a 5 cm, até espécies gigantes que podem atingir cerca de 40 metros de altura com diâmetros que variam de 10 a 30 cm.

Segundo Graça apud Teixeira (2006), as espécies mais conhecidas de bambu no Brasil são de origem asiática, trazidas pelos primeiros colonizadores. Adaptaram-se bem ao clima tropical brasileiro e se expandiram rapidamente. Os gêneros mais comuns são: *Bambusa*, *Dendrocalamus* e *Phyllostachys*. Para uso em edificações geralmente utilizam-se bambus resistentes de médio à grande porte podendo-se citar o *Phyllostachys sp.*, *Guadua sp.*, *B. tuldooides* e *D. giganteus*.

Existem inúmeras espécies de bambu que apresentam variações em relação à altura, diâmetro, espessura das paredes dos colmos e espaçamento internodal. Tais características influenciam o comportamento mecânico do bambu, devendo ser observadas ao empregá-lo como material de construção. (GHAVAMI, 1984).

O gênero *Dendrocalamus* apresenta os maiores colmos de paredes espessas e de ótimo comportamento mecânico. Dentro desse gênero está a espécie o *Dendrocalamus giganteus*. Além da ótima resistência mecânica, esta espécie apresenta rápido crescimento. Segundo Nascimento (1990), o *D. giganteus* pode atingir até 36m de altura e 25 cm de diâmetro a 1 metro do solo. Notam-se três fases de crescimento distintas: A primeira é de crescimento até 5 metros de altura, quando o colmo chega a crescer 10 cm em 24h, a segunda fase de 5 até 15 metros de altura e o crescimento é em termos médios de 30 cm em 24 horas, e a ultima fase vai de 15 a 25 metros de altura e seu crescimento é de 15 cm em 24 h. A partir desse ponto o crescimento é lento. As condições atmosféricas, principalmente as chuvas, influenciam substancialmente a espécie.

Lin (1968) considerou que o *Dendrocalamus giganteus* é uma espécie de grande porte, possuindo colmos grandes, com altura entre 20 e 30 metros, diâmetro entre 20 e 30 cm, comprimento internodal de 30 a 45 cm e espessura de paredes entre 1 e 3 cm. A espessura da parede de colmo é importante para o processo de manufatura das lâminas, especialmente para esse trabalho, onde o intuito foi avaliar a resistência da camada interna e externa da parede do colmo em forma de lâminas.

Essa espécie é muito utilizada em construções, na produção de laminado colado, como também para fabricação de polpa e papel, utensílios domésticos e alimento.



## **2.5 Propriedades Mecânicas e Físicas**

As propriedades físicas e mecânicas estão diretamente correlacionadas às propriedades químicas e anatômicas do bambu. Outro fator que também influencia as propriedades mecânicas e físicas do colmo é a sua idade.

### **2.5.1 Propriedades mecânicas**

Considera-se que as propriedades mecânicas do bambu são ao menos similares, se não superiores às da madeira estrutural. Em muitos países, os colmos de bambu são usados tradicionalmente como elementos estruturais de casas, passarelas, estruturas de telhado e andaimes, que são extensamente utilizados para construção de prédios, especialmente no sudeste asiático.

O bambu é vastamente usado como material estrutural há centenas de anos. Segundo Yu et al (2003), alguns trabalhos científicos foram relatados comprovando o potencial do bambu como material estrutural. Os autores dos experimentos observaram o comportamento estrutural do bambu em tesouras e ligações entre colmos por Janssen (1981) e habitação pré-moldada por Gutierrez (2003).

Muito se fala sobre a idade ideal do colmo para o uso estrutural, sendo uma suposição geral dizer que o bambu maduro, com idade entre três e cinco anos apresente sua máxima resistência mecânica. Segundo Salgado et al. (1994), os colmos maduros apresentam melhor resistência mecânica em relação aos colmos novos devido à lignificação total das células. O tema gera controvérsias conforme relatado por Abd. Latif citado por Liese (1992), porque as numerosas investigações sobre as propriedades de resistência em relação à idade do colmo não mostraram resultados correspondentes. Segundo Zhou citado por Liese (1996), alguns relatórios mostraram valores elevados de resistência em colmos de um ano em relação a colmo mais velho; outros revelaram um aumento geral da resistência em colmos com idade de 6 a 8 anos, seguidos por uma diminuição de todas as propriedades de resistência em colmos de dez anos.

Além da idade outro fator bastante estudado por cientistas é a variação da resistência mecânica dentro de um mesmo colmo. Ghavami citado por Pereira (1997), apresentou alguns

dados de resistência mecânica da parte internodal e nodal, e também a variação das propriedades mecânicas em relação à altura do colmo da espécie *Dendrocalamus giganteus*. Tabela 3

Tabela 3 – Avaliação da resistência mecânica nas regiões nodal e internodal do colmo

R. C	Tração				Compressão				Flexão			
	Resistência		MOE		Resistência		MOR		Resistência		MOR	
	N	I	N	I	N	I	N	I	N	I	N	I
S	0,109	0,156	8,5	10,7	0,326	0,490	2,4	3,0	0,860	0,136	7,20	8,90
M.S	0,119	0,148	12,7	15,4	0,375	0,500	4,1	4,5	0,102	0,152	10,5	13,3
M	0,114	0,139	12,6	15,9	0,329	0,475	4,0	4,4	0,970	0,122	11,0	12,9
M.I	0,109	0,129	12,5	15,2	0,330	0,415	3,7	4,5	0,946	0,118	10,3	12,6
I	0,993	0,101	12,2	14,9	0,588	0,397	3,5	3,4	0,856	0,112	10,5	12,9

R.C (Região do colmo), S (Superior), M.S (Médio superior) M (Meio), M.I (Médio inferior), I (Inferior), N (nó), I (internó). Valores em (GPa)

Fonte: Ghavami apud Pereira (1997) adaptada

Lima Jr. et all. apud Pereira (1997), compararam características mecânicas e físicas utilizando as espécies *D. giganteus* e *B. vulgaris*. Os valores médios de algumas propriedades físicas e mecânicas são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Avaliação da resistência mecânica das espécies de bambu

	Compressão	Tração	Flexão	Tração (MOE)	Internós	Diâmetro	Espessura
<i>D. giganteus</i>	77	115	152	11	0,55-0,65	0,12-0,14	0,1-0,12
<i>B. vulgaris</i>	65	115	131	9	0,35-0,45	0,07-0,08	0,06-0,08

Os valores são apresentados em MPa para os ensaios de resistência à compressão, tração e flexão; em GPa para o ensaio de tração no módulo de elasticidade. Para os internós, diâmetro e espessura, a unidade usada foi metro

Fonte: Lima Jr. et all. apud Pereira (1997)

As características mecânicas do bambu são influenciadas por alguns fatores, dentre os quais pode-se citar: espécie, idade, tipo de solo, condições climáticas, época de colheita, teor de umidade das amostras, localização das mesmas em relação ao comprimento do colmo, presença ou ausência de nós nas amostras testadas e tipo do teste aplicado (GHAVAMI, 1989). Geralmente a região nodal apresenta menor resistência mecânica, fato comprovado por Lopez (1974), descrevendo que as amostras com a presença de nós retiradas de colmos das espécies do gênero *Phyllostachys* e *Arundinaria* apresentaram menores valores de resistência à tração em

relação a região internodal. O autor acrescenta que algumas espécies mostraram a mesma resistência à tração e obtiveram valores tão altos nos nós quanto aos internódios.

A variação da resistência mecânica do colmo de acordo com as espécies foi estudada por Pereira citado por Nunes (2005). O comportamento mecânico dessas espécies está apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Resistências mecânicas (Mpa) de algumas espécies de bambu

<b>Espécie</b>	<b>Tração</b>	<b>Compressão</b>	<b>Flexão</b>	<b>Cisalhamento</b>
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	135	40	108	46
<i>D. asper</i>	285	28	89	6,6
<i>D. strictus</i>	*	63	*	*
<i>Bambusa multiplex</i>	103	27	75	56
<i>B. tuldoides</i>	111	34	93	54
<i>B. vulgaris</i>	82	27	78	41
<i>B. vulgaris</i>	317	28	90	8,5
<i>B.vulgaris Schrad</i>	149	46	124	41
<i>B. balcoa</i>	*	45	*	*
<i>B. arundinacea</i>	297	34	76	9,5
<i>Guadua superba</i>	130	42	102	48
<i>G. verticilata</i>	237	29	82	8,0
<i>Plyllostachys bambusoide</i>	120	42		
<i>Gigantochoa apus</i>	296	30	84	7,2
<i>G. atter</i>	288	31	97	8,2

Fonte: Pereira apud Nunes (2005)

### 2.5.2 Propriedades físicas

A densidade está diretamente relacionada à estrutura anatômica do colmo e, é influenciada pela maneira como os elementos anatômicos se arranjam e pelas espessuras de suas paredes celulares. Esses elementos variam dentro do colmo, nos sentidos transversal e longitudinal. De

acordo com Lopez (2003), a massa específica aumenta ao longo do colmo, apresentando 0.547 g/cm<sup>3</sup> na região basal, 0.607 g/cm<sup>3</sup> à meia altura e 0.675g/cm<sup>3</sup> no topo.. Segundo Bai (1996), a massa específica do bambu relatada é de 0.5 g/cm<sup>3</sup> a 0.8 g/cm<sup>3</sup>, essa variação se deve à anatomia do colmo.

O bambu tem características higroscópicas similares à madeira, ou seja, absorve umidade do ambiente. Quando um bambu é colocado em lugar muito úmido, ele absorve umidade do ar e o contrário acontece quando o bambu saturado é colocado em espaços seco. A UPSF (umidade no ponto de saturação das fibras) é importante, pois é aquém dessa umidade que ocorrem as alterações na estrutura do bambu, como as contrações, que podem causar defeitos como empenos e rachaduras e conseqüentemente alterações na sua resistência mecânica. Segundo Kishen at al. apud Li (2004), a umidade no ponto de saturação da fibra do bambu é 20-22%.

Os bambus secam melhor ao ar porque a secagem rápida em estufa pode conduzir a rachaduras que surgem pelas retrações excessivas (LIESE, 1987).

Segundo Lopez (2003), o teor de umidade do colmo de bambu na condição verde varia de 40 a 150%. De acordo com Bai (1996) a média do teor de umidade é de 155% na camada interna e 70% na camada periférica 82% na base do colmo e 110% no topo. A variação do teor de umidade com a idade foi relatada por Grosser e Liese (1971), onde colmos de 1 ano de idade apresentaram teor de umidade de 120 a 130 % para *Dendrocalamus strictus*, enquanto que colmos de 3 a 4 anos nas posições base e ápice apresentaram, respectivamente, 100 e 60 % de umidade no momento em que foram colhidos.

De acordo com Liese (1985), o tecido de bambu retrai principalmente nas direções transversais e uma deformação mínima ocorre no sentido axial. A retração tangencial é mais elevada na camada externa da parede do que na interna.

Nascimento e Della Lucia (1994) relataram que a baixa estabilidade dimensional atribuída ao bambu está relacionada à grande porcentagem de tecido parenquimatoso (de paredes celulares delgadas) que colapsam durante a perda de água, mascarando dessa forma, os resultados da retratibilidade.

## **2.6 Durabilidade Natural do Bambu**

Segundo os autores Kurnst e Dobriyal citados por Bai (1996), a vida útil do bambu quando usado em contato com solo é de um a três anos e quando usado em construções rurais é de 10 a 15 anos. Em contato com águas marinhas, o bambu tem uma expectativa de vida de somente seis meses.

A estrutura anatômica e a sua composição química influenciam em todas as propriedades do bambu, inclusive, no que diz respeito à suscetibilidade ao ataque de fungos e insetos. O conteúdo das células parenquimáticas (amido, proteínas e açúcares) é atrativo alimentar para os insetos, além de proporcionar habitat favorável para seus desenvolvimentos (MATOSKI, 2005). O amido no bambu também contribui para o ataque de fungos tais como o de podridão mole, parda e branca (BAI,1996).

Segundo Lopez (2003), os bambus serrados são atacados geralmente por fungos de podridão quando estão armazenados em áreas sem ventilação, em contato com o solo, em ambientes úmidos, ou quando armazenados de forma inadequada.

Os insetos atacam tanto o colmo em sua forma natural, como processado em ripas e painéis, porém de forma mais intensa nesses produtos, porque os insetos quando atacam o colmo perfuram a camada interna em direção à camada lenhosa, rejeitando a película existente nessa camada, aliás, os insetos também rejeitam a camada externa devido ao alto teor de silício, portanto, quando o colmo é processado em lâminas retiram-se as duas camadas que são rejeitadas pelos insetos. De acordo com Plank citado por Lopez (2003), os insetos perfuram as extremidades serradas do colmo.

Segundo Lopez (2003), as brocas *Dinoderus minutus* são as mais encontradas nas Américas. A incidência de ataque dessas brocas no bambu tem forte correlação com a abundância de nutrientes, pois o amido, os carboidratos solúveis e as proteínas são nutricionalmente essenciais a elas (HAOJIE, 1996).

Foi observado o comportamento de insetos que atacam material lenhoso em casas construídas na Colômbia, utilizando madeira e bambu das espécies *Guadua angustifolia* e *Guadua cebolla*. Em alguns casos somente a madeira teve de ser substituída devido ao ataque de insetos, e em outros, o material substituído foi somente o bambu, concluindo que insetos como brocas, preferem o bambu e outros como cupins, a madeira, exceto aos cupins subterrâneos que atacam ambos, principalmente se estiverem em contato direto com o solo (LOPEZ, 2003).

Nogueira et al. (2007) conduziram uma pesquisa sobre dois tipos de vigas produzidas com lâminas retiradas das camadas interna e externa da parede do colmo de bambu da espécie *D. giganteus*. Parte desse material foi exposto em uma área infestada por insetos *Dinoderus minutus* (coleóptera – Bostrichidae) e a outra parte foi resguardada fora do alcance dos insetos. A Figura 13 (a) mostra o inseto perfurando uma das vigas expostas na área de infestação. O resultado dessa pesquisa apontou diferença significativa entre a condição do material, ou seja, o material não atacado pelo inseto apresentou melhor resistência mecânica. Foi constatado também que os insetos atacaram com maior intensidade as vigas produzidas com lâminas retiradas da camada interna da parede do colmo. A Figura 13 (b) aponta a preferência do inseto pelo tecido parenquimatoso e sua rejeição aos feixes de fibras. Observou-se que a lâmina externa, também possui tecido de parênquima, embora em menor quantidade, e que os insetos atacam justamente as células parenquimáticas como apresentado na Figura 13 (c).

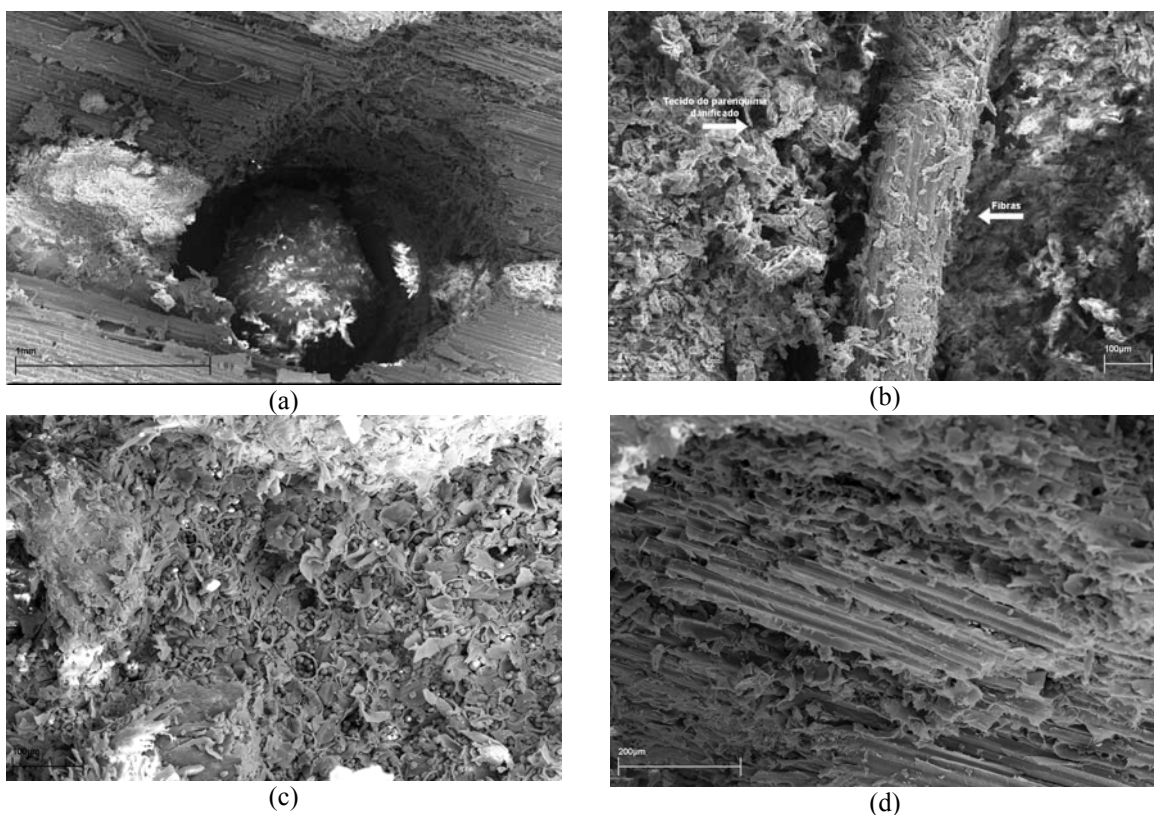


Figura 13 - Ataque do inseto *Dinoderus minutus* em uma amostra de viga laminada colada (a), resultado do ataque do inseto no tecido parenquimatoso da lâmina interna com rejeição por fibras (b), resultado do ataque do inseto nas células de parênquima preenchidas por grãos de amido na lamina interna (c), ataque do inseto na lamina externa (d)

Fonte: Nogueira et al. (2007)

## 2.7 Painéis

A indústria da construção vem utilizando materiais como tijolo de argila, aço e concreto, que até pouco tempo exibiam vantagens em relação a outros materiais. A preocupação em conservar o meio ambiente forneceu, entretanto, o surgimento de novas políticas industriais que resultaram na substituição de alguns tipos de materiais.

Em alguns países predominam construções pré-fabricadas, que vão desde o piso até à cobertura, proporcionando agilidade na execução e custo menor da obra, além do menor desgaste ambiental. Segundo relato dos autores Zhen e Xuhe (2005), há uma alta proporção de painéis de madeira sendo usada como elementos de vedação. No Japão essa proporção é 64%, nos EUA é de 47%, na Alemanha é de 41% e no Sudeste Asiático está acima de 30%.

Com o aumento da demanda dos recursos naturais aumenta também a necessidade de conservarem-se as florestas e surgem opiniões favoráveis à substituição da madeira por materiais igualmente renováveis. Segundo Bansal e Prasadt (2004), os produtos à base de plásticos, metais e outros materiais que são altamente consumidores de energia e não são biodegradáveis também devem ser substituídos.

Em 1988 a política nacional de floresta da Índia forçou o desenvolvimento de matéria prima que substituísse a madeira, alertando que tal substituição deveria ser feita através de fibras renováveis, pois alternativas vindas de recursos não renováveis, não seriam sustentáveis (ZHEN; XUHE, 2005).

Dentro dos diversos recursos renováveis o bambu foi redescoberto pelo mundo como um material futurístico, a ser utilizado não somente na sua forma natural, mas também como produtos manufaturados. Um bom exemplo desses produtos são os painéis de bambu. Segundo Lopez (2003), todos os tipos de painéis produzidos com madeira podem ser manufaturados com bambu, utilizando os mesmos princípios e equipamentos, exceto para a produção de compensado de bambu, pois necessita maquinário específico. Todos esses painéis são denominados materiais compostos.

Os compósitos de bambu são produzidos a partir dos elementos do colmo, tal as fibras, lâminas, partículas e cavacos, unidos através de adesivo, resultando em produtos com diferentes aplicações, porém a grande maioria é direcionada para a construção, como por exemplo, o compensado de bambu (LOPEZ, 2003). Zheng e Xuhe (2005), afirmam que os produtos à base de bambu apresentam vantagens como: painéis de grandes dimensões, alta resistência, estabilidade dimensional e alta resistência mecânica.

De acordo com Bai (1996), a Ásia contribuiu muito com pesquisas e desenvolvimento dos compósitos de bambu. Alguns deles já estão sendo produzidos em escala industrial e mostram-se promissores e com grande potencial para competir com produtos compostos à base de madeira no mercado estrutural.

Os painéis de bambu assemelham-se aos de madeira tanto na aparência quanto na trabalhabilidade, fator que contribuiu para que os produtos como o piso de bambu laminado conquistasse certa importância na Europa e América (BANSAL; PRASAD, 2004).

Segundo Qisheng e Shenxue apud Moizés (2007), os painéis são classificados com base no processo de fabricação e se dividem de acordo com o material usado, ou seja, ripas de bambu (strips); lascas ou cavacos finos (sliver) e partículas (particles). A classificação dos compósitos manufaturados com tiras ou ripas engloba: compensado de bambu, bambu laminado colado e piso. Para os painéis manufaturados com lascas ou cavacos finos estão os compensados de bambu rasgado, placas de cortinas de bambu, placas de laminados, esteiras e cortinas de bambu. Há também as chapas compostas de bambu onde estão classificados: piso composto de madeira e bambu, chapa de bambu e ripas de madeira, assoalho de bambu composto de madeira, chapas de partículas de bambu reforçado, bambu sobre chapas de partículas, compensado de bambu folheado com de madeira.

### **2.7.1 Pannel de partículas de bambu (Bamboo Particleboard) e OSB**

Segundo Zheng e Xuhe (2005), o pannel de partículas foi criado com a finalidade de utilizar todo resíduo produzido no processamento do bambu, como topo de colmos e colmos de diâmetros reduzidos.



Moizés (2007) descreve a manufatura desse tipo de painel de maneira simples: o colmo de bambu é moído ou triturado em partículas que são misturadas com adesivo e prensadas. Esse tipo de painel pode receber revestimento nas duas superfícies da chapa.

A maior vantagem desse produto está na abundância da matéria prima que supre a produção de painéis de partículas, além de possuir alta resistência mecânica e baixo inchamento (ZHENG; XUHE, 2005).

Bai (1996) relata que estudos experimentais mostraram que o painel de partículas de bambu tem comportamento mecânico melhor e é mais estável nas dimensões do que a chapa de partículas de madeira. Isso se deve às propriedades termoplásticas do material e da interconexão das fibras de bambu.

Esse produto é extensamente usado nas áreas moveleira, da construção, embalagens e de embalagens. Também pode ser aplicado como painel sanduíche na construção pré-fabricada, servindo como parede divisória e porta (ZHENG; XUHE, 2005).

Outro painel produzido com partículas de bambu é o OSB (oriented strand board of bamboo). Segundo Moizés (2007), a produção desse compósito envolve a orientação dos flocos ou partículas de bambu e a prensagem com adesivo. A tecnologia de fabricação é a mesma utilizada na produção de OSB de madeira. Aplica-se esse tipo de painel em paredes, painéis de vedação portantes, pilares, alma de vigas, divisórias para interiores e edificações em geral.

### **2.7.2 Compensado de Bambu (Bamboo plywood)**

O contraplacado de bambu consiste em um conjunto de diversas camadas de lâminas de bambu aplainadas, interligadas e unidas com adesivo alternando o sentido da grã a cada camada. Segundo Bai (1996), o colmo de bambu é primeiro seccionado transversalmente nos comprimentos desejados. As camadas internas e externas são retiradas com equipamento especialmente projetado para esse fim. As ripas originadas seguem para um tanque de cozimento com temperatura acima de 100°C. Esse processo tem a finalidade de amaciar o bambu, com também termoplastificar a lignina e a hemicelulose de forma eficaz. As ripas tratadas são secas, distribuídas e prensadas a quente. A madeira compensada de bambu possui elevada resistência mecânica e é tão boa quanto a madeira sólida comercial.

Segundo Zheng e Xuhe (2005), o compensado de bambu é um excelente material de engenharia. Pode ser manufaturado em grandes dimensões, possui alta resistência, apresenta estabilidade em suas dimensões e pouca deformação. Atualmente é utilizado em caminhões e ônibus como também em painéis modulares. Como material de construção o compensado de bambu pode ser usado como parede, forro e porta.

### **2.7.3 Esteira de bambu compensado (Mat Plywood)**

Segundo Bai (1996), a esteira de bambu entrelaçado é produzida com lâminas de espessura aproximadamente de 0.025 polegadas (0,0635cm) que são trançadas, posteriormente imersas em adesivo e prensada à quente. A economia da manufatura de esteiras de bambu compensado depende da quantidade de resina (uréia e fenólica). Segundo Moizés (2007), a principal propriedade apresentada por esse tipo de painel é a resistência à água. Esses produtos possibilitam diversas aplicações em interiores como, por exemplo, revestimentos, mobiliários, forros e divisórias.

De acordo com Zheng e Xuhe (2005), a arte de produzir esteira de bambu trançado é simples e o investimento em equipamentos é pequeno. A superfície do compensado de bambu trançado não é plana, pois utiliza-se na manufatura do painel tiras trançadas. Pela boa flexibilidade e boa resistência ao impacto, esse painel é um bom substituto do aço, gipsita, e amianto, pode ser usado em parede e telhado e na construção pré-fabricada.

### **2.7.4 Chapas de bambu reconstituído (Reconstituted Bamboo Boards)**

Segundo Wang e Hua; Shakla e Parsad citados por Bai (1996), após o tratamento com alguns produtos químicos tais como o NaOH, tiras de bambu com comprimento de 35 a 50 cm são esmagadas por rolos compressores, em diversas passadas formando feixe de fibras. Esse feixe é imerso em resina líquida PF (fenol-formaldeído) e seco ao natural até atingir teor de umidade entre 6 e 8%. O material é pré-pressionado, posteriormente é prensado sob calor.

### **2.7.5 Bambu laminado colado (Glued Laminated Bamboo)**

Zheng e Xuhe (2005) relatam que para manufatura desse painel, as lâminas são orientadas paralelamente e coladas sob pressão. O painel de bambu laminado colado pode ser considerado um substituto para o aço, o concreto, nos usos como viga mestra e coluna, como porta, corrimão e paredes na construção pré-fabricada.

Segundo Moizés (2007), os painéis de Bambu Laminado Colado (BLC) são produzidos da mesma forma que os compensados de madeira, seguindo a mesma tecnologia, com a distribuição e colagem lateral de ripas na direção longitudinal, utilizando adesivos à base de água. O BLC possui boas características superficiais e propriamente estruturais, portanto se classifica como material versátil e resistente. De acordo com Pereira e Beraldo (2007), poucos estudos sobre bambu laminado colado foram desenvolvidos no Brasil. Pereira apud Pereira e Beraldo (2007), desenvolveu estudo com Bambu laminado colado utilizando a espécie *D. giganteus* de 3,5 anos. O autor relatou os resultados obtidos nos testes, a massa específica aparente apresentou valor médio de 0,79g/cm<sup>3</sup>, na resistência à compressão paralela às fibras o valor médio foi de 65,5 MPa. O módulo de ruptura na flexão estática apresentou valor médio de 99 MPa e o Módulo de elasticidade situou no valor médio de 13,6 GPa .

Gonçalves et al (2000) desenvolveram pesquisa sobre BLC utilizando a espécie *D. giganteus*. As amostras apresentaram as mesmas dimensões que os corpos-de-prova sugeridos pela norma NBR 7190/97. Os valores obtidos nos ensaios mecânicos são apresentados na Tabela 06.

Tabela 06 - Valores (MPa) obtidos das amostras de BLC nos ensaios mecânicos utilizando a norma NBR 7190/97

Ensaio	Resistência (MPa)
Dureza Janka	35,2
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

Fonte: Gonçalves et al. (2000)

### **2.7.6 Pisos de Bambu Laminado Colado (Bamboo Flooring)**

Os pisos de bambu possuem uma boa resistência e durabilidade, são fabricados com as lâminas de bambu orientadas e coladas lateralmente na horizontal ou na vertical. Sua aplicação é destinada principalmente para pisos e assoalhos de ambientes internos (MOIZÉS, 2007).

Segundo Lee e Lui (2003), o piso de bambu é um painel composto por lâminas serradas retiradas de colmos maduros. Há diversas etapas envolvidas na manufatura do piso de bambu. Os colmos de bambu são seccionados transversalmente, e posteriormente, no sentido longitudinal para produção das ripas. Os nós e a camada externa são removidos nesta fase. Na próxima etapa, as ripas são fervidas em solução de ácido bórico ou cal para redução do amido e do açúcar que são responsáveis por atrair brocas. As ripas fervidas são aplainadas e secas até atingirem o teor de umidade de 8 a 10%. Após secas as ripas são coladas sob pressão a quente, originando pisos de bambu sem acabamento, esses seguem para fase final, onde são lixados em ambos os lados, e em suas duas bordas são fixadas ligações macho/fêmea. Finalmente, o painel é revestido com a laca curada por (UV) ultravioleta.

Lee e Lui (2003) desenvolveram um estudo com objetivo de comparar algumas propriedades físico-mecânicas de um piso de bambu importado pelos Estados Unidos e com um piso comercial de madeira (carvalho vermelho) e com um LBL (Laminated bamboo lumber) manufaturado em laboratório. Os autores compararam os pisos entre si através dos seguintes ensaios físicos de massa específica, teor de umidade e absorção de água e do ensaio de dureza feitos nas amostras com diferentes teores de umidade. O piso de bambu é fabricado com 3 camadas e revestido com laca. O sentido da grã na camada central é perpendicular à grã das camadas externas. O piso de madeira sólida foi revestido com laca na face superior. O LBL produzido em laboratório foi montado e colado com todas as camadas orientadas na direção da grã e, também, revestido com laca. Esses produtos foram expostos a diferentes níveis de umidade relativa ao ar (50, 65 e 90%) e para o teste de inchamento, as amostras permaneceram 24 horas submersas em água destilada. Os autores concluíram que o piso de bambu apresentou menor massa específica do que o piso de madeira, mas apresentaram os mesmos valores dessa propriedade na umidade relativa de 65%. Os 3 produtos apresentaram absorções similares de água depois de 24 horas de imersão. O piso de bambu foi mais estável dimensionalmente do que

o piso de madeira e o LBL. O resultado do teste de dureza realizado nas amostras após serem submetidas às umidades relativas de 65 e 90% revelou que no piso de bambu a dureza foi significativamente superior às dos outros produtos, quando submetidos à umidade relativa de 65%, porém, quando expostos à umidade relativa de 90% e após a submersão em água ocorreu maior redução na dureza do piso de bambu do que nos outros dois produtos.

### 2.7.7 Viga de bambu laminado colado (Laminated bamboo lumber)

Nugroho e Ando (2001), desenvolveram experimento explorando a possibilidade de usar esteira de bambu pré-prensada a quente para a produção de LBL (laminated bamboo lumber), o qual segue processo similar usado na manufatura do LVL (laminated veneer lumber). Os autores produziram 6 LBL com quatro camadas de esteira de bambu, usando adesivo a base de resorcinol e com dimensões de 2 x 42 x 42 cm. O experimento envolveu três combinações de colagem das estruturas em relação às camadas interna e externa do colmo (externa - externa, externa - interna, e interna - interna) que foram denominadas como: tipos I, II, e III. A Figura 14 apresenta o esquema de montagem e colagem da estrutura onde a parte mais escura representa a casca. No teste de flexão a carga foi aplicada em duas posições do LBL (Flat, onde a carga é aplicada perpendicular às lâminas e Edge onde a carga é aplicada paralela às lâminas). Os LBL produzidos foram comparados ao LVL convencional. Os resultados indicaram que as propriedades de flexão (módulos de ruptura e elasticidade) do LBL eram comparáveis àquelas de LVL, mas não houve nenhuma diferença significativa nas propriedades físicas e mecânicas entre os três tipos de LBL.



Figura 14 – esquema de colagem dos LBLs  
Fonte: Nugroho e Ando (2001) adaptada

A viga tipo II forneceu melhores propriedades na resistência à flexão em relação aos outros 2 tipos, embora tenha apresentado menor resistência na linha de cola na camada central da estrutura da viga, pois a união das lâminas nessa camada se dá através de suas superfícies externas (tipo II). A melhor resistência na linha de cola da camada central foi obtida pela viga tipo III, pois a união das lâminas que compõe essa camada ocorre através das camadas internas da ripa.

Todas as vigas onde a carga foi aplicada paralela às lâminas (Edge) tiveram valores mais elevados no ensaio de flexão, tanto no módulo de elasticidade quanto no módulo de ruptura do que as vigas ensaiadas com a carga aplicada perpendicularmente às lâminas (flat). Quando a carga foi aplicada perpendicular às lâminas, essas sofreram influência do adesivo, pois apresentaram cisalhamento na linha de cola. O trabalho indicou que a carga aplicada paralela às fibras pode maximizar a resistência final destes LBL.

## **2.8 Adesivos**

Segundo Lopez (2003), adesivos, aglutinantes e outros materiais podem ser adicionados durante a produção de painéis à base de bambu para otimizar determinadas propriedades. De um modo geral, para a produção de painéis de bambu usa-se o mesmo tipo de adesivos usado na fabricação de painéis de madeira.

Rivero (2003) relata que até meados do século XX utilizavam-se adesivos de origem animal ou à base de vegetais. A partir de 1930, adesivos sintéticos foram desenvolvidos, tais como a uréia e melamina - formaldeído; Fenol e resorcinol formaldeído; acetato de polivinila e epóxi, entre outros (LOPEZ, 2003). Com o desenvolvimento desses adesivos tornou-se viável a fabricação de chapas de madeira de melhor qualidade.

Lopez (2003) menciona que os adesivos mais utilizados na manufatura de painéis à base de bambu ou madeira são: melamina, uréia - formaldeído, fenol formaldeído, resorcinol formaldeído e epóxi. A resina uréia formaldeído é recomendada para fabricação de painéis que vão ser utilizados em ambientes internos. Esse adesivo pode ser curado em temperatura ambiente ou sob altas temperaturas. As resinas fenol formaldeído e resorcinol formaldeído são consideradas aceitáveis para produtos estruturais, são resistentes à água e as mais utilizadas em ambientes externos.

De acordo com Rivero (2003), com a crise do petróleo em 1973, desencadearam-se sucessivos aumentos no preço das resinas uréia – formaldeído e fenol – formaldeído, ambas de origem petroquímica, estimulando a pesquisa por novos adesivos alternativos.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Coleta do material**

Alguns parâmetros baseados na literatura foram estabelecidos para padronizar a obtenção do produto final. Seguindo as orientações de diversos autores, foram definidas a espécie adequada para uso na área da construção civil e a idade de 3 anos e meio a 4 (escolhidos visualmente no meio da touceira) para colheita dos colmos, pois com essa idade já possuem todas suas características de resistência mecânica formada. A espécie escolhida foi *Dendrocalamus giganteus*.

Os colmos foram coletados em uma população localizada dentro da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/ESALQ/USP e subdivididos em toretes de 2 metros de comprimento. Foram retirado cerca de 4 toretes de cada colmo, os quais foram transportados para o Laboratório de Maquinas e Engenharia da Madeira do Departamento de Ciências Florestais da mesma universidade, para secagem, usinagem, industrialização e ensaios físicos e mecânicos dos produtos.

#### **3.2 Processamento das ripas de bambu**

Os toretes de 2 metros foram subdivididos em 2 partes menores no comprimento de 800 mm, utilizando-se uma serra circular improvisada para o corte transversal, posteriormente foram

subdivididos ao meio, através de um corte longitudinal (Figura 15 (a)) efetuado numa serra circular também improvisada para tal. Utilizou-se um machado para separar as duas metades que permaneciam unidas pelo diafragma dos nós (Figura 15 (b)). A retirada parcial do diafragma foi feita com uma marreta.

O próximo passo foi transformar o material em ripas de aproximadamente 25 mm de largura utilizando-se serra circular como mostrado na Figura 15 (c). As ripas seguiram para secagem em estufa.

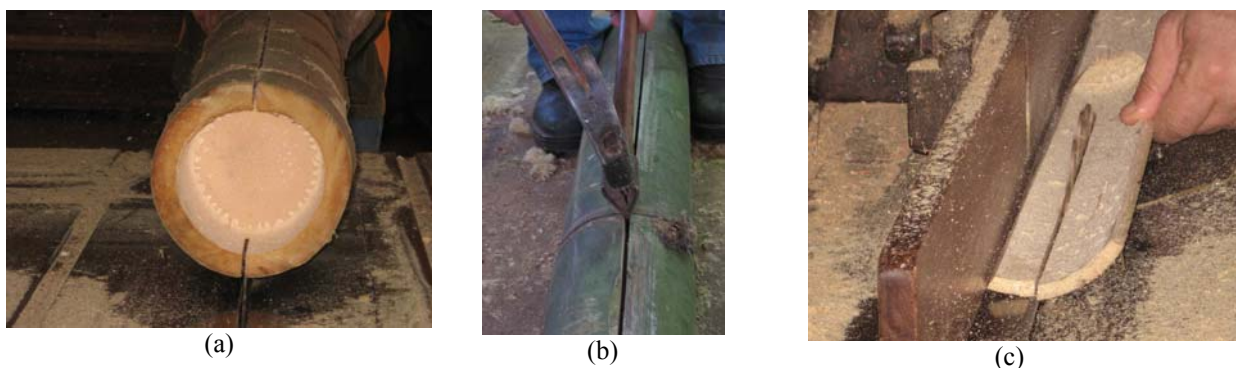


Figura 15 – O torrete sendo seccionado no sentido longitudinal por serra circular (a) separação das metades com machado (b) e transformação do material em ripas (c)

As ripas estavam com teor de umidade entre 40 e 71% quando iniciou-se o processo de secagem. A estufa operou sob temperatura de 60°C por 5 dias. Após esses dias a estufa passou a operar a 70°C por mais 15 dias. As amostras foram retiradas da estufa com o teor de umidade entre 8 e 10%. A etapa seguinte foi selecionar as ripas para serem transformadas em lâminas.

### 3.3 Processo de laminação

Foi estabelecido que a espessura mínima da ripa deveria ser de 13 mm, para a produção de lâminas de seção transversal regular, como ilustram as 16(a) e (b). Essa medida foi adotada para possibilitar as operações de usinagem e produção de lâminas internas e externas. Após a seleção das ripas, foi retirada a protuberância restante do diafragma utilizando-se uma lixadeira de fita, como mostra a Figura 16 (c). Esse procedimento foi necessário para permitir uma velocidade de avanço uniforme na plaina desgrossadeira.



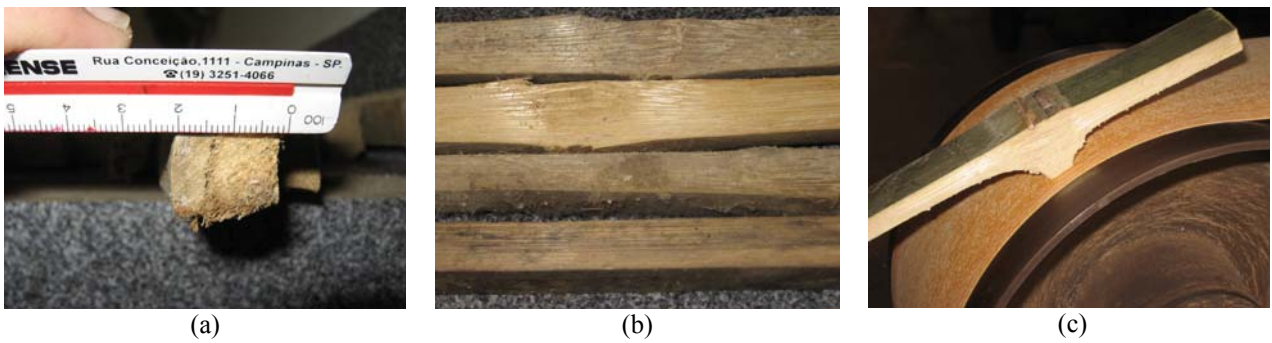


Figura 16 - Seleção das ripas pelas dimensões da espessura da parede do colmo (a), espessura da parede do colmo usada para laminação (b) e retirada do diafragma (c)

As lâminas foram retiradas de duas posições da parede do colmo, sendo denominadas lâminas externas e internas. As externas foram provenientes da região mais próxima à casca, buscando-se dessa maneira a posição de maior abundância de fibras e, conseqüentemente, maior resistência mecânica das lâminas. As lâminas internas foram retiradas da região interna da parede do colmo, onde predomina tecido parenquimático, buscando-se dessa forma lâminas mais leves e com resistência menor se comparada às lâminas externas. A Figura 17 mostra de cima para baixo, o aumento de parênquima, concomitantemente com a diminuição de fibras.

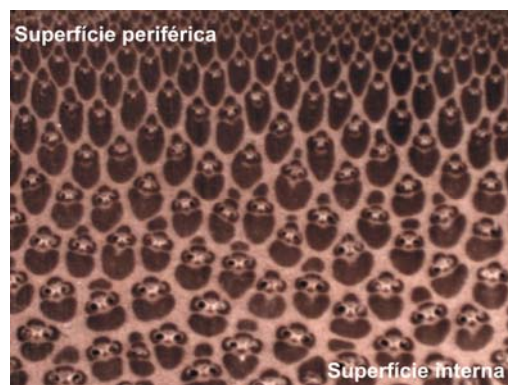


Figura 17 - Variação das fibras no corte transversal da parede do colmo

Tanto para as lâminas externas como para as lâminas internas, a casca foi descartada para a eliminação das camadas de cera e sílica que tornam a superfície impermeável e dificulta a colagem. Todas as lâminas externas e internas foram produzidas com a seqüência natural de dos nós e internós existente no colmo. Para o processo de laminação do bambu utilizou-se uma plaina desgrossadeira de uma face para regularizar as faces (externa e interna) da ripa, uma plaina desempenadeira para regularizar uma das bordas laterais que serviu de guia para regularizar a outra borda na serra circular (Figura 18).

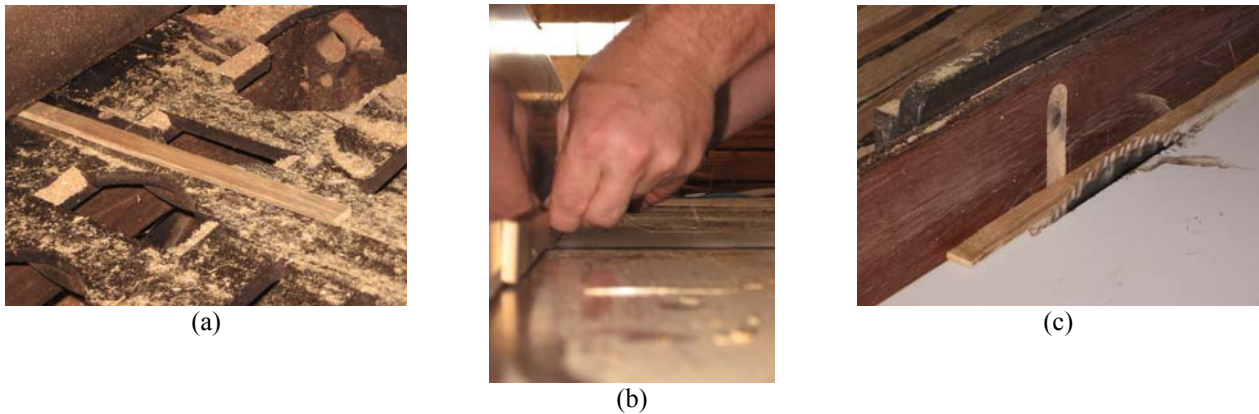


Figura 18 - Processamento das superfícies das ripas na plaina desgrossadeira (a), regularização das bordas na plaina desempenadeira (b) e na serra circular (c)

Para obtenção da lâmina externa, foi desgastado o mínimo possível da casca, de forma que ficasse plana e o máximo da camada interna, utilizando a plaina desgrossadeira, ou seja, o desgaste da ripa para a retirada da lâmina externa foi feito a partir da remoção da camada interna em direção à camada externa (casca) da ripa. Para a produção da lâmina interna foi retirado o mínimo da camada interna, de modo que ficasse com a superfície plana e restasse o máximo da camada externa para ser retirado, utilizando-se o mesmo maquinário, ou seja, a obtenção das lâminas internas foi feita a partir do desgaste da camada externa em direção à camada interna da ripa. A Figura 19 ilustra o procedimento de retirada da lâmina interna e externa dentro da ripa que tem a mesma espessura da parede do colmo.

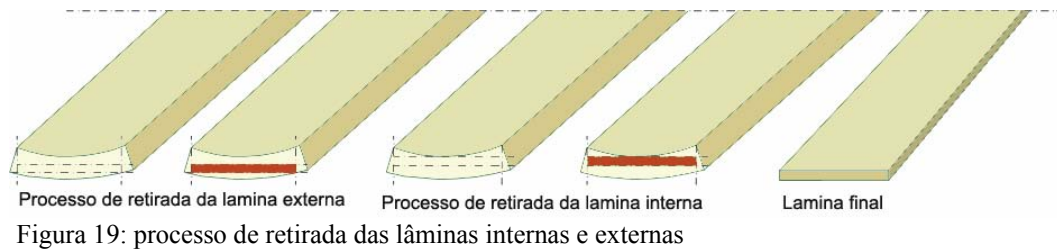


Figura 19: processo de retirada das lâminas internas e externas

Para minimizar perdas em função da curvatura da ripa, foi estabelecido que as lâminas deveriam ficar com espessura de 5 mm, largura de 20 mm e comprimento de 800 mm.

### 3.4 Montagem dos painéis

Foram manufacturados dois tipos de painéis, que nesse trabalho foram denominados de bambu laminado colado com lâminas externas (BLC<sub>e</sub>) e bambu laminado colado com lâminas internas (BLC<sub>i</sub>). Os painéis foram produzidos de maneira que as lâminas se desencontrassem umas das outras e que não formasse uma linha vertical contínua de adesivo ao longo das três camadas. O esquema do painel montado pode ser observado na Figura 20 (a). Outro procedimento adotado foi orientar as lâminas de maneira que as superfícies das lâminas voltadas para casca ficassem como as faces do painel, como ilustra a Figura 20 (b).

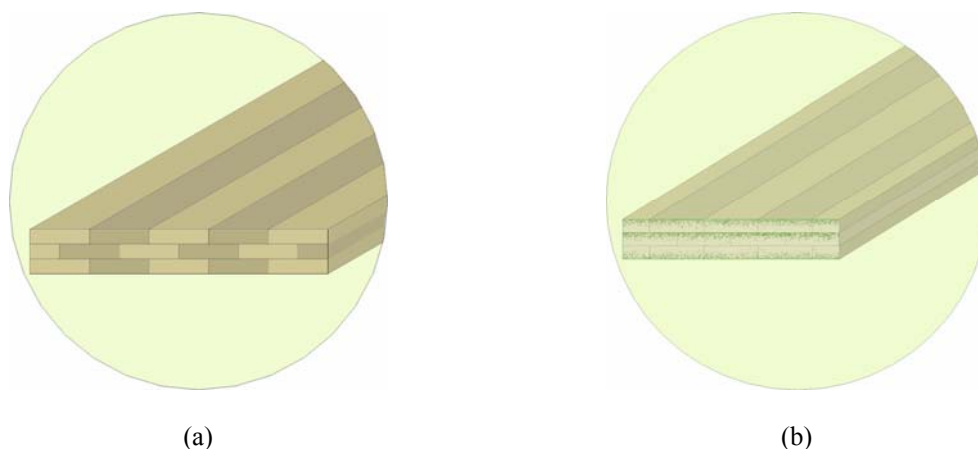


Figura 20 - Esquema do painel montado (a) e posição relativa da casca (parte esverdeada) no painel (b)

### 3.5 Sorteio da manufatura dos compósitos

A ordem, o tipo de BLC e o tipo de adesivo (PVA ou Adespec) que seriam usados na produção dos compósitos foram definidos em sorteio, garantindo a aleatoriedade dos painéis de BLC dentro de cada repetição.

### 3.6 Colagem e prensagem

Os painéis foram produzidos com três camadas. Nas lâminas da primeira camada foi aplicado adesivo com auxílio de pincel em uma das faces superiores e nas duas bordas laterais, exceto nas lâminas que estavam nas laterais do painel, onde somente foi aplicado adesivo na face superior e em uma borda lateral. A aplicação do adesivo e a montagem do painel podem ser observadas na Figura 21.



Figura 21 - Aplicação do adesivo na face lateral (a), montagem da primeira camada do compósito (b) e aplicação do adesivo na superfície da primeira camada (c)

Para que as emendas longitudinais entre lâminas se desencontrassem na camada central em relação às externas foram colocadas nas laterais da fôrma duas meias-lâminas, com a dimensão de 10 mm de largura, mesma espessura e mesmo comprimento das lâminas dos painéis, como pode ser observado na Figuras 22 (a). O mesmo processo de colagem das lâminas foi executado na camada central. Nas lâminas da última camada foi aplicado adesivo somente nas bordas laterais. Os painéis ficaram prensados por 24 horas. As Figuras 22 (b) e (c) representam a montagem do BLC.

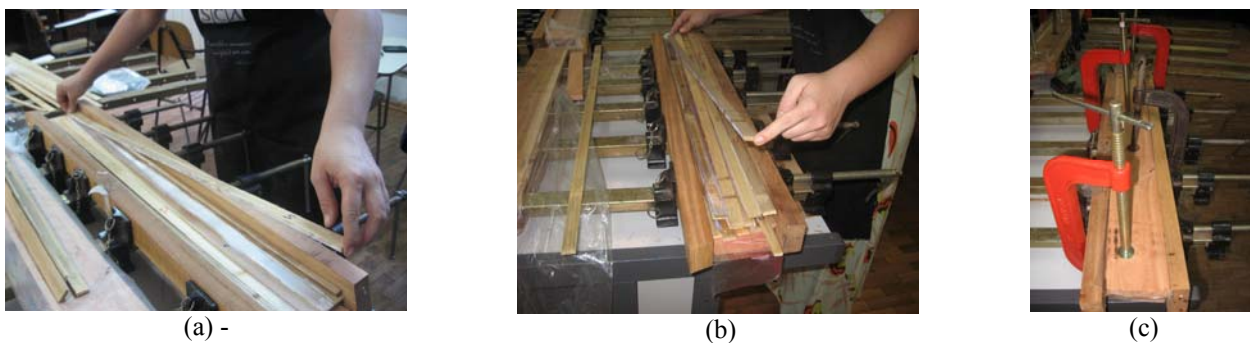


Figura 22 - Montagem da segunda camada do compósito (a), montagem da terceira camada do compósito e prensagem do painel e duas direções paralela e normal à face

Os BLC<sub>e</sub> e BLC<sub>i</sub> foram produzidos com dois tipos de adesivo. Para cada tipo de painel foram feitas 4 repetições totalizando 16 painéis nas seguintes dimensões: 15 mm de espessura, 100 mm de largura e 800 mm de comprimento.

### **3.7 Adesivos utilizados**

Para o presente trabalho, optou-se por adesivos que não emitissem gases voláteis, que fossem resistentes à umidade e de fácil obtenção. Os adesivos utilizados foram o adespec e o PVA.

O adesivo adespec foi escolhido por ser um adesivo ecologicamente correto. Esse adesivo foi desenvolvido com o apoio da FAPESP e foi um dos destaques na etapa regional sudeste do prêmio Finep de inovação tecnológica de 2005. O adesivo é denominado de fundo preparador para junta de placa cimentícia adespec. Esse adesivo é monocomponente, composto a base de elastômeros de alta performance, não inflamável, incolor e atóxico. O fundo preparador para junta de placa cimentícia foi desenvolvido para ser utilizado na área da construção civil. Um dos pontos positivos desse adesivo deve-se ao fato de ser isento de solventes orgânicos inflamáveis, e, portanto, não emite gases voláteis, além de ser resistente à umidade. A cura total do adesivo ocorre entre uma e três semanas em temperatura ambiente. Há dúvidas quanto ao potencial do adespec para fins estruturais.

Entre os tipos de adesivos mais utilizados pelo segmento de madeira e móveis estão os de base PVA. Há algumas denominações populares para os adesivos à base de acetato de polivinila, tais como PVA e cola branca. Esse adesivo tem origem na polimerização em fase aquosa do acetato de vinila. O processo consiste na adição controlada do monômero em uma solução aquosa de um colóide protetor (álcool polivinílico, por exemplo) que, na presença de um catalisador, reage para formar o polímero final. Optou-se pelo uso desse adesivo devido ao fato de ter grande aceitação em vários segmentos de mercado. O acetato polivinílico não é inflamável, pois utiliza água como solvente. O adesivo é de fácil manuseio, tanto aplicado manualmente com o uso de pincel ou rolo quanto aplicado de forma automática por máquinas de baixa, média e até alta velocidade. A cura desse adesivo pode ser a quente ou em temperatura ambiente. O adesivo PVA utilizado nesse trabalho foi da linha Cascorez resistente à umidade comercializado pela empresa Henkel.

### 3.8 Preparação dos corpos-de-prova para os ensaios

A falta de norma adequada para execução dos ensaios nos compósitos de bambu, acarreta na dificuldade de comparação dos dados obtidos por diferentes pesquisadores. Essa é uma preocupação atual dos cientistas que pesquisam as propriedades físicas e mecânicas tanto do colmo em sua forma natural, quanto de compósitos.

“A avaliação das características mecânicas do bambu não é tarefa muito simples. Traçando-se um paralelo com os estudos de caracterização mecânica das madeiras, pode-se afirmar que no caso do bambu, nem sempre os procedimentos prescritos pela norma NBR 7190/97, específica para madeira, podem ser diretamente aplicados” (PEREIRA; BERALDO, 2007, p.121).

Segundo Lopez, (2003), não há nenhum registro de centros de pesquisas florestais e universidades nas Américas e na Ásia, interessados em estudar as normas ou os procedimentos de padronização para a avaliação das propriedades mecânicas de espécies nativas de bambu. Ainda de acordo com o mesmo autor, em 1944, Glenn considerou o bambu uma planta lenhosa similar à madeira, pois nessa época ainda não havia informações anatômicas do bambu e recomendou que os testes mecânicos aplicados nesse material fossem feitos de acordo com a norma ASTM, utilizando inclusive as mesmas dimensões dos corpos-de-prova usados para madeira. Atualmente é de grande importância o desenvolvimento de metodologia e normas para testes mecânicos realizados tanto em colmos, quanto em produtos à base desse material, levando em consideração a estrutura anatômica, a morfologia e a fisiologia do colmo de bambu.

Uma das grandes dificuldades do presente trabalho foi a escolha de uma norma adequada para a execução dos ensaios, já que não há nada específico para o bambu. Foi questionado o uso da norma ASTM D1037 indicada para painéis, porém seria ineficaz para alguns ensaios do presente estudo. Essa norma não prevê o ensaio de cisalhamento na lâmina tanto no sentido tangencial longitudinal, como no sentido radial. O corpo-de-prova descrito na norma ASTM D1037 para o ensaio de cisalhamento na lâmina de cola conduz a um efeito de tração normal nas lâminas provocando o descolamento das mesmas em relação à superfície colada. Para que fosse possível a avaliação das diferentes propriedades encontradas nos BLC<sub>e</sub> e BLC<sub>i</sub>, optou-se pelo

formato dos corpos-de-prova encontrados na ABNT 7190/97. No corpo-de-prova para o ensaio de cisalhamento da norma 7190, ocorre concentração de tensão tanto nas fibras como no plano de cola. Porém é mais sensível aos tratamentos, o erro é menor e permite cisalhamento tanto no plano de cola quanto nos planos fibrosos longitudinal tangencial e longitudinal radial. A razão mais forte da escolha do formato dos corpos-de-prova da ABNT 7190/97, foi o fato de tornar possível a avaliação da resistência ao cisalhamento das lâminas internas e externas no plano longitudinal radial. A adaptação dos corpos-de-prova descritos na norma ABNT 7190/97 estão ilustrados nas figuras 23 (a, b, c, d, e, f). Os corpos-de-prova foram manufacturados levando-se em consideração as dimensões dos compósitos (15 mm x 100 mm x 800 mm) produzidos no laboratório. A largura do painel foi modificada para retirada das amostras, passando de 100 mm para 80 mm. Tendo como limite as dimensões dos compósitos foram estipuladas as dimensões (cm) das amostras como mostra a Tabela 7.

Tabela 7: Dimensões dos corpos-de-prova

<b>Ensaio</b>	<b>Dimensões (cm)</b>
Flexão estática	8.0 x 1.5 x 40.0
Massa específica	8.0 x 1.5x 4.0
Compressão	8.0 x 1.5x 4.0
Dureza	8.0 x 1.5x 4.0
Absorção de água	8.0 x 1.5 x 8.0
Inchamento	8.0 x 1.5 x 8.0
Cisalhamento longitudinal tangencial na fibra (área cisalhada: 8.0 x 3.0)	8.0 x 1.5x 4.0
Cisalhamento longitudinal tangencial na lâmina de cola radial (área cisalhada: 8.0 x 3.0)	8.0 x 1.5x 4.0
Cisalhamento radial (área cisalhada: 1.5 x 3.0)	8.0 x 1.5x 4.0

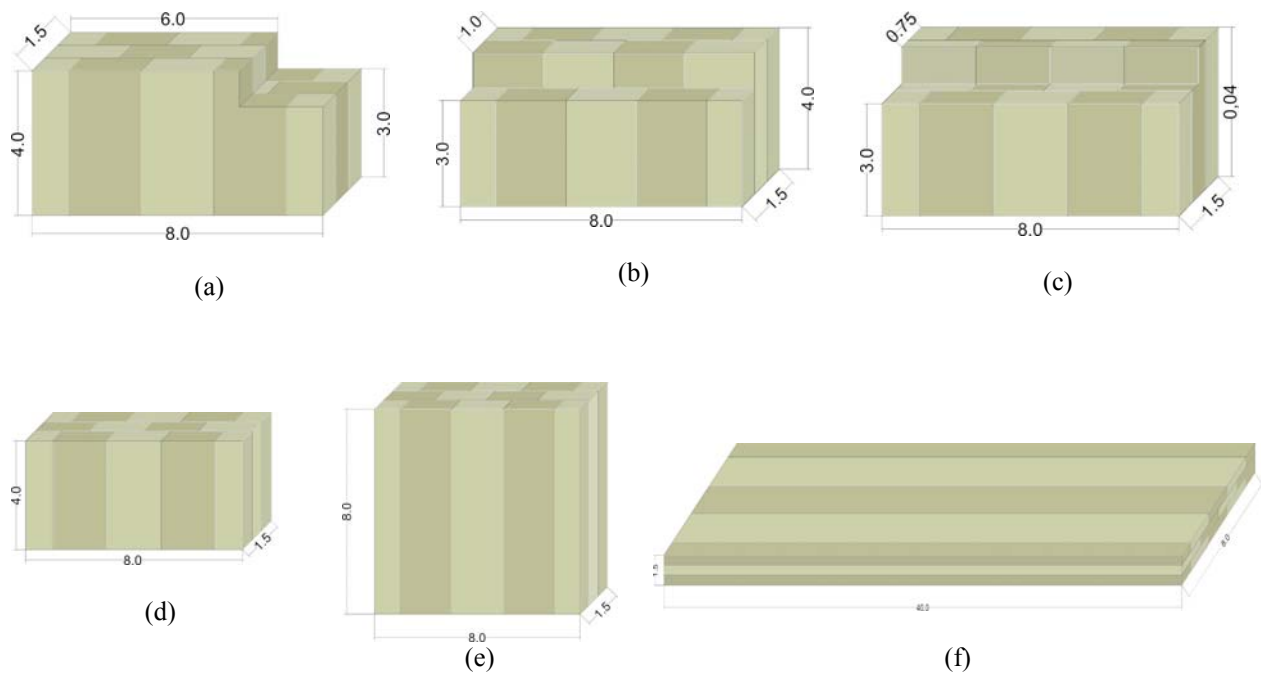


Figura 23 - Cisalhamento radial (a), Cisalhamento tangencial longitudinal na lâmina de cola (b) e Cisalhamento tangencial na lâmina fibrosa (c) Massa específica, compressão paralela às fibras e dureza (d), Inchamento e absorção de água em massa. (e) e Flexão estática (f)

### 3.9 Sorteio da retirada os corpos e prova

A maneira de retirada das amostras dos painéis produzidos foi definida em sorteio. Esse procedimento foi adotado, para garantir a aleatoriedade da amostragem dos corpos-de-prova dos painéis. Os ensaios físicos e mecânicos foram sorteados, originando a ordem de retirada das amostras ao longo do comprimento do painel de BLC.

### 3.10 Ensaios mecânicos

As amostras foram armazenadas em ambiente laboratorial por três semanas para uniformização em torno da umidade de equilíbrio ao ar. Passado esse período, os corpos-de-prova foram testados para determinação das propriedades mecânicas.

### 3.11 Ensaios Físicos



Para o ensaio de absorção de água em massa, as amostras foram pesadas quando estavam com umidade de equilíbrio ao ar, posteriormente foram submersas em água destilada por 24 horas, e pesadas novamente após o período de imersão.

Para o teste de inchamento, foram realizadas medições em 4 pontos dos corpos-de-prova utilizando-se um micrometro, enquanto ainda estavam secos. As amostras foram submersas em água destilada por 24 horas e após esse período os corpos-de-prova foram medidos novamente em 4 pontos com o mesmo medidor.

### **3.12 Macro Análise da anatomia do bambu**

Para que pudesse ser avaliada a diferença entre os  $BLC_e$  e  $BLC_i$ , foram retiradas amostras no sentido transversal dos compósitos utilizando serra circular e para que fosse possível a visualização dos feixes de fibras, as amostras foram polidas em lixadeira de fita.

As amostras foram analisadas utilizando microscópio estereoscópio com capacidade de aumento da imagem de até 60 vezes. O aparelho é da marca Leica – modelo MZ 95. As imagens foram capturadas com câmera da marca Leica DC 300, acoplada ao computador. As fotos foram geradas no Núcleo de Apoio à Pesquisa em Microscopia Eletrônica Aplicada à Agricultura (NaP/MEPA).

### **3.13 Micro Análise**

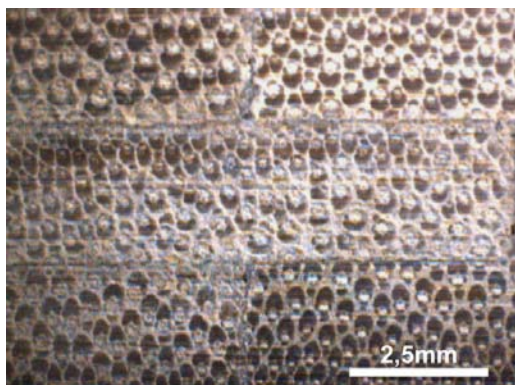
O primeiro passo para melhor compreensão da anatomia do bambu foi analisar a parede do colmo no sentido transversal utilizando imagens geradas no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV). O procedimento de amostragem foi realizado da seguinte forma: Primeiro foi seccionada uma fatia do colmo com altura de 12 mm, seguido da retirada de uma pequena amostra com aproximadamente 15 mm de espessura da parede, altura de 12 mm e largura de 18 mm. A superfície da amostra foi preparada utilizando-se um micrótomo deslize da marca Leica, modelo SM 2000 R, do Laboratório de Anatomia da Madeira do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP. A peça foi fixada em stub utilizando-se fita dupla face juntamente com cola de prata usada para análise, pois esse adesivo ajuda na passagem dos elétrons.

Além do colmo, também foram analisadas amostras retiradas dos compósitos  $BLC_e$  e  $BLC_i$  no plano transversal a fim de melhor compreender o fenômeno da ancoragem do adesivo e das variações das propriedades físicas e mecânicas através das características dos elementos anatômicos que compõe a parede do colmo. Outras análises foram feitas foi das lâminas internas e externas no sentido longitudinal. Para a obtenção das amostras utilizou-se um serrote de mão. As amostras das lâminas não tiveram suas superfícies polidas, mas as amostras dos compósitos foram preparadas passando por diversas vezes em micrótomo de deslize, a fim de se avaliar a penetração do adesivo nas lâminas. Todas as amostras foram fixadas em stubs (de aproximadamente 15 mm de diâmetro) utilizando-se fita dupla-face juntamente com cola de prata, recobertas com fina camada de ouro e analisadas no microscópio eletrônico Zeiss LEO 435 VP do Núcleo de Apoio à Pesquisa em Microscopia Eletrônica Aplicada a Agricultura da ESALQ/USP.

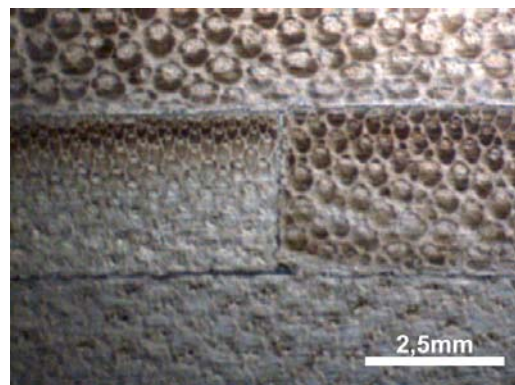
## 4 RESULTADO E DISCUSSÃO

### 4.1 Macro Análise

Observa-se na Figura 24 a macro anatomia das lâminas externas e internas que compõe respectivamente o  $BLC_e$  e o  $BLC_i$ . Os feixes de fibras que aparecem como áreas escuras são mais densos no  $BLC_e$  (Figuras 24 (a) e (c)). Os feixes de fibras conjuntamente com os elementos vasculares da planta são circundados por uma área mais clara composta por células parenquimáticas.



(a)



(b)

A Figura 24 (b) e (d) mostram que na lâmina interna a área de parênquima entre os feixes fibrosos é mais larga porque os feixes são mais espaçados. Há maior quantidade de células do parênquima do que aquelas vistas na lâmina externa. Não há informação precisa a respeito da variação da área transversal do feixe fibroso na direção radial da parede do colmo, mas o

aumento da área do parênquima indica claramente, uma diminuição da quantidade de fibras por unidade de área.

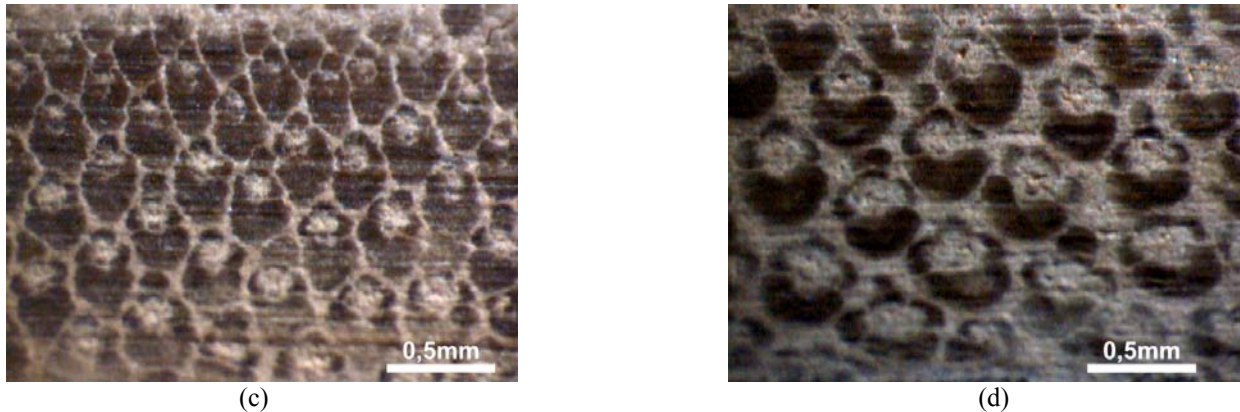


Figura 24 - Macro anatomia vista na seção transversal do BLC<sub>e</sub> (a), BLC<sub>i</sub> (b), da lâmina componente do BLC<sub>e</sub> (c) e da lâmina mais interna (d) componente do BLC<sub>i</sub>, ambas retiradas do colmo de *D. giganteus*.

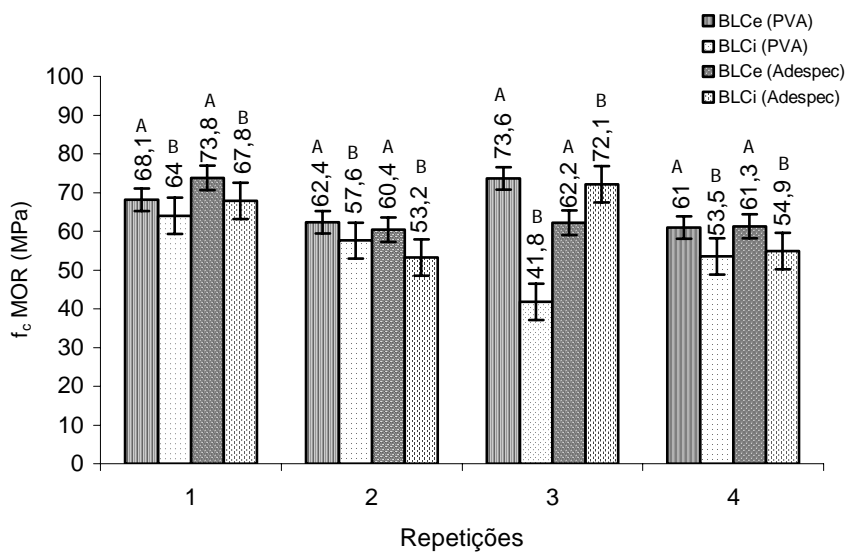
As Figuras 24 (a) e (b) mostram que as linhas de cola, tanto horizontais quanto verticais não são retilíneas. Isso se deve ao processo de prensagem que, pelo sistema simples adotado, pode provocar concentrações de tensões em alguns trechos e alívio em outros, à variedade da espessura nominal das lâminas ou a defeitos de suas superfícies. Não foi possível explicar a importância desses fatores na qualidade dos compósitos porque não foram estudados de forma isolada, mas como regra geral, recomenda-se um controle mais rigoroso do processo de produção. A Figura 24 (c) mostra a lâmina externa onde os feixes de fibras são mais próximos uns dos outros diferindo da lâmina interna (d) onde aparentam mais largos e mais espaçados.

## 4.2 Propriedades físico-mecânicas

Não foram encontrados na literatura valores de propriedades físicas e mecânicas relacionadas à posição de retirada das lâminas dentro da parede do colmo, impossibilitando comparações com outros trabalhos de BLC.

### 4.2.1 Compressão

A Figura 25 apresenta os dados de resistência à compressão paralela às fibras das amostras retiradas dos compósitos produzidos. Observa-se na figura 25 (a) grande variação entre repetições, mostrando que a qualidade das placas ou lâminas pode sofrer uma influência importante do processo de manufatura. A figura 25 (b) mostra que os adesivos se comportaram de forma similar tanto no BLC<sub>e</sub> quanto no BLC<sub>i</sub>. O adesivo adespec apresentou desempenho ligeiramente superior ao PVA. O bambu laminado colado com lâminas externas (BLC<sub>e</sub>) apresentou melhor resistência à compressão paralela do que o BLC<sub>i</sub> (Figura 25 (c)). A anatomia das lâminas explica essa diferença, porque a maior resistência mecânica foi obtida no painel de maior densidade de fibras. As lâminas externas possuem maior quantidade de fibras e geralmente não possuem grandes espaços entre elas ocasionando maior resistência do material. As lâminas internas, por sua vez apresentam menor quantidade de fibras e maior conteúdo de parênquima que representa o tecido menos resistente no colmo.



(a)

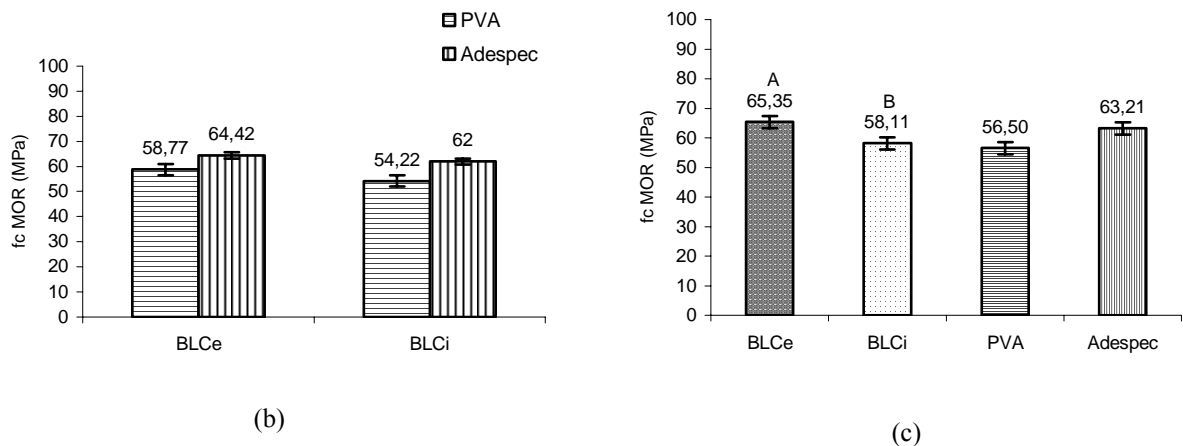
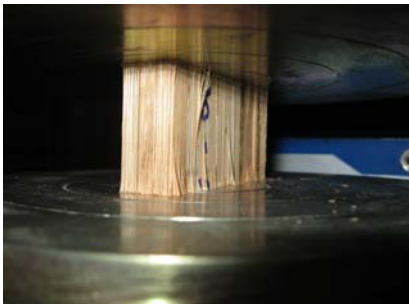


Figura 25 - Resistência à compressão paralela ( $f_{bc0}$ ) dos compósitos de bambu em cada repetição (a), no adesivo dentro de posição (b) e em cada tratamento (c)

Em todos os casos, os erros padrão da média foram pequenos e demonstram que ocorreu menor variabilidade entre tratamentos do que entre repetições. A Figura 26 ilustra o ensaio mecânico de compressão (a) e o copo-de-prova, depois de ensaiado, com acentuada flambagem das lâminas (b). O corpo-de-prova utilizado nesse ensaio, por ser esbelto em relação ao eixo paralelo à face, não possibilitou verificar a completa superioridade do BLC<sub>e</sub> em relação ao BLC<sub>i</sub> devida a ocorrência da flambagem e, também, à tendência do corpo-de-prova inclinar-se quando comprimido, girando em torno do eixo de menor inércia.



(a)



(b)

Figura 26 - Ensaio de compressão paralela em compósito de bambu (a), mostrando flambagem das lâminas componentes (b)

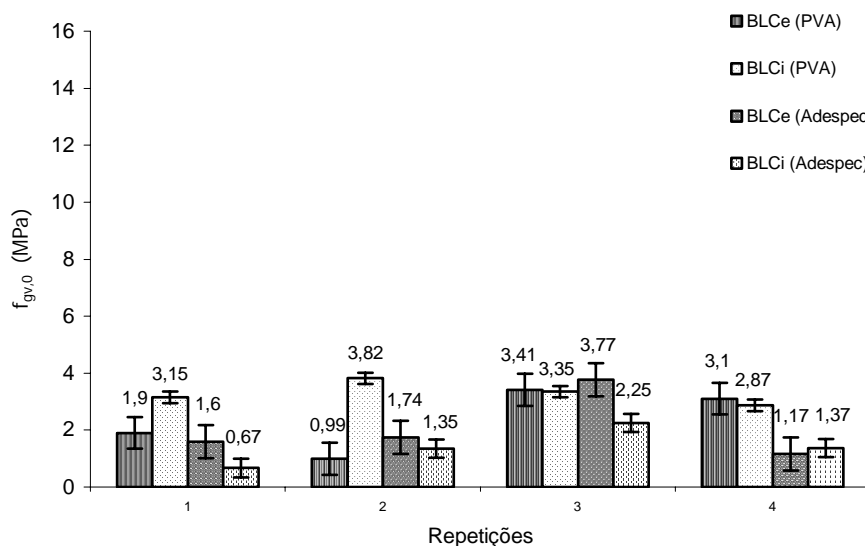
#### 4.2.2 Cisalhamento na lâmina de cola

No ensaio de resistência ao cisalhamento no plano de cola efetuado nas amostras retiradas dos compósitos, os dados gerados não apresentaram diferença significativa entre os compósitos

BLC<sub>i</sub> e BLC<sub>e</sub>. A figura 27 (a) apresenta a variabilidade das amostras em cada repetição e o melhor comportamento mecânico da repetição 3.

Os corpos-de-prova retirados do BLC<sub>i</sub> com adesivo PVA apresentaram melhores resultados em virtude de uma possível melhor ancoragem do adesivo. Com o adesivo adespec observou-se que os melhores resultados foram no BLC<sub>e</sub>. Para as amostras retiradas do BLC<sub>i</sub> com adesivo PVA, o valor mais elevado foi obtido do corpo-de-prova 2, devido ao posicionamento diferenciado das lâminas no painel de onde foi retirada essa amostra. As lâminas desse painel estavam com a parte interna (parênquima) da primeira camada em contato com a parte interna (parênquima) da camada central, exatamente na área cisalhante. O menor valor foi obtido na amostra 4, onde a área de cisalhamento desse compósito foi na união da parte interna da lâmina (parênquima) com a parte externa (casca). Quando a zona cisalhante coincide com a área onde as lâminas estão unidas pelas camadas internas das lâminas (parênquima), há melhor ancoragem do adesivo.

A Figura 27 (b) ilustra o comportamento dos adesivos com diferença significativa dentro dos compósitos, evidenciando melhores resultados do adesivo PVA no BLC<sub>i</sub>. A Figura 27 (c) aponta resultado ligeiramente melhor para o BLC<sub>i</sub> e melhor comportamento do adesivo PVA em relação ao Adespec. Qualquer dos adesivos se comportou de maneira diferente dentro de lâminas anatomicamente diferentes, enfatizando a significância da interação entre adesivo e posição a 9% de confiabilidade.



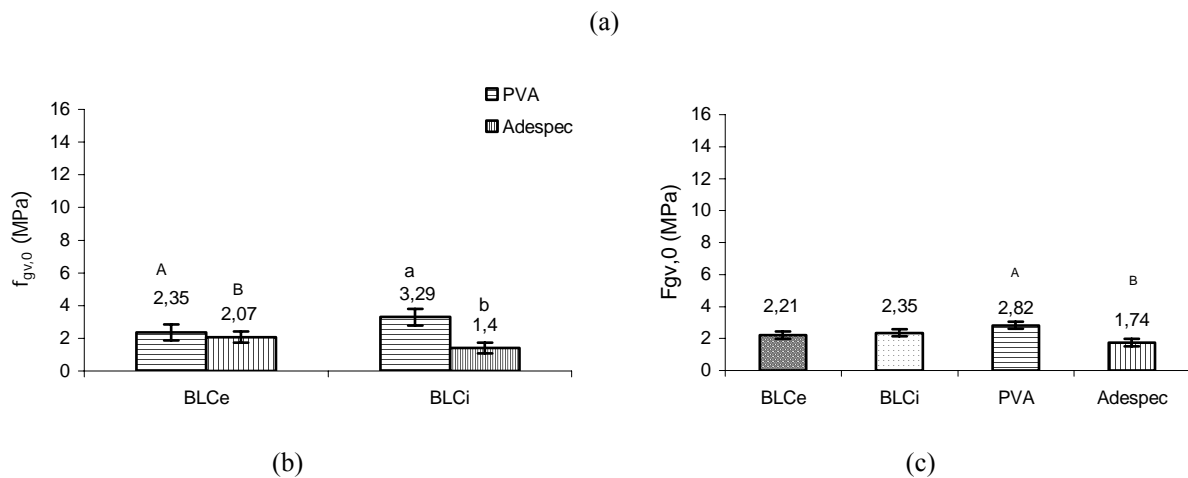


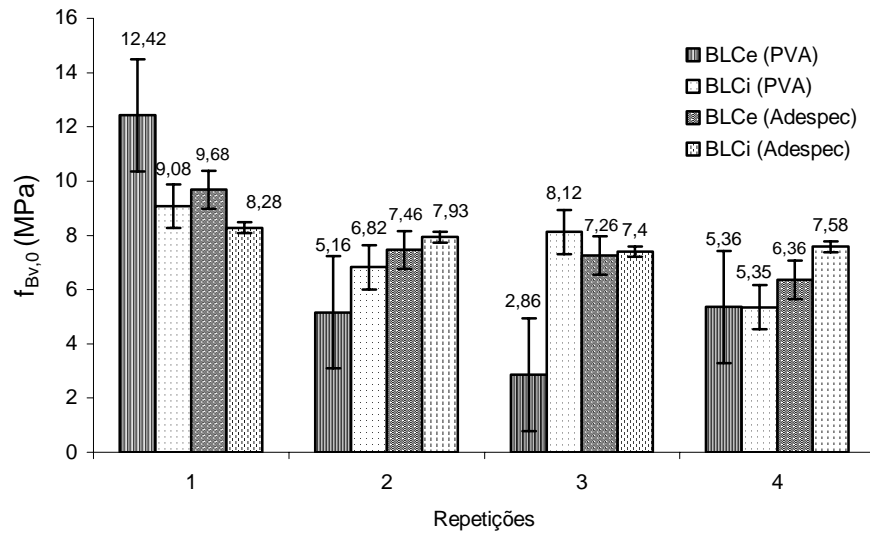
Figura 27 - Resistência ao cisalhamento no plano de cola ( $f_{gv,0}$ ) dentro de repetições (a), em adesivo dentro de posição (b) e em cada tratamento (c)

#### 4.2.3 Cisalhamento longitudinal tangencial às fibras

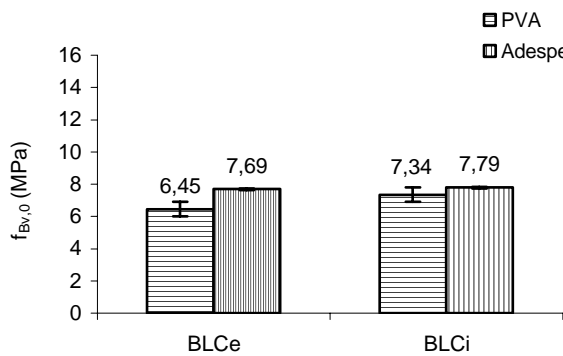
O teste de cisalhamento longitudinal tangencial não apresentou resultados compatíveis com o objetivo a que foi proposto. Os corpos-de-prova deveriam romper-se no material lenhoso, porém, na maioria das amostras, a ruptura ocorreu no plano mais fraco, que nesse caso foi o do adesivo. Os dados gerados nesse ensaio estão apresentados na Figura 28. Não houve diferença significativa entre os tipos de compósitos (BLC<sub>e</sub> e BLC<sub>i</sub>) devida à ruptura indevida no plano de cola.

A figura 28 (a) apresenta o resultado dos compósitos em cada repetição. Nas amostras de BLC<sub>e</sub> com PVA houve grande variação entre os compósitos dentro das repetições, especialmente na 3. O adesivo PVA mostrou-se melhor no BLC<sub>i</sub> nas repetições 2 e 3. Na repetição 4 manteve comportamento similar ao adespec e na 1 o adespec foi superior. O adesivo adespec não mostrou grande variação entre os compósitos. A Figura 28 (b) mostra que existiu uma pequena diferença no comportamento dos adesivos nos compósitos. Não houve diferença significativa entre eles, ou seja, o comportamento dos adesivos é o mesmo, independente do tipo de lâmina usada para produção dos compósitos. O PVA mostrou-se ligeiramente melhor no BLC<sub>i</sub> e o adespec mostrou o mesmo comportamento em ambos os compósitos. A Figura 28 (c) ilustra que entre os tratamentos, os melhores resultados foram obtidos das amostras dos compósitos manufacturados com lâminas internas e que o adespec apresentou melhor desempenho.

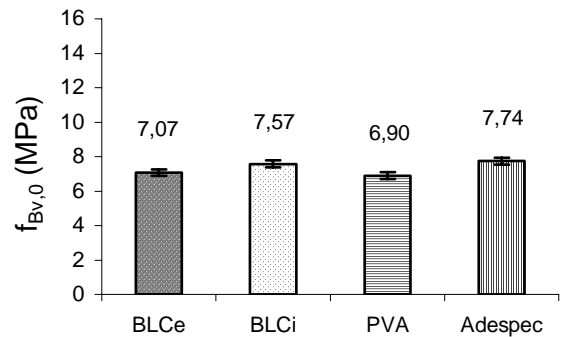




(a)



(b)



(c)

Figura 28 – Resistência ao cisalhamento da fibra ( $f_{Bv,0}$ ) no plano tangencial longitudinal nas repetições (a), no adesivo dentro de posição (b) e em cada tratamento (c)

A Figura 29 mostra as formas anormais de ruptura das amostras no ensaio de cisalhamento tangencial longitudinal nas fibras. A figura 29 (a) apresenta a ruptura da amostra do BLC<sub>i</sub> com adesivo PVA, que suportou a maior carga. Observa-se que a ruptura do corpo-de-prova se deu parcialmente no material fibroso e parcialmente no plano de cola. A Figura 29 (b) ilustra a ruptura do corpo-de-prova do BLC<sub>i</sub> com adesivo adespec na repetição 1. Essa amostra apresentou o melhor resultados dentre todas as repetições. A Figura 29 (c) representa o tipo de ruptura ocorrida na maioria das amostras e a Figura 29 (d) ilustra um tipo de ruptura frágil que ocorreu na cola de uma amostra do BLC<sub>e</sub>. Essa amostra forneceu o menor resultado de todos os compósitos.

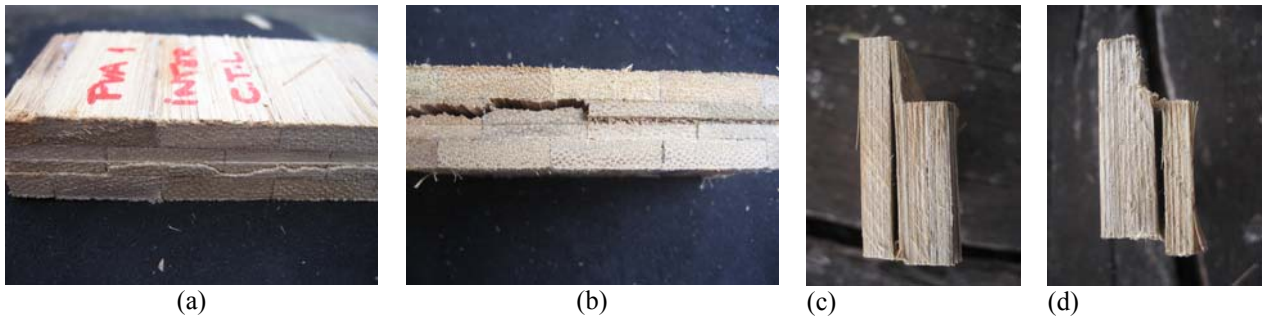


Figura 29 – Formas de ruptura verificadas nas amostras de BLC

Esse ensaio foi pensado para se poder comparar a resistência ao cisalhamento num plano fibroso com aquela do plano de cola, ambos paralelos entre si. Foi possível observar, comparando-se as Figuras 27 e 28, que o plano de cola foi demasiadamente fraco ao cisalhamento, quando comparado com o outro, indicando que a adesão entre lâminas precisa ser melhorada substancialmente.

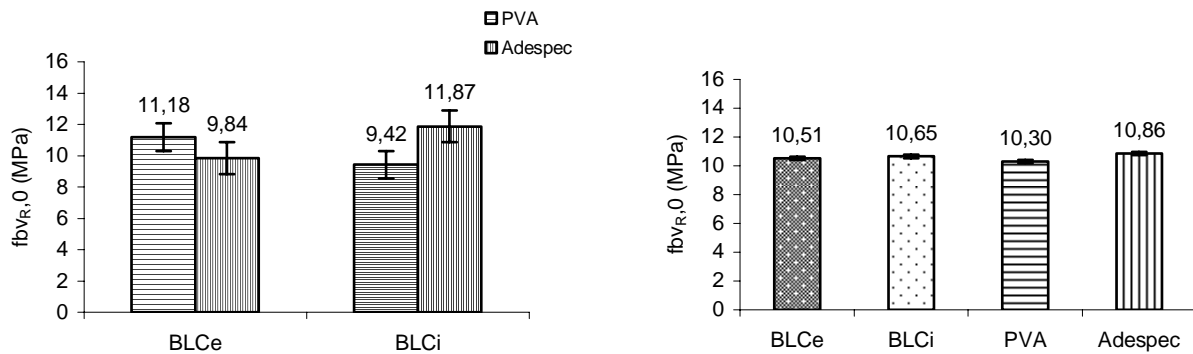
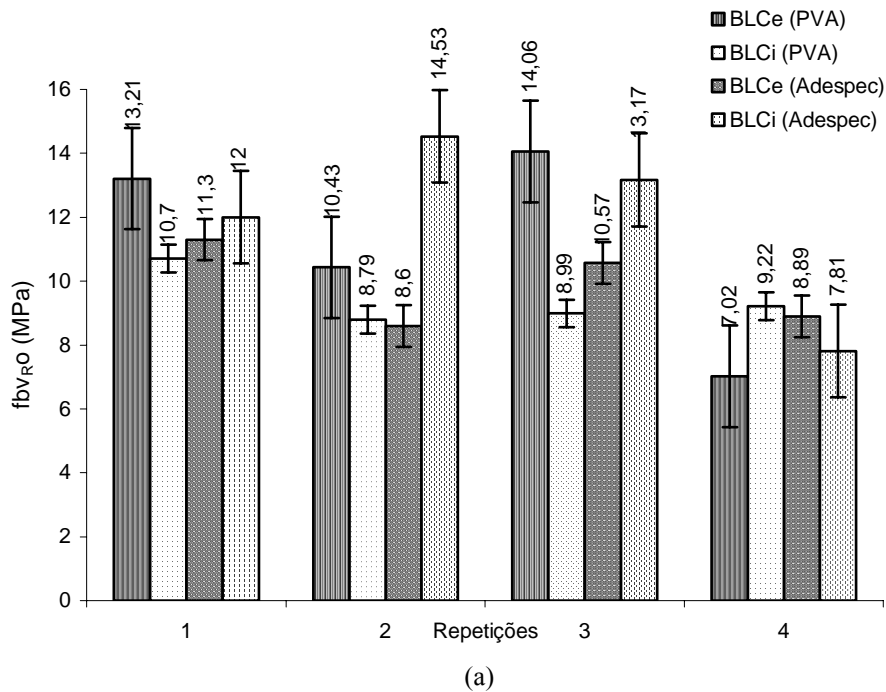
Verifica-se nas Figuras 29 (a) e (b) que existem trechos em que a ruptura se deu no material fibroso e não na cola, como ocorreu na maioria das amostras. Isso permite depreender-se que nesses trechos a resistência da cola foi muito boa e forçou a ruptura ocorrer no plano fibroso, onde foi planejado para que ela ocorresse. As Figuras 29 (c) e (d) mostram exemplos de comportamento oposto onde a resistência ao cisalhamento da cola foi tão baixa que possibilitou uma translação do plano de ruptura, por causa do esmagamento da área de aplicação da tensão de compressão. Isso ocorreu porque um dos lados da área de contato entre o cutelo e a lâmina foi muito pequeno, de valor máximo de metade da espessura da lâmina. Observa-se na Figura 29 (c) que esse esmagamento ocorreu na área de compressão inferior e na Figura 29 (d) na área de compressão superior.

#### 4.2.4 Cisalhamento radial

A Figura 30 apresenta os dados de resistência ao cisalhamento radial para as amostras retiradas dos compósitos. A Figura 30 (a) ilustra os dados gerados pelo ensaio em cada repetição. Nota-se que o adesivo PVA apresentou melhor comportamento nas amostras de BLC<sub>e</sub> e os melhores resultados com adesivo adespec foram observados nos compósitos manufaturados com lâminas internas. Observa-se nessa Figura que os melhores resultados foram obtidos na repetição

1. A Figura 30 (b) mostra o desempenho dos adesivos dentro dos compósitos BLC<sub>e</sub> e BLC<sub>i</sub>. O PVA apresentou melhor comportamento mecânico nas amostras do BLC<sub>e</sub> e o adespec no BLC<sub>i</sub>. No ensaio mecânico de resistência ao cisalhamento na direção radial das lâminas, os adesivos não apresentaram diferença significativa. A figura 30 (c) mostra que o BLC<sub>i</sub> apresentou melhor comportamento mecânico do que o BLC<sub>e</sub> e que o adesivo adespec apresentou resultados ligeiramente maiores que o PVA.

Houve dois tipos de ruptura para esse ensaio mecânico. A maioria das amostras apresentou ruptura nas fibras sem clivagem frágil da área cisalhada. O outro tipo, mais raro, foi de clivagem frágil da área de cisalhamento.



(b)

(c)

Figura 30 – Resistência ao cisalhamento radial ( $fb_{VR,0}$ ) nas repetições (a), no adesivo dentro de posição (b) e em cada tratamento (c)

A Figura 31 (a) ilustra o tipo de ruptura de maior ocorrência nas amostras e a Figura 31 (b) mostra a ruptura frágil da área cisalhada do BLCe com PVA. Ressalta-se que esse corpo-de-prova apresentou o melhor de todos os resultados desse ensaio.



(a)



(b)

Figura 31 – Ensaio de cisalhamento Radial (a) e uma ruptura rara do tipo frágil (b)

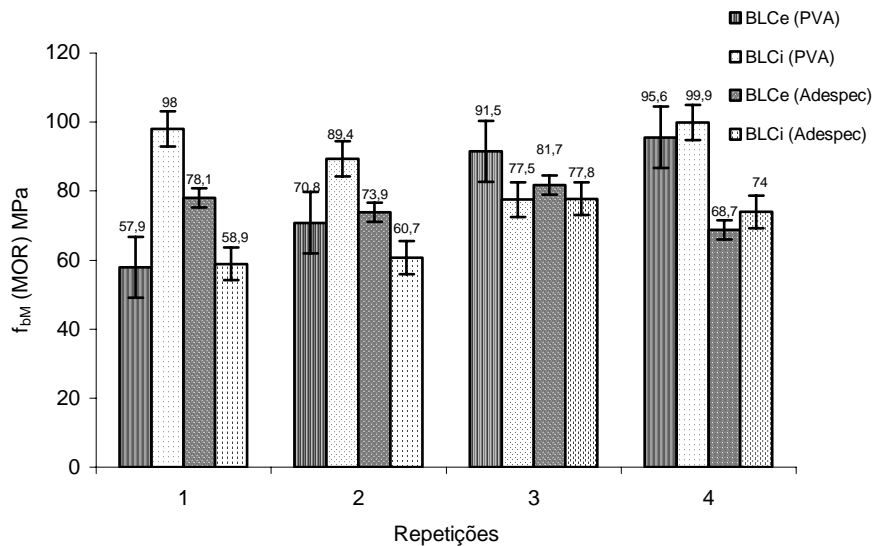
Esperava-se que o ensaio de cisalhamento radial evidenciasse alguma diferença entre os compósitos BLC<sub>e</sub> e BLC<sub>i</sub> devida às diferentes quantidades de fibras que apresentam, porém, não houve diferença significativa entre eles. Há fibras em ambas as lâminas, embora mais freqüentes nas lâminas externas, mas depreende-se que a resistência ao cisalhamento longitudinal radial não depende da quantidade de fibras e sim da ligação entre elas.

Esse ensaio foi conduzido para verificar-se a diferença entre as resistências ao cisalhamento em dois planos perpendiculares entre si, o longitudinal tangencial e o longitudinal radial. Do ponto de vista anatômico não existe evidencia de que o cisalhamento tangencial longitudinal possa ser mais fácil do que o radial, embora possa ser esperado um menor valor. Comparando-se, entretanto as Figuras 28 e 30 verifica-se que houve diferenças marcantes entre os tratamentos correspondentes, mostrando que a resistência da lâmina é muito maior do que a do painel laminado colado.

#### 4.2.5 Módulo de ruptura na flexão estática

Os dados de módulo de ruptura na flexão estática (MOR) não apresentaram diferença significativa entre os compósitos, ou seja, o comportamento mecânico dos dois tipos de painéis foi o mesmo. Os dados de MOR obtidos nos ensaios estão apresentados na Figura 32. Os adesivos utilizados influenciaram os resultados, pois na maioria dos casos, a ruptura ocorreu nas lâminas de cola.

No  $BLC_e$  houve menor variabilidade nas repetições 2 e 3 e maior variabilidade de resistência nas repetições 1 e 4 (Figura 32 (a)). A repetição que teve a menor variação e, no geral, melhor comportamento mecânico, foi a repetição 3. Quando a comparação foi feita com o mesmo tipo de adesivo dentro dos compósitos  $BLC_e$  e  $BLC_i$ , notou-se que os adesivos apresentaram diferença significativa entre si e que o adesivo PVA obteve melhor comportamento nas lâminas internas e o Adespec nas externas (Figura 32 (b)). A interação entre posição e adesivo foi significativa a 11% de confiabilidade. A Figura 32 (c) aponta comportamento ligeiramente melhor do  $BLC_i$  em relação ao  $BLC_e$  e a superioridade do adesivo PVA quando comparado ao Adespec.



(a)

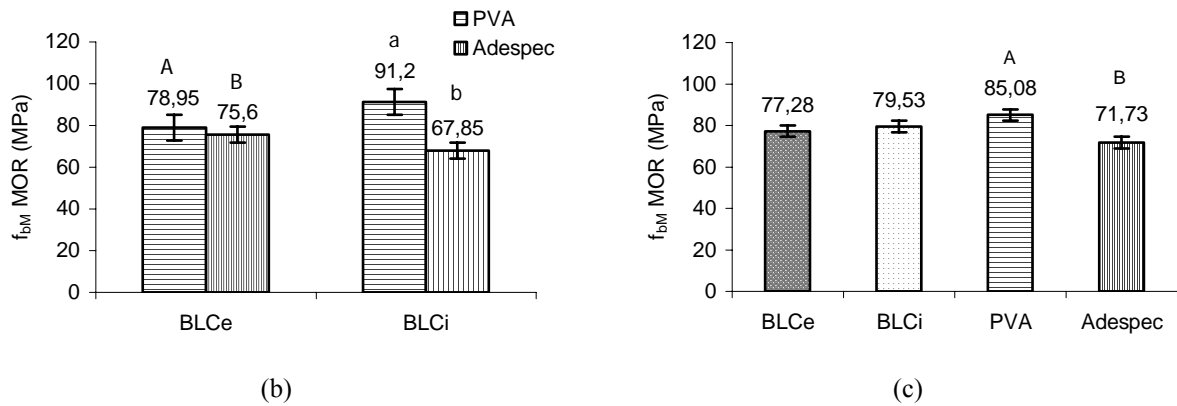


Figura 32 - Resistência à flexão ou módulo de ruptura ( $f_{bM}$ ) nas repetições (a), no adesivo dentro de posição (b) e em cada tratamento (c)

No BLC<sub>e</sub> com adespec o melhor resultado foi obtido na repetição 3 cuja ruptura ocorreu por cisalhamento da superfície colada. O cisalhamento ocorreu nas duas lâminas de cola de uma das extremidades como pode ser visto na Figura 33. No BLC<sub>i</sub> com o mesmo adesivo, o melhor resultado obtido foi o da repetição 3 e o pior resultado obtido para esse tipo de painel foi da amostra 1. As causas de ruptura tanto para as melhores amostra, como para as piores, foi de cisalhamento das lâmina.



Figura 33 - Amostra 3 retirada do BLC<sub>i</sub> com adespec

No BLC<sub>e</sub> com PVA, o melhor resultado foi da amostra 4 onde se observou que a ruptura ocorreu devido ao cisalhamento em uma das extremidades. Observou-se que na sessão transversal da amostra que o cisalhamento iniciou numa linha de cola, percorreu parte do material fibroso da camada central e finalizou na linha de cola simétrica à primeira em relação à camada central. O

pior resultado nesse ensaio para o  $BLC_e$  foi da amostra 1, onde a ruptura ocorreu por cisalhamento nas duas lâminas de cola.

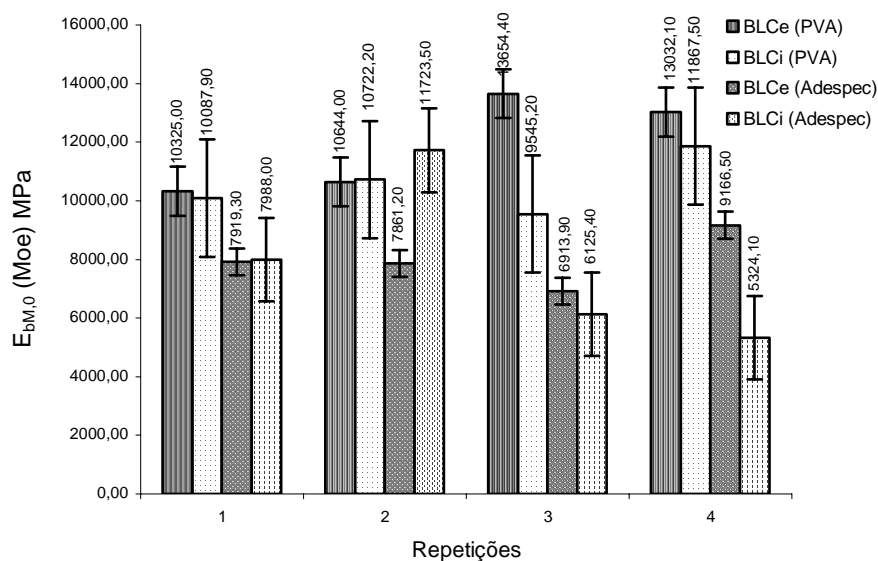
No  $BLC_i$  produzido com adesivo PVA, o melhor resultado gerado no ensaio foi o da amostra retirada do painel 4 onde a ruptura ocorreu por tensão normal e não houve cisalhamento na linha de cola. O pior resultado obtido foi da amostra 3 onde a ruptura também se deu por tensões normais, porém houve influência dos nós presentes na superfície do corpo-de-prova.

Os resultados da flexão estática coincidem com os resultados de cisalhamento no plano de cola, porque não ocorreu cisalhamento no material lenhoso e nem ruptura por tensões normais. A ruptura freqüente no plano de cola indica que há uma possibilidade evidente de melhoria do BLC com melhoria da adesão (adesivo, qualidade da superfície das lâminas, pressão de contato, ancoragem, tempo de cura, tempo de prensagem e temperatura) que tem se mostrado limitante em quase todos os ensaios.

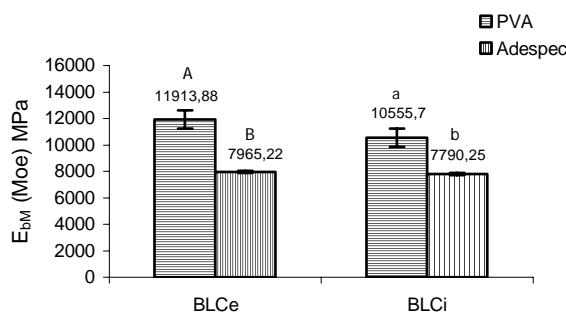
#### **4.2.6 Módulo de elasticidade na flexão estática**

A análise estatística dos dados do módulo de elasticidade obtidos no ensaio de flexão estática não apontou diferença significativa entre os dois tipos de painéis. Os resultados dos módulos de elasticidade podem ser observados na Figura 34.

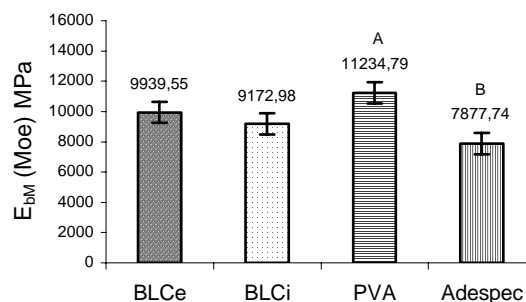
A Figura 34 apresenta os dados de MOE gerados nos ensaios. Observou-se que dentro das repetições houve pequena variação nos valores dessa propriedade para as amostras manufaturadas com adesivo PVA, com exceção da repetição 3. ouse também que esse adesivo obteve melhor comportamento no  $BLC_e$ . As maiores variações das amostras produzidas com adespec dentro de cada repetição foram observadas nas repetições 2 e 4. A Figura 34 (b) mostra a diferença significativa entre os adesivos dentro dos compósitos. O adesivo PVA foi superior ao adespec em ambos os compósitos e o adesivo adespec apresentou comportamento semelhante no  $BLC_e$  e no  $BLC_i$ .



(a)



(b)



(c)

Figura 34 - Resistência à flexão no módulo de elasticidade ( $E_{bM}$ ) nas repetições (a), no adesivo dentro de posição (b) e em cada tratamento (c)

A Figura 34 (c) mostra o comportamento mecânico ligeiramente melhor do BLC<sub>e</sub> e a superioridade do adesivo PVA em relação ao adespec.

Tanto para o melhor (repetição 3) como para o pior (repetição 1) resultados das amostras do BLC<sub>e</sub> com PVA, as amostras apresentaram ruptura por cisalhamento no plano de cola.

No BLC<sub>i</sub> com PVA tanto o melhor (repetição 4) como o pior (repetição 3) resultados foram de ruptura por tensões normais, porém no corpo-de-prova da amostra 3 havia presença de nós em algumas lâminas, favorecendo a perda da resistência e elasticidade do material devido a anatomia dos nós e principalmente ao arranjo das fibras apresentado na região nodal.



O melhor resultado do  $BLC_e$  com adespec foi obtido na amostra 4 que rompeu por cisalhamento nas duas lâminas de cola, como apresentado na Figura 35 (a). O pior resultado desse compósito foi o da amostra 3, que apresentou ruptura por cisalhamento iniciada na parte central da amostra seguindo até as extremidades do corpo-de-prova, provavelmente causada por falhas na colagem. A ruptura iniciada na parte central do corpo-de-prova está ilustrada na Figura 35 (b).



(a)



(b)

Figura 35 – Ruptura por cisalhamento na extremidade da amostra (a) e na parte central do corpo-de-prova (b)

O melhor resultado do  $BLC_i$  com adespec (repetição 2) e o pior (repetição 4) apresentaram ruptura por cisalhamento.

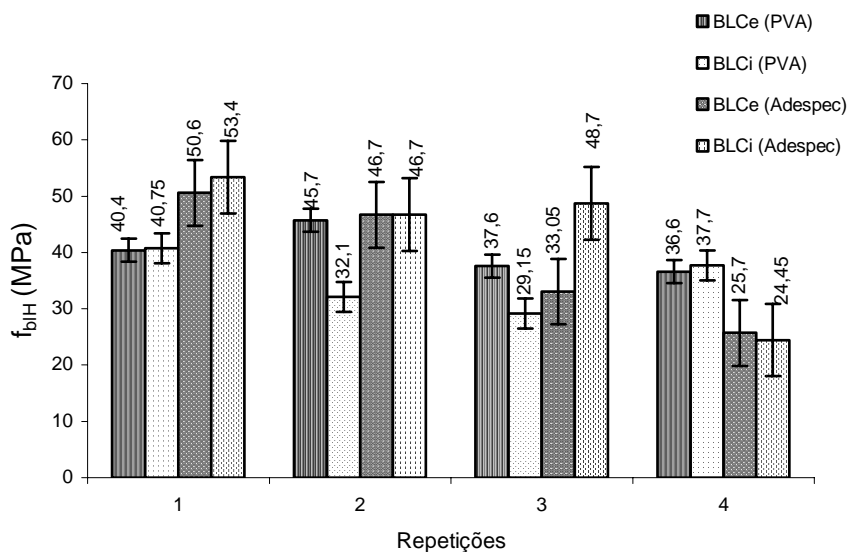
A correlação entre o MOE e o cisalhamento tangencial no plano de cola não foi completa, pois os adesivos se comportaram de forma semelhante para cargas não críticas.

#### 4.2.7 Dureza longitudinal

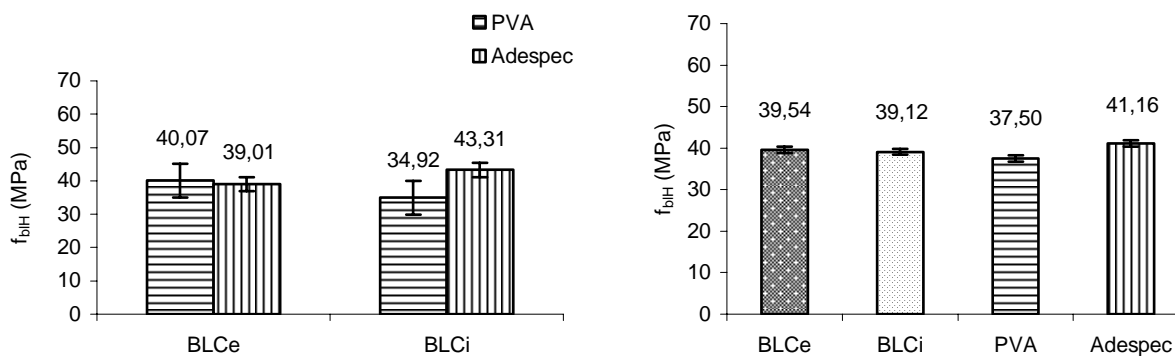
Os resultados obtidos no ensaio não apontaram nenhuma diferença significativa entre os tipos de painéis. Apesar das lâminas da camada externa apresentarem maior quantidade de fibras, não diferiram das lâminas internas. Os resultados obtidos nos ensaios de dureza longitudinal podem ser observados na Figura 35.

O adesivo PVA obteve melhores resultados no  $BLC_e$  e o adespec mostrou comportamento similar em ambos os compósitos nas repetições 1 e 4. As repetições que responderam melhor aos ensaios foram 1 e 2 (Figura 32 (a)). A Figura 35 (b) ilustra o comportamento dos adesivos dentro dos compósitos  $BLC_e$  e  $BLC_i$ , onde observa-se que ambos os adesivos se comportaram de forma semelhante no  $BLC_e$  e uma pequena superioridade do Adespec no  $BLC_i$  que não se mostrou

significativa. Nota-se na Figura 35 (c) que os compósitos apresentaram comportamentos mecânicos similares e que o adesivo adespec comportou-se melhor que o PVA nessa propriedade.



(a)



(b)

(c)

Figura 35 - Dureza Janka ( $f_{bIH}$ ) nas repetições (a), no adesivo dentro de posição (b) e em cada tratamento (c)

No BLC<sub>e</sub> com PVA o melhor resultado foi obtido na repetição 2, que não apresentou nenhuma anormalidade no comportamento da amostra durante o ensaio e o pior (repetição 4) resultado deveu-se à presença de nós nos pontos onde foi aplicada a carga, ocasionando fragmentação do material fibroso.

No BLC<sub>i</sub> com PVA a amostra 1 apresentou o melhor resultado, pois mostrou o comportamento mecânico normal esperado nesse ensaio. O pior resultado gerado foi da amostra 3, a qual apresentou ruptura por descolamento das lâminas e teve o corpo-de-prova fragmentado. O melhor resultado do BLC<sub>e</sub> com adespec foi obtido na repetição 1, apesar de que no momento em que a esfera penetrou na amostra, ocorreu um descolamento da lâmina da primeira camada em função de uma tração normal ocorrida no plano de cola. O pior resultado foi da repetição 4, onde o corpo-de-prova apresentou ruptura total da amostra no material fibroso, ou seja, a amostra foi fragmentada em duas partes. Tanto para o melhor resultado do BLC<sub>i</sub> com adespec (repetição 1), como para o pior (repetição 4) houve fragmentação do material lenhoso. A Figura 36 mostra as direções e características dos ensaios de dureza.

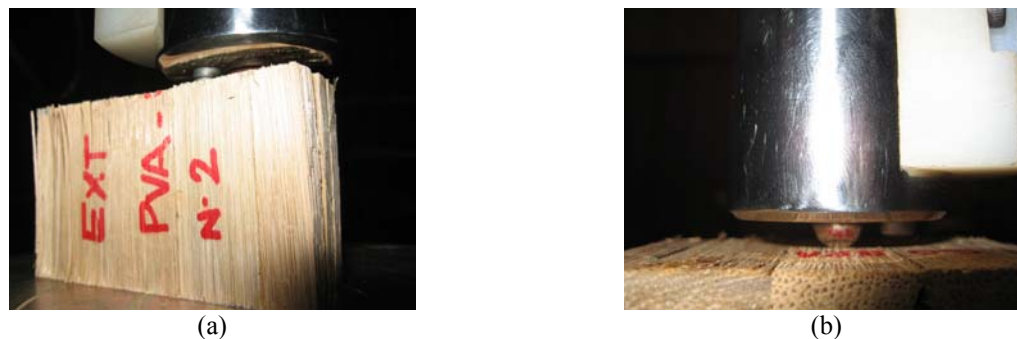


Figura 36 – Ensaio de dureza na direção longitudinal (a) e radial (b).

#### 4.2.8 Dureza radial

Os valores gerados pelo ensaio de dureza radial não apresentaram diferença significativa entre as amostras de BLC<sub>i</sub> e BLC<sub>e</sub>. Essa situação pode ser explicada pelo modo como foram manufaturados os compósitos. Tanto os painéis BLC<sub>e</sub> como o BLC<sub>i</sub>, foram montados orientando-se suas lâminas de forma que ficassem com a parte onde a casca foi retirada voltadas para as superfícies externas dos compósitos, ou seja, exatamente na área onde foi efetuado o ensaio de dureza no sentido radial. Dessa forma ambos os compósitos possuíam fibras em suas superfícies, o que pode ter ocasionado a similaridade dos tratamentos. Os dados dos compósitos obtidos no ensaio de dureza radial podem ser vistos na Figura 37. A Figura 37 (a) representa o comportamento do BLC nas 4 repetições. Os resultados apontam que o adesivo PVA apresentou melhor comportamento nas repetições 1 e 2 e o adespec nas repetições 2 e 3. Na Figura 37 (b)

observou-se que o adesivo PVA foi ligeiramente melhor no BLC<sub>i</sub> e que o adespec foi superior no BLC<sub>e</sub>. A Figura 37 (c) mostra que não houve diferença significativa entre adesivos e compósitos e que o comportamento mecânico do BLC<sub>e</sub> é semelhante ao BLC<sub>i</sub>. Nota-se que o adesivo adespec é pouco superior ao PVA.

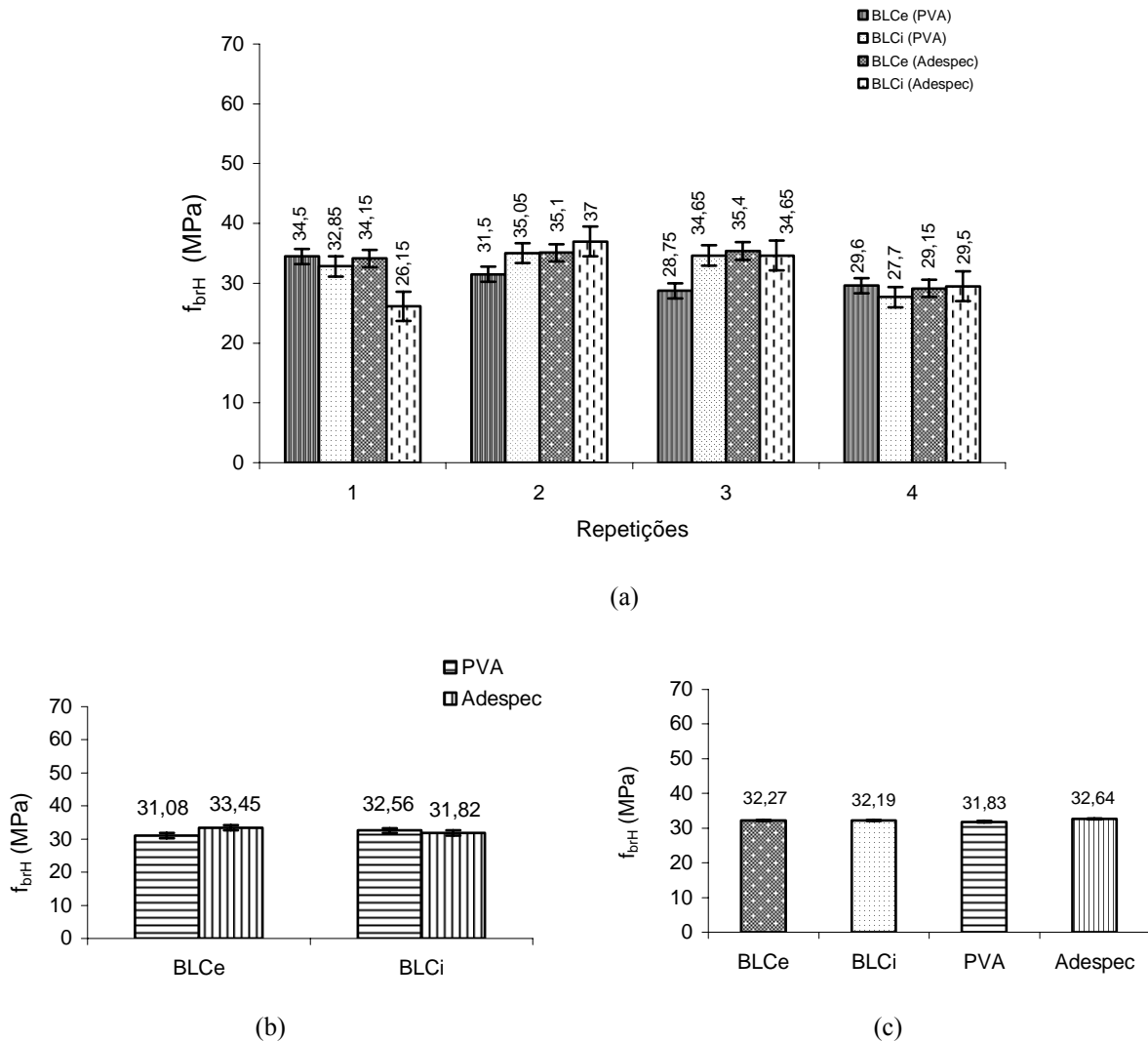


Figura 37 - Resistência à dureza Janka ( $f_{brH}$ ) nas repetições (a), no adesivo dentro de posição (b) e em cada tratamento (c)

No BLC<sub>e</sub> manufaturado com adesivo PVA tanto para o melhor resultado (repetição 2), quanto para o pior (repetição 3) houve ruptura ocasionada pela fragmentação das amostras, inclusive na amostra 3, que além da amostra ter sido fragmentada, ocorreu também descolamento da lâmina

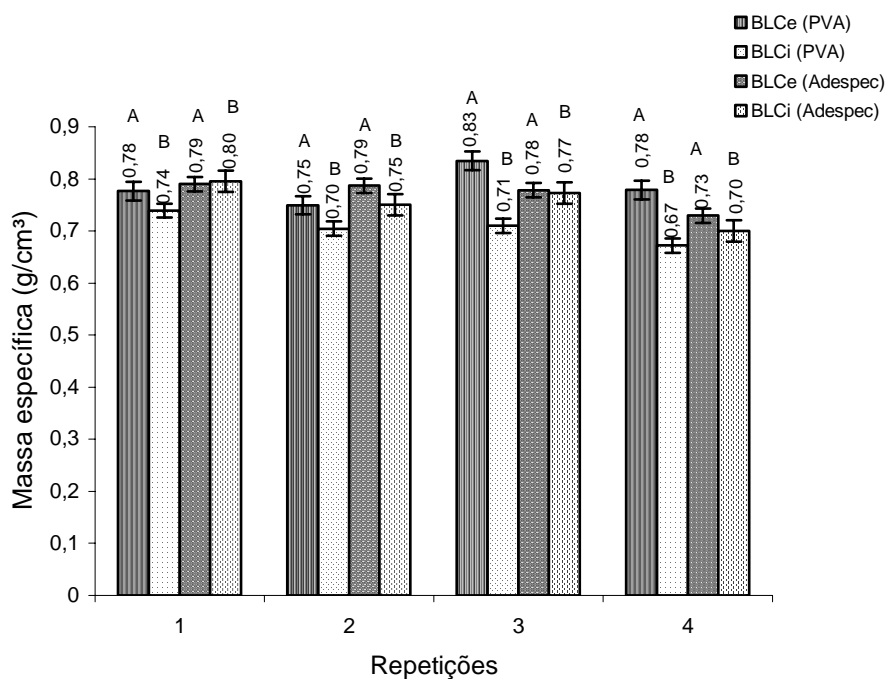
No BLC<sub>i</sub> com adesivo PVA o melhor resultado (repetição 1) apresentou descolamento de uma das lâminas no plano de cola em um dos pontos medidos. O pior resultado foi registrado pela amostra 4, onde a ruptura deveu-se ao descolamento das lâminas nos dois pontos de medição.

No BLC<sub>e</sub> manufaturado com adesivo adespec, o resultado mais elevado (repetição 3) e o pior (repetição 4) apresentaram descolamento das lâminas devido à tração normal ocorrida no plano de cola no momento da penetração da esfera.

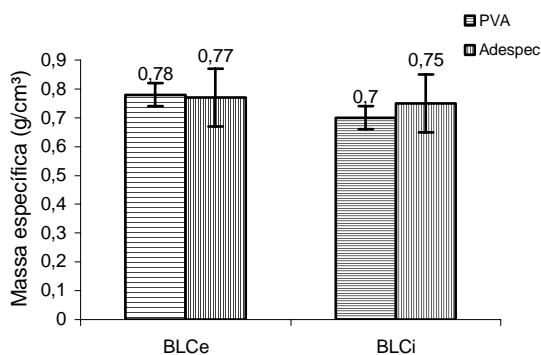
No BLC<sub>i</sub> manufaturado com adesivo adespec, tanto o melhor resultado (repetição 2) como o pior (repetição 1) apresentaram descolamento das lâminas pelo mesmo motivo explicado anteriormente.

#### **4.2.9 Massa específica**

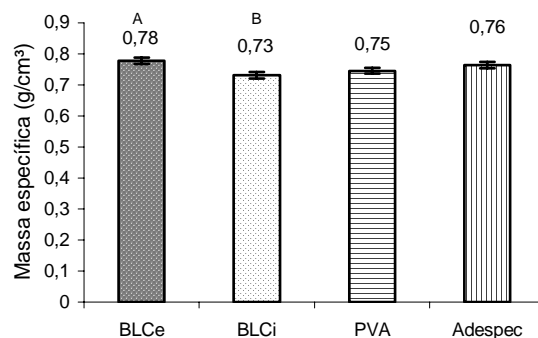
A Figura 38 apresenta os dados de massa específica dos compósitos. Houve diferença significativa entre os compósitos de BLC<sub>i</sub> e BLC<sub>e</sub>. Os compósitos de BLC<sub>e</sub> foram mais densos do que os manufaturados com lâminas internas. A diferença pode ser explicada pelas características das lâminas observadas no microscópio de varredura (MEV) apresentada na figura 42 do item Micro Análise. Observou-se que a lâmina externa possui maior concentração de feixes de fibras apresentando maior massa e refletindo na maior densidade do compósito. A Figura 38 (a) mostra o comportamento dos compósitos em cada repetição. Nota-se que não houve muita variação dos dados dentro de cada repetição e que no geral o BLC<sub>e</sub> apresentou maior densidade em relação ao BLC<sub>i</sub>. A Figura 38 (b) apresenta o comportamento dos adesivos dentro dos compósitos. Observa-se que os adesivos se comportaram de forma semelhante em ambos os compósitos. Na Figura 38 (c) nota-se a diferença significativa entre os compósitos, apontando a superioridade do BLC<sub>e</sub> e a pequena diferença entre os adesivos, apontando o adesivo adespec levemente melhor que o PVA. Os adesivos não influenciaram significativamente na massa específica do BLC apresentando o mesmo comportamento tanto no BLC<sub>e</sub> quanto no BLC<sub>i</sub>.



(a)



(b)



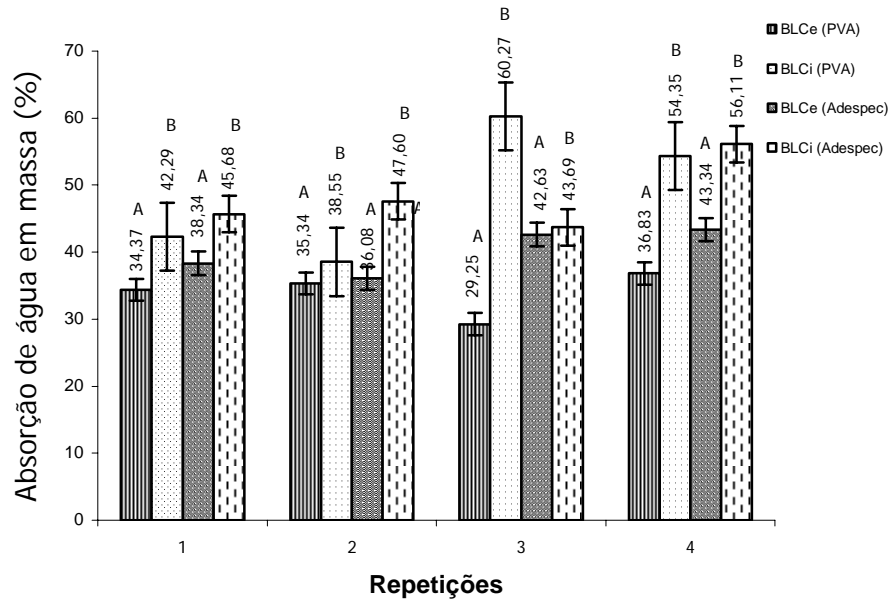
(c)

Figura 38 – Massa específica das repetições (a), no adesivo dentro de posição (b) e em cada tratamento (c)

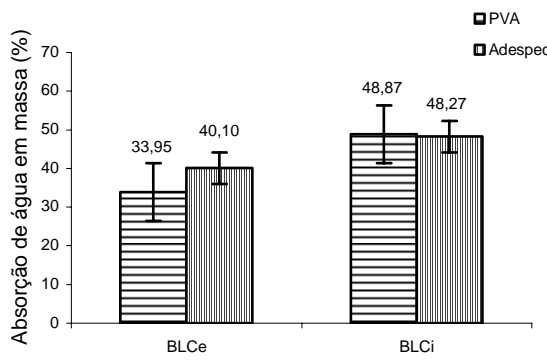
#### 4.2.10 Absorção de água em massa

Os dados mostraram que a massa de água absorvida variou significativamente com a posição de retirada das lâminas da parede do colmo. A apresentação dos dados obtidos no ensaio pode ser observada na Figura 39. A Figura 39 (a) mostra os dados dos compósitos em cada repetição. Observa-se que a maior variação dos dados para os compósitos produzidos com PVA

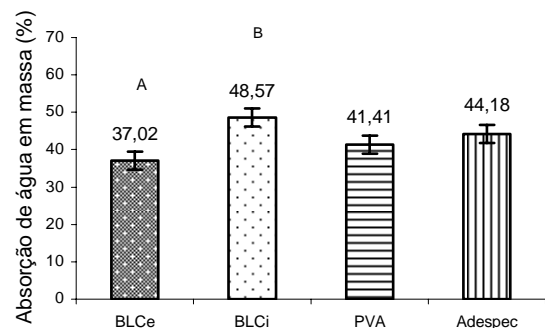
foi verificada nas repetições 3 e 4 e para os BLC<sub>e</sub> com adesivo adespec a maior variação foi notada nas repetições 2 e 4.



(a)



(b)



(c)

Figura 39 – Variação de massa do BLC por absorção de água nas repetições (a), no adesivo dentro de posição (b) e em cada tratamento (c)

A Figura 39 (b) apresenta o comportamento dos adesivos dentro dos compósitos. Observa-se que ambos os adesivos apresentaram melhores resultados no BLC<sub>i</sub>.

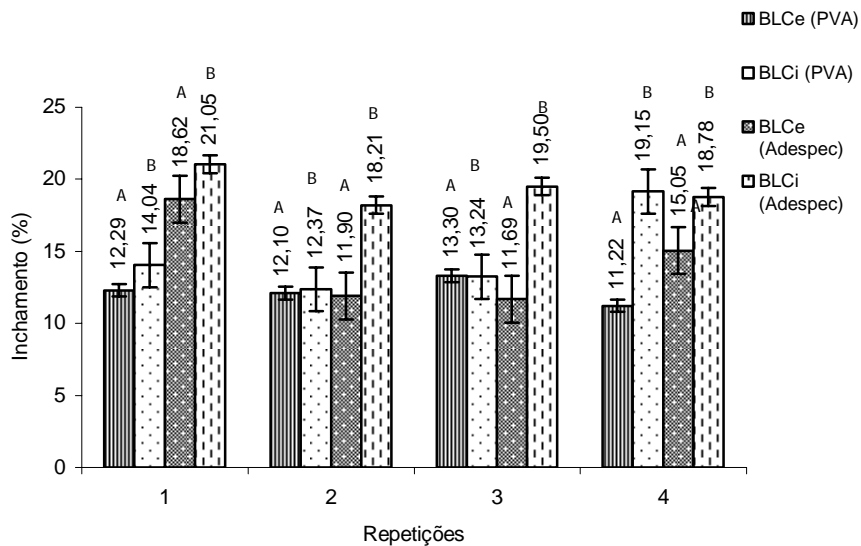
As amostras retiradas do BLC<sub>i</sub> apresentaram maior expansão de suas medidas. Como as lâminas componentes desse painel foram retiradas da camada interna da parede do colmo,

apresentam maior quantidade de células do parênquima, que por sua vez tem a capacidade de reter mais água que às fibras no período estipulado de 24 horas de imersão.

As lâminas interna e externa foram submersas em água destilada para que fosse possível averiguar a diferença entre elas. Quando foram submersas, as lâminas externas imediatamente se posicionaram no fundo do recipiente e o oposto ocorreu em relação às internas. Esse fato é explicado pela densidade inicial dos compósitos. As amostras do BLC<sub>i</sub> possuem maior porosidade, e por sua vez, maior quantidade de ar nas células e entre si, que é expulso e substituído por água durante a imersão.

#### 4.2.11 Inchamento

Os dados gerados são apresentados na Figura 40. Observa-se na Figura 40 (a) que houve diferença significativa entre os compósitos. As amostras retiradas do BLC<sub>i</sub> apresentaram maior expansão de sua espessura especialmente quando produzido com adesivo Adespec. Houve pouca variação entre valores nos compósitos produzido com PVA, com exceção da repetição 4.



(a)



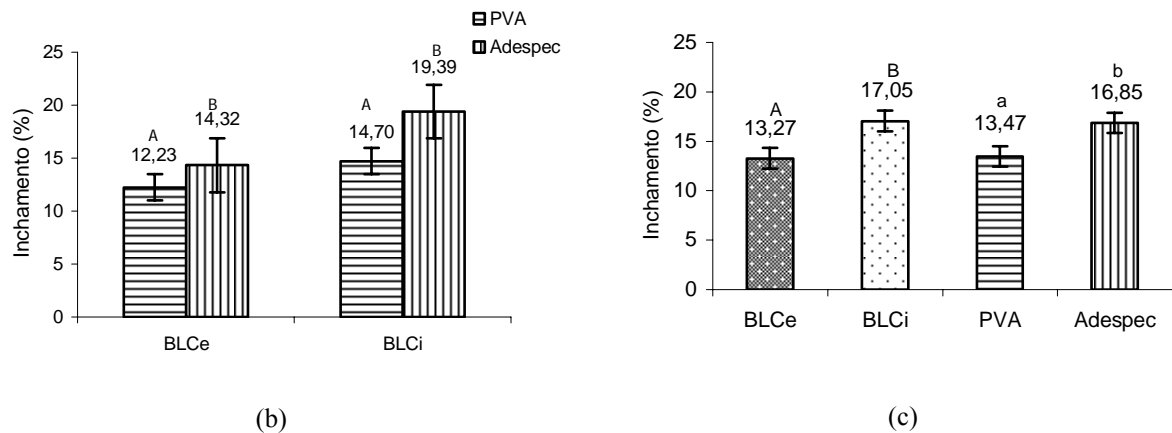


Figura 40 – Variação da espessura do BLC nas repetições por absorção de água (a), no adesivo dentro de posição (b) e em cada tratamento (c)

A Figura 40 (b) apresenta o comportamento dos adesivos dentro dos compósitos. Nota-se que os adesivos trabalharam com maior flexibilidade no BLCi. A Figura 40 (c) mostra diferenças significativas entre os tratamentos correspondentes.

As amostras do BLC<sub>i</sub> apresentaram maior ganho de massa e maior variação de espessura, pois a anatomia das lâminas está diretamente correlacionada com a anatomia do colmo. A região onde há maior presença de células parenquimáticas possibilita maior adsorção, ou seja, retém maior quantidade de água se comparadas às fibras. Como os compósitos BLC<sub>i</sub> possuem maior número de células parenquimáticas do que de fibras, apresentaram maior expansão e maior ganho de massa.

O inchamento das amostras ocasionou o descolamento das lâminas de duas amostras. Em uma delas houve o descolamento total de uma camada (adesivo adespec), e em outra apenas uma das lâminas se descolou (adesivo PVA). Ambas as amostras se referem à repetição 2 no BLC<sub>e</sub>.

#### 4.2.12 Comparação entre BLC e Madeira

As médias dos valores obtidos nos ensaios físicos e mecânicos do presente trabalho foram comparadas às de algumas madeiras tradicionais, tanto de reflorestamento quanto de nativas, como também a valores de propriedades de BLC encontrados na literatura (Tabela 7).

Tabela 7 – Valores de propriedades físicas e mecânicas (em MPa) de bambu laminado colado e de algumas espécies referenciais

Propriedade	Madeira maciça (U=15%)				BLC (U=12 %)	BLC (Literatura)
	Peroba rosa ( <i>Aspidosperma peroba</i> )	Ipê roxo ( <i>Tecoma impetiginosa</i> )	Pinus ( <i>Pinus elliottii</i> )	Eucalipto ( <i>Eucalyptus saligna</i> )	Bambu ( <i>D. giganteus</i> )	
Resistência à compressão	58,0	74,5	32,1	50,2	61,73	55 <sup>5</sup>
Resistência ao cisalhamento	12,2	14,5	5,9	9,4	10,58 15,56 <sup>6</sup>	10 <sup>5</sup>
Resistência ao cisalhamento no plano de cola	*	*	*	*	2,28 6,85 <sup>6</sup>	8,11 <sup>4</sup>
Módulo de ruptura na flexão estática	106,4	163,2	71,0	103,6	78,40	99 <sup>4</sup>
Módulo de elasticidade na flexão estática	9950 <sup>1</sup>	16500 <sup>1</sup>	6590 <sup>1</sup>	12110 <sup>1</sup>	9556	13600 <sup>4</sup>
Dureza	71,4	88,5	19,7	46,2	35,78	35,2 <sup>5</sup>
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	0,80	0,96	0,48	0,69	0,75	0,79 <sup>4</sup>

Inchamento radial (%)	4,10	4,00	3,40	6,80	14,66	16,2 <sup>2</sup> (2,86) <sup>3</sup>
-----------------------	------	------	------	------	-------	--

<sup>1</sup>condição verde, <sup>2</sup>inchamento em aglomerado de bambu com 5% de resina (BERALDO; JOSÉ apud PEREIRA; BERALDO, 2007), <sup>3</sup>inchamento da lâmina (PEREIRA apud PEREIRA; BERALDO, 2007), <sup>4</sup>PEREIRA apud PEREIRA; BERALDO, 2007, <sup>5</sup>GONÇALVES et al. (2000), <sup>6</sup>Relatório interno do Laboratório de Engenharia da Madeira da ESALQ/USP

Fonte: IPT (1956); Pereira; Beraldo (2007)

A média dos valores obtidos no ensaio de compressão mostrou que a resistência do compósito de bambu é superior às de algumas madeiras de reflorestamento como Eucalipto (*Eucalyptus saligna*) e Pinus (*Pinus elliottii*) e da madeira nativa peroba rosa, que foi extensamente utilizada em estruturas e continua sendo a espécie referência. Poderia ter sido maior ainda se não tivesse ocorrida instabilidade lateral durante o ensaio, mas, mesmo assim, foi maior do que a média obtida por Gonçalves et al (2000).

A relação resistência à compressão/massa específica do BLC foi considerada melhor do que todos os materiais citados na Tabela 7.

Nos dois valores de resistência ao cisalhamento, que se referem ao material lenhoso propriamente dito, o BLC superou as madeiras de reflorestamento, mas foram diferentes entre si, mostrando que pode haver grande diferença de lote para lote. Isso se deve mais às variações naturais da resistência ao cisalhamento entre lâminas que compõem o compósito do que às falhas do processo de fabricação do compósito. A composição de lâminas com adesivo pouco influencia nessa propriedade mecânica do BLC.

A resistência ao cisalhamento no plano de cola foi a propriedade crítica estudada na presente pesquisa e foi a responsável pelo baixo módulo de ruptura na flexão estática do BLC produzido. Isso significa que uma melhoria na adesão entre lâminas acarretará uma melhoria imediata nessa propriedade porque a ruptura no ensaio de flexão ocorreu por cisalhamento do plano de cola e não por cisalhamento do plano central fibroso do painel onde as tensões de cisalhamento são críticas. O módulo de elasticidade será também elevado com a melhoria da adesão, mas o valor obtido já permite dizer que o BLC produzido apresentou boa característica elástica. Tanto no módulo de ruptura quanto no módulo de elasticidade, o BLC mostrou-se superior à madeira pinus e inferior à de eucalipto e nativas, mas pode ser equiparado à peroba em termos do seu módulo de elasticidade. Não foi possível avaliar a queda que ocorreu no módulo de

elasticidade da lâmina para o painel, mas a diferença entre os valores dessa propriedade apresentados na Tabela 7 indica que ela depende do processo de fabricação e que, portanto, deve ser aprimorado. Foi observado que as falhas de colagem aumentam com a largura do painel. O valor 9556MPa, obtido no presente trabalho, refere-se a painéis de 1,5cm x 8,0cm de seção transversal e o valor 13000 MPa foi obtido de vigas 5,0cm x 5,0cm. Esse mesmo comentário se aplica na comparação dos valores 10,58 e 15,56 MPa que foram obtidos do BLC produzido no presente trabalho e de uma viga laminada colada de 2,0cm x 6,0cm de seção transversal, respectivamente.

A dureza no bambu foi menor que as das madeiras nativas e do eucalipto, porém, superior à do pinus. Os valores 35,78 e 35,2 MPa foram obtidos de corpos de prova diferentes e, portanto, permitem depreender que qualquer um dos dois apresenta requisitos mínimos para o ensaio. Observou-se, entretanto, que, por causa da homogeneidade e linearidade da anatomia do colmo, houve tendência de fendilhamento da amostra ocasionado pela punção da esfera do ensaio de dureza e isso foi a causa dos valores baixos.

O inchamento, que se refere à expansão relativa da espessura do painel, foi considerado como a propriedade mais crítica estudada no presente trabalho, porque foi muito superior no painel do que na lâmina. Isso mostra que o produto tem, nesse aspecto, qualidade significativamente pior do que a matéria prima, com valores respectivos de 14,66 e 2,86%. Depreende-se desses valores que o inchamento do painel é composto do inchamento das lâminas individuais e dos afastamentos entre camadas do painel, que depende da qualidade do adesivo e do seu comportamento em água. Para o caso do uso de um adesivo ideal, que é pouco provável que exista, o inchamento do painel deveria ser o mesmo da lâmina. Estudos orientados para a melhoria da adesão entre camadas, devem ser conduzidos para aperfeiçoar o processo de fabricação de bambu laminado colado, com o intuito de obterem-se compósitos de melhor estabilidade dimensional e, indiretamente, de melhores propriedades mecânicas. O BLC produzido na presente pesquisa apresentou inchamento quase igual ao apresentado pelo aglomerado de bambu produzido por Beraldo e José citados por Pereira, Beraldo (2007).

#### **4.3 Micro Análise**

A Figura 41 (a) mostra na seção transversal os elementos anatômicos existente na parede do colmo e o detalhe do feixe vascular (b), composto pelo metaxilema, protoxilema e floema circundado por células parenquimáticas.

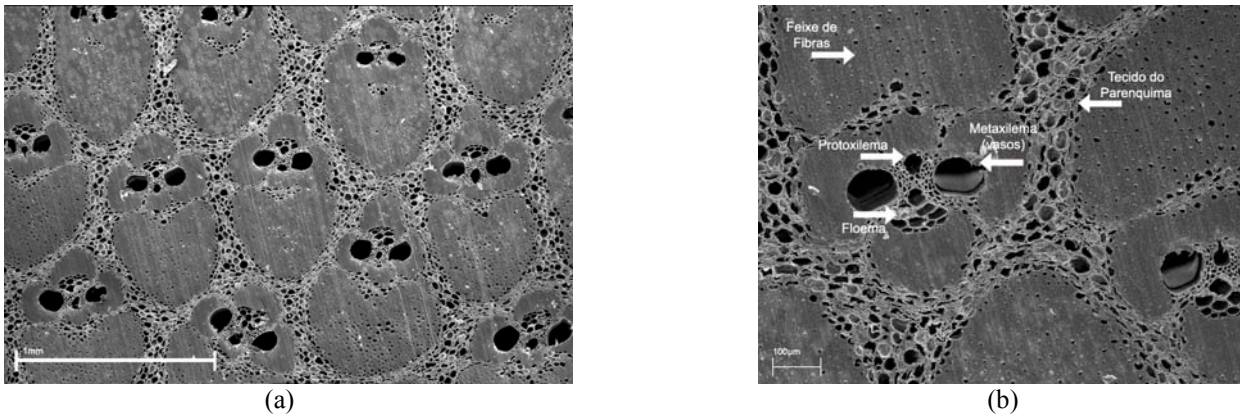


Figura 41 – Corte transversal da parede do colmo de bambu (a) e detalhe de sua micro anatomia (b)

Observa-se na Figura 42 (a) obtida de uma lâmina externa retirada do BLC<sub>e</sub>, um tecido firme constituído de fibras e pouco parênquima. A Figura 42 (b) obtida do BLC<sub>i</sub> mostra que o processo de retirada da amostra esmagou as células do parênquima devido à sua constituição pouco consistente.

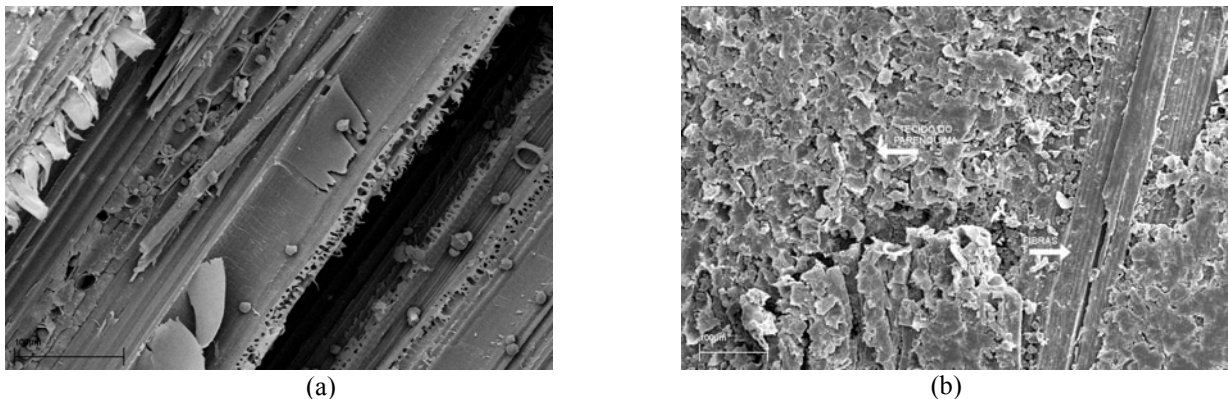


Figura 42 – Tecido da lâmina externa (a) e tecido parenquimatoso da interna (b)

Os resultados dos materiais analisados no MEV demonstraram que a melhor ancoragem do adesivo na parte interna da lâmina é explicada pela maior frequência de células do parênquima e de vasos encontrados nessa região. A Figura 43 (a) mostra união de duas lâminas pela região do parênquima. Nota-se que a maior quantidade de células do parênquima e a dimensão das mesmas

facilitaram a penetração do adesivo nessas células, resultando em uma melhor adesão entre as peças coladas. A Figura 43 (b) ilustra a união de duas lâminas do compósito onde a camada interna de uma das lâminas foi justaposta à camada externa de outra. Observou-se que na parte mais fibrosa da lâmina externa, o adesivo penetrou quase que somente onde havia células do parênquima. O melhor resultado obtido no ensaio de cisalhamento no plano de cola ocorreu nas lâminas onde a união se deu pela justaposição de camadas menos fibrosa e mais rica em parênquima.

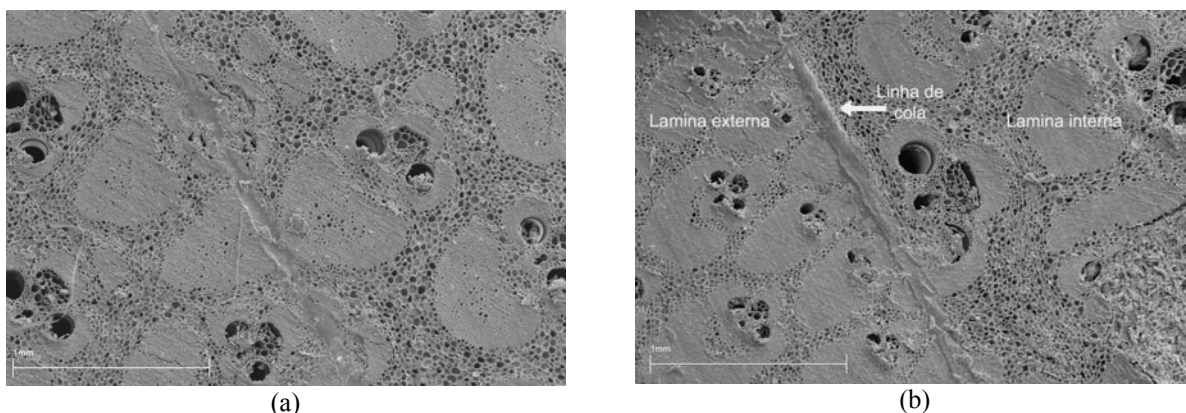


Figura 43 – Linha de cola entre camadas parenquimáticas (a) e entre duas camadas anatomicamente diferentes (b)

Observa-se na Figura 44 que a linha de adesivo numa região fibrosa da lâmina é bem diferenciada, não apresentando ramificações que contribuem para uma boa ancoragem e a penetração do adesivo é mais intensa na região dos vasos e parênquima. A Figura 44 (a) apresenta a dificuldade de ancoragem do adesivo na zona que apresenta maior quantidade de fibras. A Figura 44 (b) ilustra a facilidade de penetração do adesivo em regiões ricas em vasos e células do parênquima. A Figura 44 (c) e (d) mostra que o lado esquerdo da linha de cola corresponde a uma região mais fibrosa da lâmina, e o lado direito, a uma região mais rica em parênquima e vasos na qual se observa que o contorno do adesivo é mais irregular em virtude da maior difusão do adesivo da superfície para o interior.

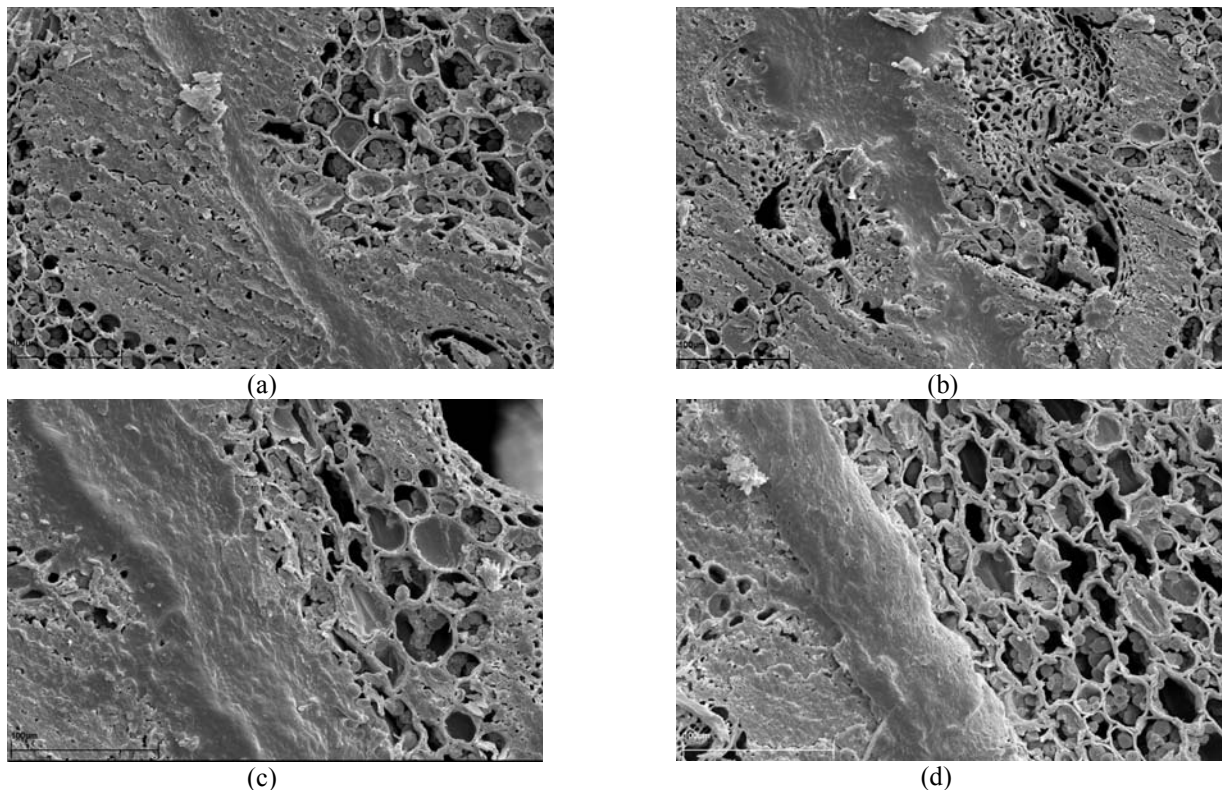


Figura 44 – Detalhe da linha de cola na região mais fibrosa (a), na região de vasos (b), na região entre uma lâmina mais fibrosa e outra mais rica em parênquima (c) e (d)

Não foi possível localizar com precisão a exata ancoragem do adesivo nas células, porque foi impossível diferenciar elementos anatômicos ou partículas de adesivo em micrografias com alto grau de amplificação. Perdia-se a referência do ponto alvo em relação ao conjunto. Há necessidade de um estudo mais detalhado para compreenderem-se os detalhes que vão aparecendo tão mais isolados quanto maior o grau de resolução adotado para a tomada da micrografia.

Para compreender-se a ancoragem do adesivo nos elementos anatômicos das lâminas pode ser necessário um outro tipo de análise que utiliza o MEV juntamente com EDX (Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva). O EDX é um instrumento que determina quantitativamente os elementos químicos presentes em uma determinada amostra. Isto é possível através do bombardeamento da superfície da amostra com raios-X e detecção dos raios-X fluorescentes emitidos. A sugestão para essa análise é a de estudarem-se os componentes do adesivo e posteriormente pesquisar a ocorrência desses mesmos componentes dentro do material composto.

## 5 CONCLUSÕES

A adaptação de corpos-de-prova para qualificação mecânica do painel estrutural de Bambu Laminado Colado (BLC) fabricado no presente trabalho não foi completamente satisfatória nos ensaios de compressão paralela, cisalhamento tangencial longitudinal e de dureza, principalmente a longitudinal. A falta de normas para caracterização física e mecânica de BLC dificulta comparações entre trabalhos e resultados, pois a inexistência de padronização e procedimentos de obtenção de corpos de prova leva os pesquisadores a criarem amostras próprias baseadas em combinações de normas diferentes.

A resistência ao cisalhamento no plano de cola é a propriedade mecânica crítica do BLC porque, sendo baixa, contribui para a redução do valor do módulo de elasticidade na flexão e, principalmente, do módulo de ruptura nesse mesmo ensaio. Pode ser substancialmente melhorada com um controle efetivo do processo de colagem entre camadas de lâminas para evitar a comum ruptura por cisalhamento do plano de cola na flexão estática.

O inchamento é a propriedade física crítica porque é muito maior no BLC do que nas suas lâminas componentes. Sofre influência significativa do afastamento entre camadas, que por sua vez é dependente da qualidade e da homogeneidade da adesão entre camadas.

Painéis produzidos com lâminas da camada mais externa do colmo apresentaram desempenho mecânico apenas ligeiramente superior aos painéis produzidos com lâminas da camada mais interna. Além da grande variação observada entre repetições, que mascara pequenas diferenças entre tratamentos, houve uma compensação de efeitos, pois as lâminas externas são mais resistentes do que as internas, mas as lâminas internas se comportam melhor do que as externas no que se refere à adesão entre lâminas. As lâminas internas favorecem, por suas características anatômicas, a ancoragem do adesivo. Variáveis do colmo como espessura da



parede, curvatura, conicidade, comprimento do entrenó e geometria do nó são importantes e interagem com as variáveis da tecnologia de industrialização como variação da espessura das lâminas, secagem das lâminas, pressões de contato compatibilizadas em duas direções perpendiculares de prensagem, qualidade e dose do adesivo e qualidade das superfícies a serem coladas. O BLC é um produto muito promissor porque apresenta boas propriedades estruturais, que não são exageradamente dependentes da matéria prima e do processo de fabricação.

O bambu só pode ser utilizado estruturalmente na forma natural do colmo ou de peças laminadas coladas, por causa da característica tubular e da pequena espessura da parede do colmo apresentada pela maioria das espécies. Isso torna o bambu menos versátil do que a madeira, mas a sua forma rústica de crescimento e expressiva produtividade em material lenhoso oferecem algumas vantagens em relação à produção de madeira estrutural. Os painéis de bambu laminado colado se equiparam a muitas madeiras maciças em termos de suas propriedades mecânicas e podem ser considerados produtos promissores para usos estruturais, mesmo no estágio incipiente em que estão sendo produzidos. O bambu pode ser considerado, embora necessite de tecnologias apropriadas de transformação de colmos em produtos laminados colados, um substituto potencial para inúmeros produtos fabricados com madeiras.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR7190**: projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107 p.

BAI, X. **Experimental and numerical evaluations of structural bamboo-based composite materials**. 1996. v. 1, 163 p. Dissertation (MS in Forest Resources) - Clemson University, Clemson, 1996.

BANSAL, A.K.; PRASADT, R.N. Manufacturing laminates from sympodial bamboos an Indian experience. **Journal of Bamboo and Rattan**, Leiden, v. 3, n. 1, p. 13-22, 2004.

BERALDO, A.L.; RIVERO, L.A. Bambu laminado colado. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 10, n. 2, p. 36-46, ago./dez. 2003.

DUNKELBERG, K. **Bamboo as a building material**: bamboo-IL 31. Stuttgart: University of Stuttgart, Institute for Lightweight Structures, 1985. 431 p.

GHAVAMI, K. Application of bamboo as a low-cost energy material in civil engineering. In: SYMPOSIUM MATERIALS FOR LOW INCOME HOUSING, 3, 1989, Mexico City. Symposium...Mexico:CIB/RILEM, 1989. p.526-536

GHAVAMI, K.; HOMBEECK, R.V. Application of bamboo as a construction material. Part I- Mechanical properties & water - repellent treatment of bamboo. Part II: Bamboo reinforced concrete beams. In: LATIN AMERICAN SYMPOSIUM ON RATIONAL ORGANIZATION OF BUILDING APPLIED TO LOW COST HOUSING, 1981, São Paulo. **Proceedings ...** São Paulo: IPT; CIB, 1981. v. 1, p. 49-66.

GHAVAMI, K.; MARINHO, A.B. Propriedades físicas e mecânicas do colmo inteiro do bambu da espécie *Guadua angustifolia*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 1, p. 107-114, 2005.

GHAVAMI, K.; SILVA, F.A.; D'ALMEIRA, J.R.M. Comportamento ao impacto de laminados de bambu. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURA DE MADEIRA, 9., 2004, Cuiabá. **Anais ...** Cuiabá: EBRAMEM, 2004. 1 CD-ROM.

GLÓRIA, B.A.; CARMELLO-GUERREIRO, S.M. **Anatomia vegetal**. Viçosa: Ed. UFV, 2003. v. 1, 438 p.

GONÇALVES, M.T.T., PEREIRA M.A.dos R., GONÇALVES, C.D. Ensaios de resistência mecânica em peças laminadas de bambu. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 29., 2000, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: CONEA, 2000. CD ROM.

GRITSCH, C. S.; MURPHY, R. J. Ultrastructure of fibre and parenchyma cell walls during early stages of culm development in *Dendrocalamus asper*. **Annals of Botany**. Oxford, v. 95, n. 4, p 619-629, Jan 2005.

GROSSER, D.; LIESE, W. On the anatomy of Asian bamboos with special reference to their vascular bundles. **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 5, n. 4, p. 290-312, 1971.

HAOJIE, W.; VARMA, R. V.; TIANSEN, X. **Insect pests of Bamboos in Asia: an illustrated manual**. Beijing, 1996. Disponível em: <<http://www.inbar.int/publication/txt/tr13/POSTright.htm>> Acesso em: 22 mar. 2005.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Métodos de ensaios adotados no IPT para o estudo de madeiras nacionais**: tabelas de resultados obtidos para madeiras nacionais, nomenclatura das madeiras nacionais. 2.ed. São Paulo: 1956. 62 p. (Boletim Técnico, 31)

ITOH, T. Lignification of bamboo (*Phyllostachys heterocycla* Mitf.) during its growth. **Holzforschung**, Berlin, v. 44, p. 191–200, 1990.

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

JANSSEN, J.J.A. **Bamboo in building structures**. 1981. v. 1, 235 p. Thesis (PhD in Building and Planning) - Eindhoven University of Technology, Eindhoven, 1981.

LEE, A.W.C.; LIU, Y. Selected physical properties of commercial bamboo flooring. **Forest Products Journal**, Madison, v. 53, n. 6, p. 23-26, 2003

Li, X. **Physical, chemical, and mechanical properties of Bamboo and its utilization potential for fiberboard manufacturing**. 2004. v. 1, 68 p. Thesis - Louisiana State University, Baton Rouge, 2004.

LIESE, W. **Bamboos biology, silvies, properties, utilization**. Eschborn: Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit (GTZ), 1985. 132 p.

\_\_\_\_\_. Research on bamboo. **Wood Science and Technology**, Heidelberg, v. 21, n. 3, p. 189-209, Sept. 1987.

\_\_\_\_\_. The structure of bamboo in relation to its properties and utilization. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INDUSTRIAL USE OF BAMBOO, 1992, Beijing.

Disponível em: <[http://www.emissionzero.net/W.\\_Liese\\_\\_The\\_Structure\\_of\\_Bamboo.pdf](http://www.emissionzero.net/W._Liese__The_Structure_of_Bamboo.pdf)>. Acesso em: 02 mar. 2006.

\_\_\_\_\_. **The anatomy of bamboo culms**. Beijing: International Network for Bamboo and Rattan, 1998. 208 p. (Technical Report).

LIESE, W.; WEINER, G. Ageing of bamboo culms. A review. **Journal Wood Science and Technology**, Heidelberg, v. 30, n. 2, p. 77-89, Apr. 1996.

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

LOPEZ, H.O. **Bambú, su cultivo y aplicaciones en:** fabricación de papel, construcción, arquitectura, ingeniería, artesanía. Cali: ITALGRAF, 1974. 176 p.

\_\_\_\_\_. **Bamboo the gift of the Gods**. Bogotá: o autor, 2003. 553 p.

LYBEER, B. **Age-related anatomical aspects of some temperate and tropical bamboo culms (Poaceae: Bambusoideae)**. 2006. v. 1, 85 p. Thesis (PhD in Biology) - Ghent University, Ghent, 2006.

MANSUR, A. **Analysis of Calcutta bamboo for structural composite materials**. 2000. v. 1, 210 p. Thesis (PhD in Wood Science and Forest Products) - Faculty of Virginia Polytechnic Institute, Blacksburg, 2000.

MATOSKI, S.L.S. **Comportamento de *dinoderus minutus fabricius* (1775) - (coleoptera: bostrichidae) em peças torneadas de madeira**. 2005. 106 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

MOIZÉS, F.A. **Painéis de Bambu, uso e aplicações: uma experiência didática nos cursos de Design em Bauru**. 2007. v. 1, 116 p. Dissertação (Mestrado em Desenho industrial) – Faculdade de arquitetura, artes e comunicação, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2007.

NASCIMENTO, A.M. **Estrutura do colmo e propriedades físicas do bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus* (Wall) Munro)**. 1990. v. 1, 85 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1990.

NASCIMENTO, A.M.; LUCIA, R.M.D. Modelos estatísticos estimadores para confecção de tabelas de volume e peso seco para o bambu gigante. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 1, p. 28-40, 1994.

NOGUEIRA, C.L.; GARCIA J.N. ; NOGUEIRA, N.L ; ROSSI, M.L. Ultrastructural characterization of bamboo woody tissue and related properties of bamboo beam manufactured with laminas from inner and outer part of culm wall. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE MICROSCOPIA E MICROANÁLISE, 21., 2007, Búzios. **Anais ...** Rio de Janeiro: SBMM, 2007. p. 1-2.

NUGROHO, N.; ANDO, N. Development of structural composite products made from bamboo II: fundamental properties of laminated bamboo lumber. **Journal of Wood Science**, Heidelberg, v. 47, n. 3, p. 237-242, May 2001.

NUNES, A.R.S. **Construindo com a natureza bambu**: uma alternativa de eco desenvolvimento. 2005. v. 1, 142 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio ambiente)- Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2005.

PEREIRA, M.A.R. O uso do bambu na irrigação montagem de um sistema de irrigação por aspersão de pequeno porte, utilizando tubulação de bambu. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26., 1997, Campina Grande. **Anais ...** Campina Grande: SBEA, 1997. 1 CD-ROM.

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

RIVERO, L.A. **Laminado colado e contraplacado de bambu**. 2003. v. 1, 99 p. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambientação) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

SALGADO, A.L.B.; AZZINI, A. Conservação do Bambu. **O Agrônomo**, Campinas, v. 46, n. 1/3, p. 21-26, 1994.

SUMARDI, I.; SUZUKI, S.; ONO, K. Some important properties of strandboard manufactured from bamboo. **Forest Products Journal**, Madison, v. 56, n. 6, p. 59-63, June 2006.

TEIXEIRA, A.A. **Painéis de bambu para habitações econômicas**: Avaliação do desempenho de painéis revestidos com argamassa. 2006. v. 1, 177 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)- Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

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

XAVIER, L.M. **Caracterização química, física e mecânica do *Phyllostachys áurea* e sua resistência ao ataque de térmitas, preservado com ácido bórico e tanino condensável**. 2004. v. 1, 54 p. Dissertação - (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais)- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2004.

YU, W.K.; CHUNG, K.F.; CHAN, S.L. Column buckling of structural bamboo. **Engineering Structures**, Guildford, v. 25, p. 755-768, 2003.

ZHENG, K.; XUHE, C. **Potential of bamboo-based panels serving as prefabricated construction materials**. Disponível em: <[http://www.inbar.int/Econo\\_devep/proceeding/Pa-Zheng-Potential%20of%20Bamboo-based%20Panels.pdf](http://www.inbar.int/Econo_devep/proceeding/Pa-Zheng-Potential%20of%20Bamboo-based%20Panels.pdf)>. Acesso em: 07 mar. 2006.

ZHENG, W.W.G. **Current status and prospects of new architectural materials from bamboo**. Beijing: Research Institute of Wood Industry, CAF. Disponível em:

<[http://www.inbar.int/publication/txt/INBAR\\_Working\\_Paper\\_No47.htm](http://www.inbar.int/publication/txt/INBAR_Working_Paper_No47.htm)>. Acesso em: 4 set. 2005.