



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

RAFAEL AMORIM ROSA

**CARACTERIZAÇÃO DO BAMBU LAMINADO COLADO COMO
ALTERNATIVA TECNOLÓGICA INDUSTRIAL**

JERÔNIMO MONTEIRO – ES
JULHO – 2013

RAFAEL AMORIM ROSA

**CARACTERIZAÇÃO DO BAMBU LAMINADO COLADO COMO
ALTERNATIVA TECNOLÓGICA INDUSTRIAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na área de Concentração Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Juarez Benigno Paes
Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Graziela Baptista Vidaurre
Coorientador: Prof. Dr. Pedro Gutemberg de Alcântara Segundinho

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

JULHO – 2013

Dissertação 0076

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

R788c Rosa, Rafael Amorim, 1987-
Caracterização do bambu laminado colado como alternativa
tecnológica industrial / Rafael Amorim Rosa. – 2013.
88 f. : il.

Orientador: Juarez Benigno Paes.

Coorientadores: Graziela Baptista Vidaurre ; Pedro Gutemberg de
Alcântara Segundinho.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade
Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

1. Bambu. 2. Adesivos. 3. Indústria Madeireira. I. Paes, Juarez
Benigno. II. Vidaurre, Graziela Baptista. III. Segundinho, Pedro
Gutemberg de Alcântara. IV. Universidade Federal do Espírito Santo.
Centro de Ciências Agrárias. V. Título.

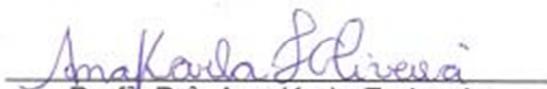
CDU: 630

**CARACTERIZAÇÃO DO BAMBU LAMINADO COLADO COMO
ALTERNATIVA TECNOLÓGICA INDUSTRIAL**

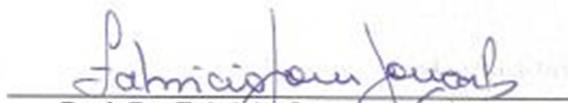
Rafael Amorim Rosa

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Recursos Florestais.

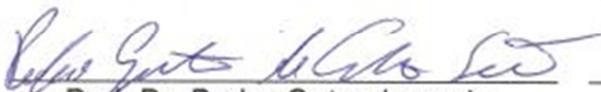
Aprovada em 30 de Julho de 2013.



Prof.^a. Dr.^a. Ana Karla Freire de
Oliveira
UFRJ
Membro Externo



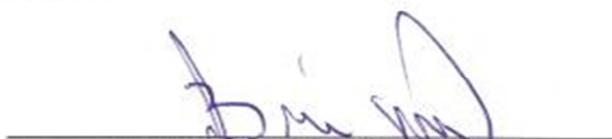
Prof. Dr. Fabricio Gomes Gonçalves
UFES
Membro Interno



Prof. Dr. Pedro Gutemberg de
Alcântara Segundinho
UFES
Coorientador



Prof.^a. Dr.^a. Graziela Baptista Vidaurre
UFES
Coorientadora



Prof. Dr. Juarez Benigno Paes
UFES
Orientador

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter me dado força e perseverança suficiente para a conclusão de mais uma etapa em minha vida.

Ao Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais – PPGCF da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES e ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira – DCFM, por conceder a infraestrutura necessária para a realização deste trabalho.

À Fundação de Apoio à Ciência e Tecnologia do Espírito Santo – FAPES, pela concessão de bolsa de estudo.

À Empresa AkzoNobel pela doação dos adesivos, tornando possível o desenvolvimento deste trabalho. Em particular, ao Engenheiro Industrial Madeireiro Renato Lara, pela disponibilidade, atenção e vontade de ajudar.

Aos senhores Sebastião de Azevedo dos Santos, Sítio Dona Zezé pela doação do bambu gigante e Ronaldo Silveira Ribeiro, Fazenda Velha, pela doação do bambu vulgar.

Aos meus amados pais, Vicente e Maria da Penha, pelo amor, carinho, preocupação, críticas e conselhos, pelos ensinamentos ao longo da minha vida e, principalmente, por acreditarem que tudo iria dar certo.

À minha noiva e futura esposa, Raisal Carvalho Silva, pelo incondicional e inquestionável amor, forjado e moldado ao longo deste curto tempo juntos, de apenas oito anos.

À minha afilhada Marina, que simplesmente por abrir aquele sorriso e dar aquele abraço, consegue fazer a mais forte tristeza se transformar em um grande sorriso.

Aos meus irmãos Tiago e Vicente Júnior, por saber que sempre posso contar com eles.

Aos meus futuros sogro e sogra, Firmino e Angélica, por me acolherem com muito carinho desde o início, tratando-me como filho e por aquelas conversas agradáveis, que muito me ensinaram.

Aos meus futuros cunhados Roger e Rian, pelas conversas interessantes e muitas vezes divertidas.

Ao meu orientador Professor Juarez Benigno Paes, por saber criticar e elogiar na hora certa, pela constante disponibilidade, pelas inúmeras vezes de compreensão, por me ajudar em situações difíceis e por sempre poder contar como professor e, especialmente, como amigo.

Aos Professores Graziela Baptista Vidaurre e Pedro Gutemberg de Alcântara Segundinho, pelos importantes conselhos ao longo da pesquisa, pelo apoio intelectual e por aceitaram ser os meus coorientadores.

Aos professores Ana Karla Freire de Oliveira e Fabricio Gomes Gonçalves, por aceitaram prontamente a participar da Banca Examinadora da Dissertação.

Aos meus amigos de graduação e de mestrado Dercílio Verly, João Gabriel, Jordão Moulin, Rafael Bridi, Rogy Frigeri, Thiago Leite, Vinicius Tinti, Victor Brocco e Walter Boschetti, pelos momentos felizes e histórias inesquecíveis. Em particular, ao meu amigo Jordão, pela ajuda, disponibilidade e ensinamentos de solidariedade transmitidos ao longo dos anos de convívio.

Ao marceneiro Elecy Palácio Constantino e aos laboratoristas, José Geraldo Lima de Oliveira e Gilson Barbosa São Teago, pela ajuda e amizade concretizada ao longo da dissertação.

Enfim, a todos aqueles que diretamente ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. A INDÚSTRIA MOVELEIRA NO BRASIL	4
2.2. MATÉRIA PRIMA PARA A PRODUÇÃO DE PAINÉIS	5
2.3. A ORIGEM DO BAMBU	7
2.4. TRATAMENTOS PRESERVANTES DO BAMBU	11
2.5. ADESÃO E ADESIVOS	13
2.6. BAMBU LAMINADO COLADO (BLC)	15
2.6.1. Painéis fabricados com partículas de bambu	18
2.6.2. Painéis fabricados com taliscas de bambu	18
2.7. MÉTODOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS	23
3. MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1. ESPÉCIES, PROCEDÊNCIA E COLETA DOS BAMBUS	29
3.2. TRATAMENTO PRESERVATIVO DOS COLMOS	29
3.3. CONFECÇÃO E SECAGEM DAS TALISCAS	30
3.4. ADESIVOS UTILIZADOS NA PRODUÇÃO DOS BLCs	31
3.4.1. Acetato de polivinílico <i>cross</i> (PVAc)	33
3.4.2. Emulsão de isocianato polimérico (EPI)	33
3.4.3. Melamina ureia formaldeído (MUF)	34
3.4.4. Resorcinol formaldeído (RF)	34
3.5. ENSAIOS DESTRUTIVOS e NÃO DESTRUTIVOS PARA AVALIAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DO BLC	34
3.5.1. Vibração longitudinal (Vib. long.)	37
3.5.2. Vibração transversal (Vib. trans.)	38
3.5.3. <i>Stress wave</i> (SW)	39
3.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA E AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS	40
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1. DENSIDADE BÁSICA, RETRATIBILIDADE VOLUMÉTRICA E CURVA DE SECAGEM DOS BAMBUS	42
4.2. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS BAMBUS LAMINADOS COLADOS	43
4.2.1. Densidade básica dos BLCs	43
4.2.2. Inchamento dos BLCs	45
4.2.3. Ensaio de delaminação dos BLCs	51
4.3. CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DOS BLCs	53
4.3.1. Resistência ao cisalhamento	53
4.3.1.1. Falha na linha de colados BLCs	56
4.3.2. Compressão paralela dos BLCs	58
4.3.3. Flexão estática dos BLCs	60
4.3.4. Módulo de elasticidade estático estimado (\hat{E}) por métodos não destrutivos	63
4.3.5. Módulo de ruptura estimado (\hat{R}) por métodos não destrutivos	66
5. CONCLUSÕES	68
6. REFERÊNCIAS	71

APÊNDICES	77
APÊNDICE A – Resumos das análises de variância para os ensaios mecânicos dos BLCs.....	78
APÊNDICE B – Resumos das análises de variância dos ensaios de adesão. Valores transformados em $\arcsen\sqrt{\% \text{ propriedade avaliada}}$	79
APÊNDICE C – Resumos das análises de regressão linear para as duas espécies de bambu.....	80

RESUMO

ROSA, Rafael Amorim. **Caracterização do bambu laminado colado como alternativa tecnológica industrial.** 2013. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro - ES, Orientador: Prof. Dr. Juarez Benigno Paes. Coorientadores: Prof^a. Dr^a. Graziela Baptista Vidaurre e Prof. Dr. Pedro Gutemberg de Alcântara Segundinho.

Este trabalho teve como objetivos verificar as propriedades tecnológicas dos bambus *Dendrocalamus giganteus* e *Bambusa vulgaris*; avaliar as propriedades físicas e mecânicas dos bambus laminados colados (BLC) de acordo com as espécies, os adesivos e os tratamentos preservativos utilizados e; correlacionar tanto o módulo de ruptura – MOR quanto o módulo de elasticidade – MOE dos BLCs obtidos por meio dos métodos não destrutivos com o método destrutivo. Para isto, foram produzidas taliscas com dimensões de 0,5 x 3,0 x 70,0 cm (espessura x largura x comprimento) com os bambus das espécies *D. giganteus* e *B. vulgaris* com idade superior a três. Uma parte destas taliscas foi imersa em água e a outra em Timbor, com duração de 15 dias para ambos os tratamentos. Os adesivos utilizados foram à base de emulsão de isocianato polimérico (EPI); melamina ureia formaldeído - MUF; acetato de polivinílico *cross* – PVAc e resorcinol formaldeído - RF. Os métodos não destrutivos utilizados para estimar o módulo de elasticidade dos BLCs foram o *Stress Wave* - SW, vibração longitudinal - vib. long. e vibração transversal - vib. trans. Observou-se que, os BLCs confeccionados com *B. vulgaris* demonstraram maior instabilidade dimensional que aqueles produzidos com o *D. giganteus*. Entretanto, os adesivos MUF e RF conferiram maior estabilidade dimensional aos BLCs produzidos com ambas as espécies. Tanto os BLCs de *D. giganteus* quanto o de *B. vulgaris* em relação aos dois tratamentos preservativos utilizados, tiveram a menor média de falhas no bambu quando aderidos com EPI e PVA. Para os BLCs produzidos com o bambu gigante, o *Stress Wave* demonstrou não ser indicado para estimar o módulo de elasticidade para os aderidos com EPI, MUF, PVA e RF. Os métodos de vib. long. e vib. trans. demonstraram boa possibilidade da estimação do MOE para os BLCs de *D. giganteus* para qualquer adesivo. Para os métodos não destrutivos realizados com os BLCs do bambu vulgar, a técnica do *Stress Wave* demonstrou ser indicado para os BLCs aderidos com MUF e com PVA. No método de vib. long. os BLCs *B. vulgaris* aderidos com MUF, PVA e RF tiveram alto erro de estimação. Já o método de vib. trans., proporcionou alto coeficiente de correlação de Pearson (R^2), demonstrando ser o mais recomendado. O método de vib. trans. mostrou ser o melhor na estimação do módulo de elasticidade tanto para os BLCs confeccionados com *D. giganteus* quanto para os de *B. vulgaris*, proporcionando os menores erros e os maiores R^2 . Em função dos resultados físicos e mecânicos obtidos, pode-se afirmar que os BLCs confeccionados tanto com a espécie de *D. giganteus* quanto de *B. vulgaris* podem ser indicados para a produção de móveis.

Palavras chave: Bambu laminado colado, *Dendrocalamus giganteus*, *Bambusa vulgaris*, adesivos, métodos não destrutivos, tratamentos preservativos.

ABSTRACT

ROSA, Rafael Amorim. **Characterization of glue-laminated bamboo as an industrial technology alternative.** 2013. Dissertation (Master's Degree on Forest Science) – Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro – ES. Adviser: Prof. Dr. Juarez Benigno Paes. Co-advisers: Prof^a. Dr^a. Graziela Baptista Vidaurre e Prof. Dr. Pedro Gutemberg de Alcântara Segundinho.

This study aimed to verify the technological properties of the *Dendrocalamus giganteus* and *Bambusa vulgaris* bamboo; evaluate the physical and mechanical properties of glued laminated bamboo (BLC) according to the species, the adhesives and the preservative treatments; correlate both the module break and the modulus of elasticity - MOE of BLCs obtained by means of nondestructive methods with destructive method.. For this, were produced bamboo slivers with dimensions 0,5 x 3,0 x 70,0 cm (thickness, width and length) with *B.vulgaris* and *D. giganteus* species over three years old. One of these bamboo slivers were immersed in water and the other part in Timbor, lasting 15 days for both treatments. The adhesives used were based emulsion polymer isocyanate (EPI), melamine urea formaldehyde (MUF); cross polyvinyl acetate (PVAc) and resorcinol formaldehyde (RF). The non-destructive methods were used Stress Wave (SW), longitudinal vibration (vib. long.) and transverse vibration (vib. trans.). It was observed that the BLCs made from *B. vulgaris* demonstrated greater dimensional instability than those produced with the *D. giganteus*. However, MUF adhesive and RF conferred greater dimensional stability for the BLCs produced with both species. Both BLCs *D. giganteus* and *B. vulgaris* in relation to the two treatments had the lowest average failure in bamboo bonded with EPI and PVA. For BLCs produced from *D. giganteus* bamboo, the Stress Wave method proved not to be suitable for estimating the elastic modulus to BLCs adhered with EPI, MUF, PVA and RF. The vib. Long. and vib. trans. Methods demonstrated good possibility of estimating the MOE for BLCs of *D. giganteus* for any adhesive. For non-destructive methods performed with BLCs *B. vulgaris* bamboo, Stress Wave technique proved to be suitable for the BLCs bonded with MUF and PVA. In the vib. Long. Method, the BLCs made from *B. vulgaris* and bonded with MUF, PVA and RF had high estimation error. Already vib.trans.method provided high coefficient of Pearson correlation (R^2), proving to be the most recommended. The vib.trans.method proved to be the best in the estimation of the modulus of elasticity for both BLCs made from *D. giganteus* and *B. vulgaris*, providing the smallest errors and the highest R^2 . According to the physical and mechanical results obtained, it can be affirmed that BLCs made with both the species of *D. giganteus* or *B. vulgaris* may be employed for the furniture production.

Keywords: Glued bamboo lumber, *Dendrocalamus giganteus*, *Bambusa vulgaris*, adhesives, non-destructive methods, preservative treatments.

1. INTRODUÇÃO

Segundo dados da Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas – ABRAF (2011) no ano de 2010, as florestas plantadas de *Eucalyptus* e *Pinus* ocuparam uma área de 6,5 milhões de hectares em todo território nacional. Deste total, a área de plantio com *Eucalyptus* correspondeu a 73% e o de *Pinus* representou 27%.

Impulsionado pelo aumento das pressões ambientais, a tendência é o uso cada vez menor das madeiras nativas, principalmente quanto a matéria prima para o setor moveleiro, que está sendo gradativamente substituída pelas madeiras de pinus, eucaliptos e painéis de madeira reconstituída, segundo dados da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI (2008). Entretanto, dados do Instituto de Estudos e Marketing Industrial – IEMI (2006) demonstram que 33% de toda a matéria prima consumida pelas indústrias moveleiras ainda é de madeira nativa.

Somado a esse consumo, a demanda nacional de madeira no ano de 2009 foi calculada em 350 milhões de $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ e a oferta foi apenas 90 milhões de $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$, criando um déficit de 260 milhões de $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$, que foi suprido pelas florestas nativas. Para que essa diferença fosse atendida pelas florestas plantadas, seria necessário o plantio de mais 8,7 milhões de hectares, de acordo com o Centro de Inteligência em Florestas – CIFlorestas (2009).

Visto o esgotamento das reservas naturais de várias espécies madeireiras, aliado ao aumento do emprego da madeira e somado ao potencial de crescimento florestal em níveis estadual e nacional, é cada vez mais exigida a busca de materiais alternativos que respondam de forma eficiente ao atendimento da crescente demanda e, estas novas matérias primas devem possuir característica estrutural e durabilidade semelhante a dos materiais já em uso. Assim, o bambu tem demonstrado potencial para diversos fins, necessitando de alguns estudos para melhorar seu aproveitamento.

Um bilhão de pessoas dependem diretamente ou indiretamente do bambu para o seu sustento. O consumo de derivados dessa planta chega a 10 bilhões de dólares em todo o mundo, podendo duplicar até 2015. Em países

latino americanos e orientais, o bambu é utilizado na construção civil, artesanato, indústria moveleira, de celulose, alimentícia e nos setores químicos e de energia. No Brasil, entretanto, as informações pertinentes à utilização e industrialização do bambu ainda são incipientes, tornando-o uma matéria prima destinada ao artesanato tradicional (GARCIA, 2010b).

O bambu possui importantes características de resistência, flexibilidade, facilidade na produção, maturação rápida e o rápido crescimento, o que proporciona a utilização desta matéria prima para diversos fins, tais como, produção de móveis e utilização estrutural (PAES et al. 2010). Obataya et al. (2007) apontam que, além da flexibilidade do bambu, suas propriedades de dureza e rigidez podem ser comparadas com as mesmas propriedades das madeiras de folhosas.

O bambu é um material fibroso, de colmos longos, ocos e que são fechados por um diafragma no local dos nós, com alta resistência mecânica à tração e à compressão. Apesar das boas propriedades mecânicas, o mesmo ainda não é utilizado de forma estrutural por causa de sua geometria, o que dificulta a produção de vigas e colunas e; baixa resistência ao cisalhamento, impossibilitando o uso de pregos, pinos e parafusos, não permitindo o uso de emendas e ligações em estruturas de grande porte. Como solução a estes entraves, há o uso da tecnologia empregada no bambu laminado colado (BLC), utilizada nos países orientais e que extingue os problemas relacionados à geometria e à baixa resistência ao cisalhamento (LIMA JÚNIOR; DIAS, 2001).

No Brasil, um mercado que está em expansão é o de aglomerados e laminados de bambu, que registrou aumento do consumo nos últimos anos. Contudo, é necessário o avanço em pesquisas, aumento de financiamentos, inovação tecnológica e políticas públicas para suprir esta demanda (GARCIA, 2010b).

Em função das premissas levantadas e considerando a importância do bambu laminado colado para os mais variados fins, esta pesquisa teve como objetivos:

- Verificar as características tecnológicas dos bambus, tais como densidade, retratibilidade e curva de secagem;

- Avaliar as propriedades físicas e mecânicas dos bambus laminados colados produzidos em função das espécies, adesivos e tratamentos preservativos utilizados;
- Fornecer informações sobre a influência de tratamentos preservativos na colagem dos bambus laminados colados;
- Correlacionar o módulo de ruptura e o módulo de elasticidade dos bambus laminados colados obtidos por meio dos métodos não destrutivos e destrutivo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A INDÚSTRIA MOVELEIRA NO BRASIL

A fabricação de móveis no Brasil iniciou por volta do ano de 1808 em São Paulo sob forte influência de design português. Em função das limitadas importações decorrentes da Primeira Guerra Mundial, esse segmento industrial teve grande aumento no país neste período (SANTOS, 1995, citado por LIMA, 2005).

O setor moveleiro no Brasil é caracterizado por um mosaico de médias e pequenas empresas, em que ocorre baixa remuneração salarial em comparação a outros setores industriais. As empresas podem ser divididas de acordo com material utilizado para a produção do móvel de ferro, madeira ou alumínio; ou ainda de acordo com o produto final: móveis para casa, escritório ou escolas (GORINI, 2000).

Embora seja fato o crescente aumento da economia brasileira, a indústria moveleira nacional ainda é composta por micro e pequenas empresas (75% micro e 20% pequenas empresas), caracterizadas pela fragmentação do mercado, elevado grau de diferenciação nos produtos, baixo grau de instrução dos trabalhadores e gerentes, alta verticalização na produção e elevados índices de atividades informais. São 16 mil empresas formais que, somados com as informais, chegam a 50 mil. Esse alto grau de atividades informais é devido, principalmente, ao baixo grau de barreiras de entrada, poucas patentes e ausência de economia de escala (AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL – ABDI, 2009).

Cabe ressaltar, que segundo a ABDI (2009), desde os últimos 20 anos, o setor de móveis nacional está buscando investir em novas tecnologias de produção para tentar aumentar a sua competitividade no mercado nacional e internacional. Contudo, esse investimento é buscado, em sua maioria, pelas médias e grandes empresas, que apesar das novas tecnologias, ainda possuem o trabalho manual em certos processos na produção e representam apenas 4,5% das indústrias moveleiras.

2.2. MATÉRIA PRIMA PARA A PRODUÇÃO DE PAINÉIS

A crescente procura da madeira como matéria prima não é seguida com a mesma velocidade de sua oferta (MELO, 2009). Fato já comentado por Macedo, Roque e Leite (2007) que, ao analisarem dados da *Food and Agriculture Organization* – FAO observaram que nas próximas décadas haveria falta de madeira no mercado.

Desde o ano de 1990, as indústrias moveleiras vêm adotando novos tipos de matérias primas. Atualmente, essas indústrias estão usando ainda mais painéis de madeira reconstituída ou laminada, fabricados em sua maioria com eucalipto e pinus, que estão substituindo gradativamente a madeira maciça, principalmente nos acabamentos dos produtos finais (ABDI, 2009).

Uma das alternativas para aumentar o aproveitamento da madeira é a sua utilização na produção de painéis. Esses materiais compósitos permitem, além da utilização de matéria prima de menor qualidade, a produção e desenvolvimento de produtos engenheirados, de alto valor agregado e mais homogêneos (MELO, 2009).

Os painéis são estruturas fabricadas com madeiras em lâminas ou em diferentes estágios de desagregação, que são aglutinadas pela ação de pressão e temperatura, com uso de resinas em alguns casos. Esse tipo de produto substitui a madeira maciça em diferentes usos, como na fabricação de móveis, pisos e embalagens (MATTOS et al., 2008).

Os principais painéis utilizados e suas respectivas aplicações na indústria moveleira nacional estão listados de acordo com Moraes (2002):

- Aglomerado: tampos de mesas, *racks*, laterais de portas e de armários;
- Madeira serrada: tampos de mesa, lateral de balcões, assento e estrutura de cadeiras, estruturas de camas, molduras, pés de mesa, estrutura de interna de sofás, laterais de gavetas, embalagem, pés de cama, pés de *racks*, estrados, acabamento de móveis;
- Compensado: fundos de gaveta, armários, roupeiros, tampos de mesa, laterais de móveis, braços de sofá, fundos de armários, prateleiras;

- *Medium density fiberboard* (MDF) ou painel de média densidade: componentes frontais, internos e laterais de móveis, fundos de gaveta, estantes, tampos de mesa, *racks*; e

- Chapa de fibra dura (*Hardboard*): fundos de gavetas, de armários e de *racks*, tampos de móveis, móveis infantis e divisórias.

Como pode ser visualizado na Tabela 1, a maioria dos insumos utilizadas na fabricação de móveis é proveniente do mercado nacional. Já a matéria prima importada de grande destaque é a espuma utilizada na produção de estofados.

Tabela 1. Tipos e quantidades de matéria prima utilizada na produção de móveis

Matéria prima	Origem (%)	
	Nacional	Importada
Madeira maciça	99,0	1,0
Pinus	97,1	2,9
Aglomerado	97,3	2,7
Chapa de fibra dura	99,7	0,3
MDF	97,1	2,9
Vime/ratan/semelhantes	100,0	-
Espuma	85,2	14,8

Fonte: adaptado de ABDI (2009).

O aprimoramento de painéis de madeira cresceu muito nos últimos oito anos em função do investimento industrial em pesquisas. As empresas têm focado no aperfeiçoamento das propriedades físicas e mecânicas dos painéis, acumulando conhecimento suficiente para desenvolver painéis mais densos, higroscopicamente mais estáveis e com maior durabilidade (ABDI, 2009).

Entretanto, a descoberta de novos materiais que podem ser empregados na indústria moveleira, tende a substituir gradativamente a madeira em função da sua escassez. Assim, o bambu laminado colado (BLC) surge com potencial suficiente para essa substituição gradativa. Fato este comprovado pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – SENAI (2011), afirmando que “resistente e ecologicamente correto, o bambu ganha espaço no mercado como alternativa sustentável ao uso da madeira convencional na fabricação de móveis e acessórios.”

2.3. A ORIGEM DO BAMBU

Relatos arqueológicos demonstram a utilização do bambu desde cinco mil anos atrás. Nas ruínas de Hemodu e Shishan, província de Zhejiang na China, foram descobertas esteiras e cestas produzidas com bambu. Já a sua utilização naquele país começa a ser relatada somente entre 1600 e 1100 anos antes de Cristo (VAZ, 2010).

No ano de 1778, o botânico sueco Carl von Linné introduziu o nome científico do bambu embasado na palavra indígena “Mambu” ou “Bambu”, segundo afirma o Rheinisch Westfälische Technische Hochschule (RWTH, 2002). No meio botânico o bambu é classificado como Bambusae, uma divisão da família Graminae. Equivalente às árvores, essa gramínea gigante pode ser dividida em duas partes. Uma das partes é aérea e geralmente oca, conhecida como colmo. A outra é subterrânea e formada por rizomas e raízes (OLIVEIRA, 2006).

Existem basicamente dois grupos de bambu, que podem ser caracterizados pelo tipo de rizoma e pela formação dos colmos (RWTH, 2002):

- Monopodial ou alastrantes: Os bambus formam rizomas longos e finos, cujos colmos produzem brotos individuais em intervalos regulares; e
- Simpodial ou entouceirantes: Os bambus desse grupo possuem gemas curtas e espessas nas pontas, que produzem os colmos.

Nos trópicos são encontradas as principais áreas de distribuição do bambu, em particular no sudeste asiático. Essa gramínea cresce desde o nível do mar até altitudes em torno de 3.800 metros. A maioria das espécies cresce em temperaturas que variam de -28 a 50°C. Desenvolvem principalmente em solos arenosos e drenados, contudo, também crescem em solos argilosos e em locais úmidos, possuindo pouca tolerância a solos salinos (RWTH, 2002).

O Brasil possui a maior biodiversidade de bambu da América Latina. No total são aproximadamente 137 espécies e 17 gêneros. Os Estados do Acre, Bahia, Minas Gerais, Paraná, São Paulo e Santa Catarina concentram a maior parte destes bambuzais (LONDOÑO, 2001).

Todas as espécies exóticas trazidas para o Brasil tiveram boa adaptação. Essas espécies pertencem ao gênero *Bambusa*, *Dendrocalamus* e

Phyllostachys. Dentro do primeiro gênero, pode-se citar as espécies *B. vulgaris*, *B. tuldoides*, *B. tulda*, *B. nutans*, *B. multiplex*, *B. textilis*, *B. maknoi*. Já para o segundo, o *D. giganteus*, *D. latiflorus*, *D. asper* e *D. strictus*. O último possui as espécies *P. aureae* e *P. pubescens* (OLIVEIRA, 2006).

A cultura do bambu é economicamente interessante por ser perene e produzir colmos assexuadamente, ano após ano, sem a necessidade de replantio. Os colmos possuem alta velocidade de crescimento, que por não possuírem elementos anatômicos nas direções radial e tangencial, crescem apenas em altura, diferentemente das madeiras (ITAPAGÉ, 2013).

Além da vantagem de rápido crescimento, a plantação é de baixo custo, pois é pouco exigente em relação a nutrientes do solo. Em solos arenosos, com elevado teor de matéria orgânica e boa drenagem, a espécie possui um bom desenvolvimento (VASCONCELLOS, 2008).

O RWTH (2002) cita algumas características peculiares do bambu:

- Resistência a tração: A parte exterior possui um feixe vascular altamente elástico que possui alta resistência à tração. A resistência dessas fibras é mais forte do que a resistência do aço, contudo não é possível fazer ligações estruturais que possam transferir a resistência;

- Contração: O bambu contrai mais que a madeira quando perde água. A seção transversal pode contrair de 10 a 16% e a parede celular de 15 a 17%;

- Resistência ao fogo: Alta resistência ao fogo em função da quantidade de ácido silício. Quando os internós são preenchidos com água, o colmo resiste à temperatura de 400°C enquanto a água no seu interior permanece em ebulição; e

- Elasticidade: a alta elasticidade torna o bambu o material ideal para construção em áreas com incidência de terremotos.

As corretas estações do ano para a colheita do bambu nos subtrópicos são a primavera e outono, já nos trópicos a colheita deve ser realizada na estação mais seca do ano, o que reduz o ataque de brocas visto à redução da atividade destes insetos. Após derrubar o bambu, os galhos devem ser cuidadosamente removidos para que não aconteça nenhum dano na parte externa do colmo. As hastes devem ser armazenadas em local coberto,

protegidas do sol, da chuva, da umidade do solo e dispostas horizontalmente para não flambarem (RWTH, 2002).

Durante a colheita do bambu, Gnanaharan e Mosteiro (1997) afirmaram que, não é fácil retirar colmos maduros da parte central da touceira quando ela não foi manejada, acarretando no amontoado de colmos e brotos, o que torna difícil o corte individual dos colmos. Os mesmos autores descrevem algumas regras seguidas para a colheita:

- Não cortar as touceiras que se encontram no período de floração. Entretanto, após esse período, as touceiras podem ser cortadas;
- Os brotos produzidos na falta de chuva devem ser retirados;
- Pelos menos três colmos saudáveis, maduros e totalmente retilíneos, com pelo menos três metros de altura, devem ser deixados em cada touceira, bem como os brotos das últimas chuvas;
- Evitar a escavação ou a retirada dos rizomas;
- Os brotos podem ser cortados somente entre 15 e 30 cm de altura acima do solo, exceto quando a touceira estiver aglomerada de brotos, que neste caso deve-se cortá-los o mais baixo possível;
- Usar ferramentas afiadas para evitar fendas e rachaduras dos colmos.

No caso da utilização estrutural do bambu devem-se escolher somente colmos maduros e lignificados. Por isto, a idade de corte é uma informação de grande importância durante a colheita e seleção dos colmos (RIVERO et al., 2001). Marçal (2008) descreveu algumas características para identificar a idade de um colmo de bambu. Em um colmo jovem, observa-se a presença da proteção caulinar ou bainha, que possui a função de garantir a proteção e o rápido crescimento do colmo. Quando o colmo se torna forte o suficiente para suportar sua massa, a bainha é descartada. Contudo, como o bambu ainda é jovem, ele tem um aspecto áspero e elementos urticantes, que o protegem contra possíveis organismos xilófagos. Os aspectos característicos de um colmo jovem são a cor viva e brilhante. Já um colmo adulto possui fungos, manchas, marcas de injúrias mecânicas e manchas de sol e chuva.

A utilização do bambu de forma estrutural não é novidade. Esse material já era utilizado por diferentes culturas na produção de ferramentas, móveis e estruturas. Entretanto, alguns fatores dificultam a sua expansão na

construção civil, como a ausência de normas estruturais para elementos não convencionais em lugares públicos, a geometria do colmo e a quantidade de nós, que diminuem a resistência do bambu (RIVERO et al., 2001). Somado a isto, outros fatores que também dificultam a utilização do bambu de forma estrutural são, a falta de qualidade na matéria prima; ausência de incentivos fiscais; escassez de mão de obra capacitada e; poucas informações sobre o comportamento físico mecânico para o correto dimensionamento de peças estruturais (MARÇAL, 2008).

Entretanto, a ausência de incentivos fiscais já não é mais um entrave na utilização do bambu no Brasil. No ano de 2011, foi aprovado a Lei nº 12.484 que promulga o incentivo ao manejo e ao cultivo do bambu por meio de ações governamentais e privadas, como a redução da taxa de juros e maiores prazos de pagamento (BRASIL, 2011).

Quanto à geometria cilíndrica do bambu ser considerada um impecílio para a sua utilização, dados internacionais demonstram que isto é mais uma questão cultural do que estrutural. Informações divulgadas pelo *Center for Bamboo Development* – CBD (2003) demonstram que 2,5 bilhões de pessoas no mundo utilizam bambu de alguma forma e que 1,0 bilhão moram em casas de bambu. O CBD (2003) acrescenta que, além de crescer três vezes mais rápido, o bambu pode ser colhido quatro vezes mais do que o gênero *Eucalyptus*; sendo encontrado em florestas naturais; adequado para o reflorestamento em áreas degradadas; e o painel de bambu possui características adequadas para a substituição da madeira; além de gerar empregos, como na Índia.

Estudos demonstram que uma construção de bambu pode reduzir o custo de uma obra em 50% e possuem durabilidade maior que 25 anos. Em certas situações o bambu pode durar séculos, como é o caso das abóbodas do Taj Mahal, templo construído na Índia, situado na cidade de Agra, que teve toda a sua estrutura milenar de bambu trocada recentemente por metal. Já no Equador, país que se destaca na América do Sul na utilização e manufatura do bambu, uma casa popular construída com este material custo em torno de 400 dólares. Se a mesma casa fosse construída em alvenaria, custaria no mínimo 10 mil dólares (GARCIA, 2010a).

Para desmistificar a discriminação no uso do bambu, é necessário o desenvolvimento e estudo de novos produtos, diferentes testes de resistência mecânica e de durabilidade. Com relação à durabilidade do bambu, é indispensável pesquisas para obter os tratamentos preservativos mais adequados para este material e, garantir estruturas duráveis e resistentes. Quanto ao desenvolvimento e estudos de novos produtos, deve-se destacar o Desenhista Industrial (*Designer*), que possuem o desafio de encontrar maneiras de aliar a tecnologia à dimensão cultural, atuando como interlocutores entre as formas de produção e os usuários (OLIVEIRA, 2005).

2.4. TRATAMENTOS PRESERVANTES DO BAMBU

O bambu deve ser imunizado pois é um material facilmente atacado por fungos e insetos xilófagos, principalmente pelo *Dinoderus minutus* conhecido vulgarmente por broca do bambu, em função da quantidade de amido presente no colmo. Basicamente, existem dois tipos de tratamentos preservativos: os tradicionais ou não químicos; e os químicos.

Por séculos, os tratamentos não químicos foram amplamente utilizados por artesões em vários países e suas técnicas são passadas de geração em geração. Os métodos tradicionais compreendem o tratamento com fumaça, banho de cal e imersão em água. Cada um desses métodos irá ser brevemente descrito, conforme RWTH (2002) e CBD (2003):

- O tratamento com fumaça, conhecido internacionalmente como *Smoking*, é realizado em câmaras a altas temperaturas. Essa alta temperatura modifica o amido presente no bambu, tornando-o imune ao ataque de insetos. Além disto, a fumaça torna a parte externa do bambu desagradável para o inseto. Como consequência do tratamento, o colmo ou a talisca do bambu ficam enegrecidas.

- *White washing*, ou em português banho de cal, consiste em pintar com cal virgem o colmo ou as taliscas de bambu. A cal aumenta a durabilidade do material, pois reduz a absorção de umidade.

- Já o método *Water storage*, que pode ser traduzido como método de imersão em água, é quando o colmo ou as taliscas são imersos em corpos

d'água ou em tanques durante três ou 12 semanas imediatamente depois de cortados. O amido presente no bambu é dissolvido e carregado pela água. Quando se emprega tanques para a imersão, a água deve ser trocada frequentemente para evitar o mau cheiro e contaminação. Entretanto, o aumento da durabilidade que esse método proporciona ao bambu é pequeno, tornando o método pouco eficiente.

Esses métodos previnem o ataque de insetos modificando a superfície ou retirando o amido do bambu. Entretanto, para evitar infestações com fungos, é necessário manter a umidade sob controle. A durabilidade do bambu sem tratamento é estimada em 2,5 anos, já para bambus preservados é em torno de 10 anos (RWTH, 2002).

Beraldo e Rivero (2003) produziram BLCs das espécies *D. giganteus* e *B. vulgaris* tratados em imersão em água e em borato de cobre cromatado – CCB, ambos os tratamentos com duração de sete dias. Os adesivos utilizados foram o resorcinol formaldeído (RF) e a ureia formaldeído. Os autores observaram que os tratamentos preservativos influenciam significativamente nas propriedades mecânicas dos BLCs, principalmente na resistência à compressão paralela e na tensão de cisalhamento.

Oliveira (2005) estudou a produção de pisos de bambu laminado colado – BLC da espécie *Dendrocalamus giganteus*, preservados com água, CCB e aderidos com acetato de polivinílico (PVA) e resorcinol formaldeído (RF). O tratamento de imersão em água teve duração de 15 dias com troca de água diária para evitar a fermentação do amido, evitando o mau cheiro. Foi concluído que este produto possui potencial para a produção de pisos e que os métodos de tratamentos influenciaram nas propriedades físicas e mecânicas dos BLCs. Quanto às propriedades físicas, os BLCs tratados em água demonstraram maior instabilidade que os submetidos ao tratamento com CCB. Em relação às propriedades de resistência mecânica à flexão estática, compressão paralela e tensão de cisalhamento, houve diferença significativa entre os tratamentos preservativos para os BLCs unidos com a mesma cola.

Brito (2013) tratou o bambu *D. giganteus* pelo método de imersão em água durante oito dias e, assim como sugerido por Oliveira (2005), a água do

tambor foi retirada todos os dias para evitar o ataque de bactérias e a fermentação do bambu.

Em função da influência dos tratamentos preservativos nas propriedades de adesão de BLCs, é importante conhecer as teorias do processo de adesão e as características dos principais adesivos empregados na produção de painéis.

2.5. ADESÃO E ADESIVOS

Relatos arqueológicos demonstram a utilização de adesivos desde 4000 a.C., em que as primeiras substâncias utilizadas foram a lama e a argila. Na era dos faraós, resinas à base de caseína, peixe, cartilagens e sangue de animais e amidos já eram conhecidas e aplicadas (IWAKIRI, 2005).

Os adesivos podem ser denominados como substâncias químicas utilizadas nas junções de superfícies, que necessitam de calor ou contato com outro reagente para que o processo de adesão se inicie. Também podem ser classificados como materiais que possuem mobilidade molecular para proporcionar contato entre superfícies por meio de forças de interação intermoleculares (CARNEIRO et al., 2007).

A importância do adesivo está ligada, principalmente, ao fato de se poder construir qualquer peça e com qualquer dimensão em função das ligações artificiais que ocorrem entre as peças e o adesivo, que podem ser ligações moleculares eletrostática, de van der Waals ou covalentes (IWAKIRI, 2005). Além disto, o adesivo pode influenciar nas características físicas, mecânicas e econômicas dos materiais (PIZZI, 1983).

Basicamente, existem três teorias fundamentais sobre o processo de adesão. A primeira delas é a teoria mecânica, em que o adesivo penetra em um substrato poroso e, quando se solidifica, formam “ganchos” densamente presos entre os substratos. Contudo essa teoria é limitada, pois existe adesão entre materiais não porosos, tais como vidros, plásticos e metais. A segunda teoria é a da difusão de polímeros, que relata o processo de adesão como uma difusão de segmentos de polímeros em nível molecular. Entretanto, essa teoria também é questionada em função da mobilidade restrita de longas cadeias de

polímeros. E a terceira é a teoria da adesão química, que propõe que a adesão ocorre por ligações primárias, covalentes, iônicas ou por forças intermoleculares. Todavia, atualmente acredita-se que a adesão ocorre por forças moleculares secundárias, conhecida como adesão (PIZZI; MITTAL, 1994, IWAKIRI, 2005).

Os adesivos podem ser classificados em três grupos distintos. O primeiro grupo são os adesivos naturais, que fazem parte as resinas derivadas de proteína animal e vegetal. O segundo grupo é denominado de adesivos termoplásticos, pois sofre ação do calor e de solventes após o processo de adesão. Fazem parte desse grupo o polivinil acetato e acrilato, polietileno e o polistírol. O último grupo é composto pelos adesivos termofixos, compreendido pela ureia formaldeído, melamina formaldeído, fenol formaldeído, resorcinol formaldeído. São caracterizados principalmente por não se modificaram com ações do calor ou de solventes após a solidificação (PIZZI;MITTAL, 1994, IWAKIRI, 2005).

Um dos adesivos termoplásticos mais utilizado na colagem de madeira é o acetato de polivinila (PVA). Esse adesivo cura em temperatura ambiente, possui abaixo custo e é utilizado em móveis, colagem de lâminas, em marcenarias, carpintarias e juntas tipo *finger*. Possui como vantagens a facilidade e baixo risco no manuseio, inodoro, não inflamável, baixo custo, fácil limpeza e estabilidade durante o armazenamento. Tendo como principal desvantagem a baixa resistência à umidade (IWAKIRI, 2005).

Um breve resumo sobre alguns dos principais adesivos utilizados nas indústrias madeireiras está descrito a seguir, conforme Pizzi e Mittal (1994); Iwakiri (2005) e Carneiro et al. (2007).

A resina termofixa melamina uréia formaldeído (MUF) tem alta resistência à umidade e ao calor. Muito utilizadas em painéis de madeira para uso externo e semi externo. Possui elevado custo e, por isto, tem sido adicionado mais ureia em sua formulação. A reação química entre a melamina e o formaldeído produz melamina intacta causada pelo anel da triazina, formando um polímero resinoso com excelente desempenho.

Outro adesivo termofixo é conhecido como resorcinol formaldeído (RF), que foi desenvolvido durante a Segunda Guerra Mundial para as indústrias

bélicas. É indicado para o uso externo e muito utilizado na produção de madeira laminada colada, construções navais e aviação. Possui cura a frio com catalizador e reatividade maior que o fenol. Entretanto, pode perder suas propriedades quando os substratos possuem algum tratamento químico ou de retardante de fogo, além disso, também geram linhas de colas escuras e com pouca mobilidade.

Os adesivos termofixos a base de isocianato foram desenvolvidos na Alemanha no final dos anos 1930, sendo utilizados pela primeira vez em 1931. Não possui emissão de formaldeído, possibilita a utilização de materiais lignocelulósicos com maior umidade e curto tempo de prensagem. Entretanto, possui como desvantagens o alto custo e a baixa aderência em superfícies metálicas.

Oliveira (2005) estudou a produção de pisos de BLC da espécie *Dendrocalamus giganteus* aderidos com PVA e RF e, concluiu que essa espécie possui condições de aplicação para a produção de pisos, principalmente aqueles BLCs colados com RF, que demonstraram maior resistência a umidade do que o PVA, bem como maior adesão em função da ruptura por cisalhamento dos BLCs ocorrerem no bambu, e não na linha de cola, caracterizando o adesivo RF como estrutural.

2.6. BAMBU LAMINADO COLADO (BLC)

Conhecido internacionalmente como *Laminated Bamboo Lumber* – LBL, o bambu laminado colado – BLC pode ser definido como um painel formado por lâminas de bambu serradas, conhecidas como taliscas, e coladas. A produção do BLC teve início em função da demanda de materiais destinados à construção civil, consequência da abertura econômica da China por volta de 1980 (RIVERO, 2003; OLIVEIRA, 2005).

Em uma ripa de bambu (Figura 1), ou seja, quando a peça ainda não foi usinada, as faces externa e interna são compactas, lisas e cobertas com uma camada de cera com baixa afinidade a água e a adesivos. As propriedades da parte central das taliscas são diferentes daquelas da parte interna e externa da ripa. A parte central é a principal matéria prima na

utilização industrial do bambu. A diferença na estrutura dessas três partes provoca diferenças evidentes na densidade, teor de umidade, retratibilidade, resistência mecânica e adesão. Tais características levam a influências negativas sobre o processamento e a utilização das taliscas, como por exemplo, as faces internas e externas possuem baixa aderência com adesivos, enquanto a parte central demonstra alta capacidade de ligação (QISHENG, et al. 2002). Por isto, as camadas internas e externas são removidas, de acordo com a metodologia empregada por Rivero (2003), Oliveira (2005) e Brito (2013).

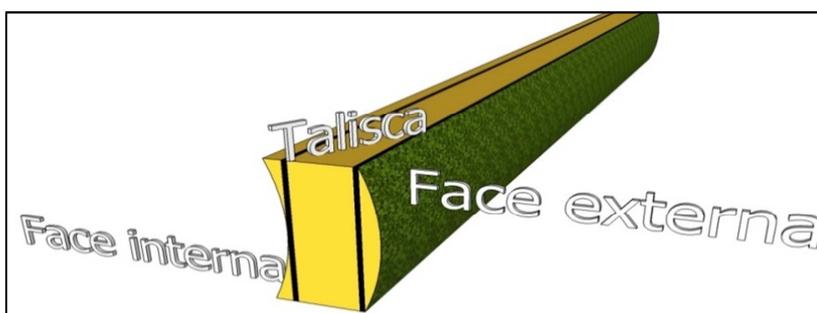


Figura 1. Face interna e externa de uma ripa de bambu. A linha preta demonstra a retirada das faces interna e externa, obtendo-se a talisca.

Estudos realizados por Pereira e Salgado (2006) demonstram que não há diferença na utilização da parte inferior (base), mediana ou do topo do colmo para a produção de BLC. Os autores ensaiaram mecanicamente taliscas de 8 mm de espessura de cada uma dessas regiões e verificaram que a base do colmo possui uma resistência 10% menor do que as outras partes, mediana e superior.

Normalmente, as espécies de bambu mais utilizadas para a produção do bambu laminado colado (BLC) são o *Dendrocalamus giganteus*, *Bambusa vulgaris*, *Guadua angustifolia*, *Gigantochloa apus*, *Phyllostachys pubescens* e *Dendrocalamus latiflorus*, que podem ser plantadas e exploradas comercialmente no Brasil (MOIZÉS, 2007).

Os painéis de bambu podem conter várias lâminas (taliscas), com diferentes arranjos, formatos e direções. As taliscas podem ser coladas lateralmente na vertical ou na horizontal, na mesma linha de cola ou não.

Podem ser contraplacados ou entrelaçados (esteiras). A definição das características estruturais dos painéis de bambu está em função do material utilizado e do arranjo das taliscas (MOIZÉS, 2007).

De acordo com Qisheng et al. (2002), os painéis a base de bambu possuem as seguintes vantagens; grandes dimensões, pequenas deformações e estabilidade dimensional, alta resistência mecânica e rigidez, resistente a água, tanto as dimensões quanto a resistência podem ser ajustadas e melhoradas as propriedades do bambu nas diferentes direções e as faces dos painéis podem ser decorados de diversas maneiras.

As etapas do processo de fabricação dos painéis a base de bambu, segundo Moizés (2007), podem ser divididas em:

- Corte dos colmos – os colmos são divididos em segmentos menores para facilitar o transporte. Podendo ser transformados em ripas, lâminas ou partículas;

- Tratamentos preservativos – os métodos mais utilizados são a imersão em tanques e a pulverização. Já para os produtos químicos os mais utilizados, segundo o RWTH (2002), são à base de bórax;

- Disposição e colagem das peças – antes da colagem, é realizada uma seleção das melhores peças de bambu. A colagem é realizada usando vários tipos de adesivos, cabendo destacar os adesivos a base de mamona, utilizado em várias pesquisas;

- Processamento – os BLCs já montados são refileados, lixados e se necessário, fresados para a obtenção de encaixes; e

- Acabamento final – utilização de lixas, seladoras e tintas com ou sem ultra violeta - UV.

Qisheng et al. (2002) resumem que, painéis de bambu são fabricados por uma série de processos mecânicos e químicos. São produzidos sobre pressão e temperatura com a utilização de adesivos e capacidade de adesão do bambu. A espessura pode variar de 2 a 12 mm. A seguir estão descritos alguns tipos de painéis de bambu de acordo com os autores supracitados.

2.6.1. Painéis fabricados com partículas de bambu

Aglomerado de bambu: as partículas para a fabricação de painel aglomerado de bambu podem ser provenientes de resíduos do seu processamento, de espécies com colmos de pequeno diâmetro e de espécies pouco conhecidas, com o objetivo de aumentar as fontes de matéria prima. O processo de fabricação desse painel segue a tecnologia empregada na fabricação do aglomerado de madeira, ou seja, corte, picagem, secagem, formação do colchão e prensagem a quente. Em alguns casos, podem ser adicionados os painéis de cortina ou de esteiras na superfície do painel aglomerado para aumentar a sua resistência.

Painéis de materiais compósitos – Podem ter a qualidade de seus produtos melhorada e custos de produção reduzidos. Como o bambu e a madeira são baratos e mais fáceis de serem processados em relação a outros materiais, a maioria dos compósitos são fabricados com esses materiais.

A madeira possui o diâmetro maior e alta eficiência no processo de produção, contudo, a resistência e a rigidez de madeiras de rápido crescimento são menores do que as do bambu. Já o bambu é oco, possui menor diâmetro e baixa eficiência no processamento. Entretanto, a resistência e a rigidez do bambu são geralmente maiores que as das madeiras utilizadas na produção desse tipo de painel. Por isto, na maioria das vezes, a camada exterior que suporta a maior parte da carga é de bambu, e a parte intermediária que suporta o restante da carga é de madeira.

A eficiência na produção de painéis compostos é maior que na produção do compensado tradicional ou no compensado de bambu, o que reduz o custo de produção. As propriedades físicas e mecânicas dos painéis compostos são melhores que as mesmas propriedades do compensado.

2.6.2. Painéis fabricados com taliscas de bambu

O bambu pode ser dividido em tiras longitudinais de 0,5 a 30 mm de espessura e de 10 a 20 mm de largura, conhecidas como taliscas.

Basicamente, o colmo é cortado em pequenos fragmentos de espessura determinada, fazendo um tipo de compensado com três ou mais camadas.

Painel de bambu laminado (*laminated bamboo board*) – Os colmos são cortados em taliscas com largura e espessura uniformes. As taliscas passam por duas serras circulares paralelas e depois por uma plaina. Essas tiras são dispostas em camada múltiplas de grandes dimensões. Como a superfície do painel de bambu laminado colado é de fino acabamento, podem ser utilizados para a fabricação de móveis e na decoração de interiores, assim como as lâminas de madeira.

Piso laminado de bambu (*laminated bamboo flooring*) – As taliscas são dispostas em uma mesma direção ou de modo transversal e longitudinal, alternadamente, durante a montagem. As dimensões dos produtos finais são 9 a 18 mm de espessura, 90 a 150 mm de largura e menos de 1.800 mm de comprimento. Os padrões tecnológicos da produção do bambu laminado são rigorosos. Os produtos possuem alta qualidade e boa aparência. O bambu que é destinado para a produção desse painel deve ter alta qualidade. Esse é o novo produto com maior valor agregado desenvolvido recentemente nos últimos anos.

Esteira de bambu compensado (*Mat plybamboo*) – Depois de secas, as taliscas de bambu de 0,8 a 1,2 mm de espessura são entrelaçadas, prensadas e coladas, podendo formar placas de duas a cinco camadas. As placas mais finas são utilizadas, principalmente, como material de embalagem e para cobrir vagões de trem. Já as placas mais espessas são utilizadas como fôrmas de concreto e para cobrir fundo de caminhões, entretanto, a maioria das placas produzidas é fina. As etapas de divisão e entrelaçamento das taliscas podem ser realizados no meio rural, pois não requer equipamento sofisticados e nem matéria prima de alta qualidade. Peças de pequenos diâmetro e colmos variados podem ser explorados com sucesso. Assim, é possível construir fábricas que produzem esteiras de bambu compensado em áreas com menor desenvolvimento econômico, em que não há controle de qualidade da matéria prima.

Cortina de bambu compensado (*Curtain plybamboo*) – Para simplificar o processo de entrelaçamento, as taliscas são dispostas paralelamente e

unidas com cordas, formando uma cortina de bambu. Caso a superfície for produzida com taliscas finas e uniformes, a cortina pode se tornar um produto de alta qualidade depois do lixamento. A espessura das taliscas podem ser reguladas de acordo com o pedido do produto final.

Compensado de bambu (*plybamboo*) – As taliscas, com espessura de 4 a 9 mm, são amolecidas em altas temperaturas, prensadas, achatadas e montadas, alternadamente, no sentido longitudinal e transversal. Por fim, as taliscas são coladas sob pressão a quente com fenol formaldeído, formando o compensado de bambu, que são fabricados com três ou cinco camadas.

O compensado de bambu pode ser diversificado por meio do ajuste da espessura e da largura das taliscas, padrões de montagem e processamento para vários usos. Esse painel de bambu possui grandes dimensões, alta resistência, pequenas deformações e alta estabilidade dimensional. A densidade varia de 0,80 a 0,85 g.cm⁻³. O módulo de ruptura (MOR) axial é maior que 90 MPa e o transversal é maior que 40 MPa. Por isto, são apropriados para carrocerias de caminhões e fundo de ônibus.

Beraldo e Rivero (2003) para a produção do BLC, empregaram bambus com cinco anos das espécies *D.giganteus* e *B.vulgaris* por possuírem o potencial adequado para a confecção deste material. Na confecção do BLC, as hastes foram cortadas longitudinalmente e as camadas internas e externas dos colmos foram removidas. As taliscas receberam dois tipos de tratamento, imersão em borato de cobre cromatado – CCB e imersão em água, com duração de sete dias. Após o tratamento, as taliscas foram aderidas com resorcinol formaldeído e ureia formaldeído. Os valores de resistência à compressão axial para o *B. vulgaris* foi de 46,25 MPa para o resorcinol e de 47,25 MPa para a uréia formaldeído. Esses valores foram superiores ao do *D. giganteus*, que atingiu no máximo 37 MPa com o resorcinol. Já a média do módulo de ruptura (MOE) do BLC permaneceu entre 40 e 70 MPa.

Lima Júnior e Dias (2001), em seus estudos sobre vigas mistas de madeira e bambu, possuíram como objetivo analisar a viabilidade técnica do BLC como elemento estrutural. Foram utilizadas cinco vigas mistas de madeira de *Pinus elliottii* e bambu (*Dendrocalamus giganteus*), com diferentes camadas para as lâminas de bambu. As taliscas de bambu foram coladas com adesivo a

base de resorcionol e tiveram dimensão de 5 mm de espessura e 15 mm de largura, sempre coladas duas a duas na parte superior e inferior das vigas. Os autores verificaram que as vigas de BLC possuíam o máximo de 70% a mais de rigidez quando, aproximadamente, 1/3 da altura da viga do pinus foi substituída por bambu; o segundo conjunto de BLC ensaiado até a ruptura mostrou aumento de 170%, quando metade da altura da viga de pinus é substituída pelo BLC e; o processo de laminação do bambu provocou danos nas taliscas, afetando a sua resistência mecânica.

Gonçalves et al. (2000) ao empregarem diferentes metodologias para confecções de amostras para ensaios mecânicos do BLC, bem como adaptação de ensaios propostos pelas normas brasileiras que são empregadas para madeira, obtiveram valores de resistência mecânica para o BLC produzido com a espécie *D. giganteus* similares com os contidos na literatura (Tabela 2).

Tabela 2. Resistência mecânica das taliscas e do BLC produzidos com a espécie *D. giganteus*

Parâmetro (MPa)	BLC	Talisca
Dureza (kgf)	352	-
Compressão paralela	55	89
Compressão normal	18	-
Tração paralela	195	161
Tração normal	2,5	-
Cisalhamento	10	-
Flexão estática	166	298

-Dados não informados pelos autores.

Fonte: Gonçalves et al. (2000).

Lee et al. (2012) construíram cinco tipos distintos de BLC, conforme Figura 2. No grupo I as taliscas foram coladas verticalmente face interna com face externa. No II as taliscas também foram aderidas verticalmente, mas faces internas com internas e externas com externas. Já nos grupos III e IV, as taliscas foram dispostas horizontalmente seguindo a mesma sequência da colagem das faces dos grupos I e II. Já no grupo V as taliscas foram coladas perpendicularmente, formando um tipo de compensado.

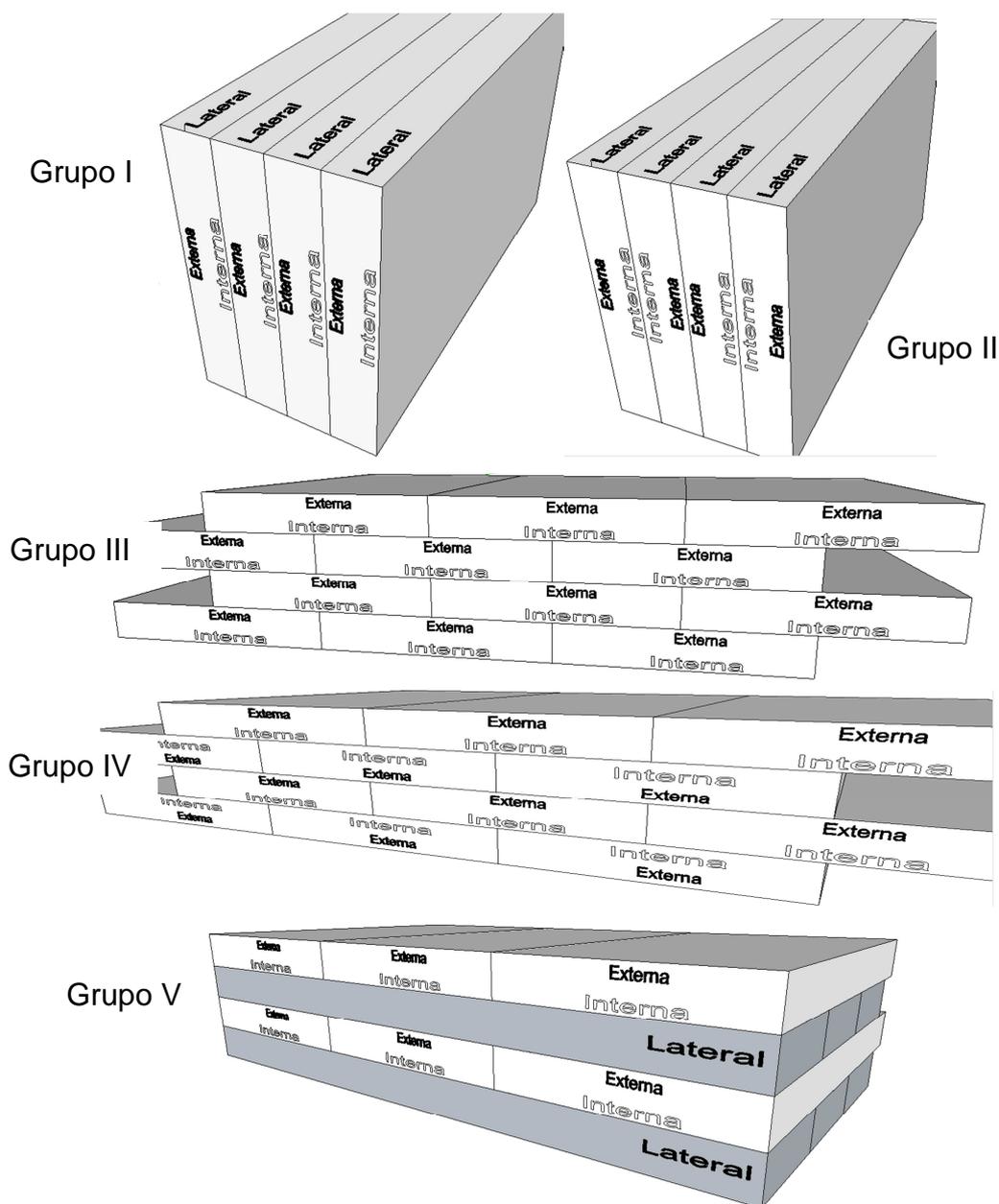


Figura 2. Seção transversal dos cinco tipos de BLC.
 Fonte: Adaptado de Lee et al.(2012).

Os grupos obtiveram a seguinte tendência para o MOR paralelo: grupo I e III (103,6 a 100,9 MPa) > grupo II e IV (95,6 a 94,0 MPa) > grupo V (87,5 Mpa). Já para o MOE paralelo a tendência foi: grupo III (10,0 GPa) > grupo I e IV (9,1 MPa); os grupos I e II não tiveram diferença significativa entre eles. Entretanto, ao comparar a resistência dos cinco BLCs estudados com a resistência do bambu utilizado para fabricá-los, os autores verificaram que o painel laminado possui menor resistência à flexão estática que o bambu.

A causa dessa baixa resistência entre o BLC e o bambu que o constitui pode ser encontrada nas pesquisas de Beraldo e Rivero (2003); Obataya et al. (2007) em que demonstram que a densidade, rigidez e resistência do bambu estão diretamente relacionadas com a maior quantidade de fibras presente na camada externa do bambu, que é necessariamente retirada para a confecção do BLC, diminuindo a sua resistência em relação ao bambu.

2.7. MÉTODOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS

Em geral, os métodos destrutivos são os mais utilizados porque são os mais confiáveis, contudo, exigem tempo e habilidade para a confecção dos corpos de prova. No emprego destes métodos, utiliza-se a máquina universal de ensaio, que pode variar de capacidade, fabricante e tecnologia. Os ensaios destrutivos são rigorosos, pois devem seguir normas nacionais ou internacionais, que normatizam todo o procedimento de obtenção de dados desde a quantidade de amostras, passando pelas dimensões dos corpos de prova, uniformização física das amostras, tempo de carregamento, direção de aplicação da força e terminando na forma como os dados devem ser apresentados. Como as normas exigem o rompimento dos corpos de prova, nos ensaios destrutivos há perda de material para a confecção das amostras e consequente perda das mesmas no final do ensaio.

Já os métodos não destrutivos possuem a vantagem de usarem equipamentos portáteis, os dados são obtidos em pouco tempo, não exige a necessidade de usinagem de amostras e, conseqüentemente, evita a produção de resíduos. Entretanto, a precisão dos dados e a influência dos nós, dos defeitos da madeira e da umidade nos resultados são pontos de questionamentos.

De acordo com Targa et al. (2005), os métodos não destrutivos mais usuais que visam determinar as propriedades físicas e mecânicas da madeira são o ultra som, radiografia, análise de vibrações e emissão acústica. Dentro das análises de vibrações encontram-se alguns métodos comumente conhecido como *stress wave* (ondas de tensão) ou *free-free bar* (barra livre-livre).

A técnica do *stress wave* utiliza a baixa tensão molecular para medir duas propriedades básicas no material a ser analisada, a energia armazenada e sua dissipação. A energia armazenada pode ser denominada como a velocidade em que a onda passa pelo material. Já a dissipação é a taxa com que a onda perde energia ao passar por esse mesmo material. Esse método pode ser considerado o melhor entre os não destrutivos, pois possui alta relação estatística com o método destrutivo, alcançando precisão em torno de 90 a 94% (ROOS; PELLERIN, 1994).

Os autores citados ilustram o método para o *Stress Wave* da seguinte forma: considere a aplicação de um impacto no começo de uma viga homogênea simplesmente apoiada. Esse impacto gera uma onda de compressão que, imediatamente, começa a se mover e excita as primeiras partículas que compõem a viga, excitando em seguida as partículas posteriores. A onda se move com velocidade constante ao longo da viga e, depois de viajar por todo o seu comprimento, ocorre uma colisão da onda com o final livre da viga, refletindo uma onda de tensão, que volta a percorrer o comprimento da viga ao contrário (Figura 3). Embora a velocidade dessa onda não dependa da intensidade do impacto inicial e permaneça constante, a energia vai se dissipando com a passagem da onda pelas partículas.

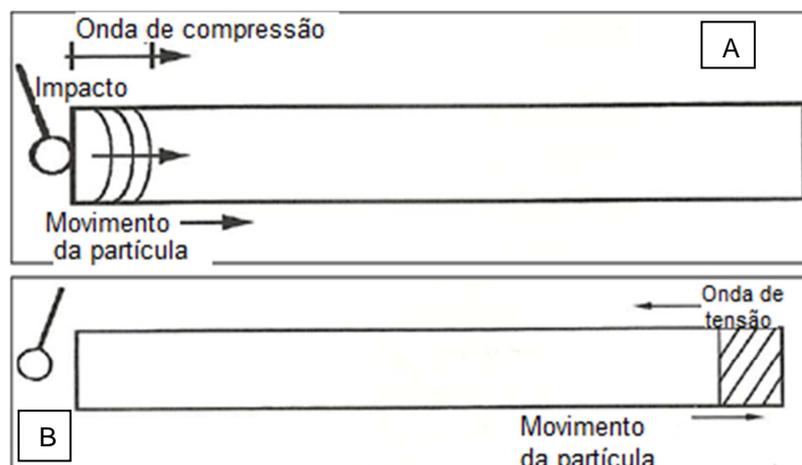


Figura 3. Representação do movimento da onda de tensão em uma viga pela técnica do *Stress Wave*. A) Excitação das partículas pela onda de compressão; B) Colisão da onda no final livre da barra, refletindo a onda de tensão

Fonte: Adaptado de Ross e Pellerrin (2004).

Outro método não destrutivo (ND) conhecido internacionalmente é o *free-free bar* ou barra livre-livre. Esse teste leva em consideração a frequência natural do material em estudo, o seu modo particular de vibrar e a taxa de amortecimento. Segundo Chui (1999) e Carreira et al. (2012), a *free-free bar* é a metodologia mais confiável para a caracterização mecânica de vigas.

Para entender o modo de vibrar de cada material, é necessário o conhecimento prévio do movimento harmônico simples (MHS). De acordo com Halliday e Resnick (2009), o MHS é o movimento executado por uma partícula sujeita a uma força proporcional ao deslocamento negativo desta partícula.

Ainda segundo os autores, algumas grandezas como, período, frequência, amplitude, ângulo de fase, frequência angular e aceleração angular devem ser definidas para melhor entendimento do MHS. O período, conhecido pela letra T , é definido como o tempo necessário para completar um ciclo. Essa grandeza está intimamente ligada à frequência (f), definida como o número de ciclos completos por segundo ou, simplesmente, o inverso do período. A amplitude (x_m) é uma constante que depende do modo que o movimento foi produzido, representando o máximo deslocamento da partícula em estudo. O ângulo de fase (Φ) é uma função do deslocamento e da velocidade da partícula em um determinado instante. A frequência angular (ω) é dada em função da frequência do movimento, de acordo a Equação 1.

$$\omega = 2\pi f \text{ ou } \omega = \frac{2\pi}{T} \quad (1)$$

em que:

ω = Frequência natural ou angular (rad.s^{-1});

f = Frequência (Hz); e

T = Período (s).

Já a aceleração angular no MHS (a) pode ser obtida pela derivada segunda da velocidade em relação ao tempo, dando origem à Equação 2.

$$a = -\omega^2 x(t) \quad (2)$$

em que:

α = Aceleração (rad.s^{-2});

ω = Frequência natural ou angular (rad.s^{-1}); e

$x(t)$ = Posição da partícula no instante t .

Ou seja, a aceleração é proporcional ao vetor contrário do deslocamento, e as duas grandezas estão relacionadas pelo quadrado da frequência angular. Assim, conhecendo como a aceleração de uma partícula varia no tempo e aplicando a segunda lei de Newton, é possível descobrir a força no MHS, dada pela seguinte relação (HALLIDAY; RESNICK, 2009), Equação 3.

$$F = m\alpha = -(m\omega^2)x \quad (3)$$

Essa força, já conhecida, é a equação matemática da lei de Hooke (Equação 4) para uma mola e pode ser escrita da seguinte forma (Equação 4).

$$F = -kx \quad (4)$$

em que:

k = constante da mola;

Igualando as Equações 2 e 3, obtêm-se a Equação 5. Ou ainda, substituindo a Equação 1 em 5, tem-se a Equação 6.

$$k = m\omega^2 \text{ ou } \omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (5)$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (6)$$

Deste modo, a frequência do sistema apresentada na Figura 4 depende da constante elástica e da sua massa. Ao considerar o sistema no

MHS e supor que uma força que desloque a mola e a massa m até o ponto x_m , introduzindo energia potencial elástica, quando essa energia for liberada e nenhuma outra força atuar no sistema, o tempo que a massa m gasta para deslocar do ponto x_m até o ponto $-x_m$ e retorna ao ponto inicial x_m , sempre passando por $x=0$, é dada por ω . Além disto, se não houver nenhuma outra força atuando sobre o sistema, ou seja, o sistema está oscilando livremente, pode-se afirmar que ω é a frequência natural deste sistema massa m e mola k , ou ainda segundo Halliday e Resnick (2009) “a frequência angular natural ω , é a frequência angular com a qual o sistema oscilaria livremente depois de sofrer uma perturbação brusca de curta duração”.

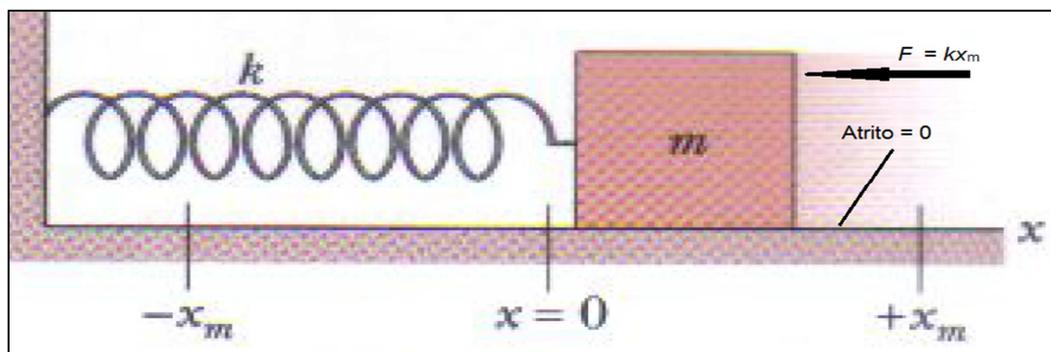


Figura 4. Sistema massa mola no movimento harmônico simples
Fonte: Adaptado de Halliday e Resnick (2009).

Assim, de acordo com Segundinho (2010), ao considerar uma viga simétrica, simplesmente apoiada, com a sua massa e rigidez distribuída uniforme ao longo do seu comprimento e limitar o seu modo de vibrar no espaço, é possível determinar as frequências naturais do sistema de modo simples.

Naturalmente, todos os materiais ou todos os sistemas possuem sua própria maneira de vibrar, conhecida como frequência natural. Entretanto, quando não há uma oscilação livre, ou seja, quando existe uma força externa atuante no sistema, pode ocorrer um fenômeno conhecido como ressonância.

A ressonância ocorre quando a frequência natural é igual à frequência gerada pela força externa, provocando vibrações excessivas que são prejudiciais às pessoas e à própria estrutura. Em passarelas, por exemplo, essas vibrações podem ser causadas por pessoas caminhando, fortes ventos, chuvas e passagem de veículos. Da mesma maneira como ocorre em

estruturas de concreto, estruturas de bambu ou de madeira também possuem a sua frequência natural e precisam de estudadas para evitar ao máximo que o fenômeno da ressonância ocorra, reduzindo as vibrações que prejudicam a estrutura e causam desconforto ao homem (Segundinho, 2010).

Desse modo, Segundinho et al. (2012) relatam que, é necessário classificar peças de madeira para conhecer a sua melhor aplicação estrutural e, esta classificação pode ser realizada pelas propriedades mecânicas do material obtida em função dos métodos de vibrações, assim como ocorre na construção civil. Somado a isto, Carreira e Candian (2008) afirmam que, a frequência natural obtida pelo método de vibração transversal se correlaciona com a rigidez na flexão, sendo possível o cálculo do módulo de elasticidade a flexão estática.

Calil Júnior e Miná (2003) classificaram a vibração transversal como um método eficiente para classificação de peças estruturais. Para isso, utilizaram 326 peças de *Pinus taeda* e inicialmente, procederam ao ensaio não destrutivo de vibração transversal para o cálculo do módulo de elasticidade dinâmico (E_d) e, depois submeteram as peças ao ensaio de flexão estático, para o cálculo do módulo de elasticidade estático (E) e, no final da pesquisa, foi realizado o estudo de regressão linear simples para correlacionar os módulos de elasticidade obtidos pelos dois métodos. Os autores concluíram que, existe alta correlação linear entre as duas técnicas, por volta de 0,98 e que os valores previstos pela equação de ajuste são confiáveis.

Teles et al. (2011) estudaram os métodos de *Stress Wave* e de vibração transversal para verificar a relação entre os E_d com E estático em peças de angelim vermelho (*Sextonia rubra*). Foi verificado que os coeficientes de correlação de Pearson foram de 0,92 para E_d de vibração transversal com E estático, e de 0,91 para E_d com *Stress Wave* e E estático. Assim, os autores concluem que, os dois métodos são apropriados para estimar o E estático.

Complementado, Lee et al. (2012) afirmam que, durante 20 anos pesquisadores e indústrias madeireiras têm desenvolvido e usado os métodos não destrutivos para os mais diferentes materiais, desde painéis de madeira até em árvores. Contudo, ainda não é uma técnica amplamente aplicada para compósitos a base de bambu.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. ESPÉCIES, PROCEDÊNCIA E COLETA DOS BAMBUS

Foram utilizados bambus das espécies *Bambusa vulgaris* e *Dendrocalamus giganteus*, com idade superior a três anos, coletados em touceiras que ocorrem no município de Jerônimo Monteiro, Sul do Estado do Espírito Santo. O *B. vulgaris* foi colhido na latitude 20°48'27,75"S e longitude 41°24'38,76"O. Já o *D. giganteus* foi obtido na latitude 20°46'8,69"S e longitude 41°22'14,27"O.

O corte do bambu foi realizado a 20 cm do solo e logo acima de um dos nós, como indicado por Santos e Lopes (1998), para não permitir a entrada de água das chuvas, o que pode causar a morte dos rizomas e assim, não emitir mais brotos. Foram retirados, em média, sete indivíduos para cada espécie. Os colmos de *B. vulgaris* possuíam, em média, 36,8 cm de diâmetro a altura do peito (DAP), 0,9 cm de espessura e altura total de 20 m. Os colmos de *D. giganteus* tinham, em média, 39,6 cm de DAP, 1,3 cm de espessura e altura total de 39,6 m.

Ainda no campo, os colmos foram serrados em seções de 1,40 m para facilitar o transporte até a serraria. Já na serraria, as seções foram cortadas ao meio longitudinalmente e transversalmente, procedendo em seguida à retirada aleatória de 60 amostras com largura de 3 cm, comprimento de 5 cm e espessura que o colmo apresentava. Um conjunto de 20 amostras foi utilizada para cada uma dos seguintes ensaios: densidade, curva de secagem e retratibilidade, conforme metodologia adaptada da Norma Brasileira Regulamentadora – NBR 7190 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1997).

3.2. TRATAMENTO PRESERVATIVO DOS COLMOS

Uma parte das ripas de bambu recebeu tratamento preservativo pela imersão prolongada em água e a outra em octaborato dissódico tetraidratado ($\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$), com $\pm 2\%$ de concentração. A solução, conhecida

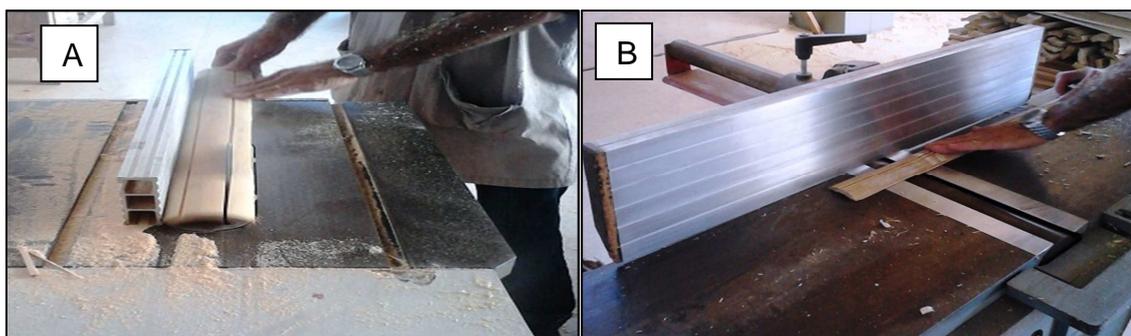
popularmente como “Timbor”, é constituída pela reação do ácido bórico (H_3BO_3) com o borato de sódio ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ - “Borax”) na proporção de 1:1,54, respectivamente (LEPAGE, 1986). Ambos os tratamentos tiveram duração de 15 dias.

Para a imersão, tanto em água quanto em Timbor, foram confeccionados três tanques com placas de compensado de 14 mm e, posteriormente, revestidos com lona plástica. Os tanques possuíam, em média, largura de 53,7 cm, altura de 40 cm e comprimento de 200 cm. Dois tanques foram reservados para a imersão em água e um para imersão em Timbor. Nos tanques com água foi necessário fazer a troca da água de dois em dois dias por causa da fermentação do amido retirado pela água.

O tanque com Timbor foi preenchido com 340 litros de água. Para a concentração de $\pm 2\%$ foram necessários 5,24 kg de “Borax” e 3,40 kg de ácido bórico a fim de atender a concentração indicada por Lepage et al. (1986).

3.3. CONFECÇÃO E SECAGEM DAS TALISCAS

Após os 15 dias de tratamento preservativos, os colmos foram retirados dos tanques e permanecerem três dias secando à sombra e em local coberto. Para a usinagem das ripas e obtenção das taliscas, foi seguida a metodologia usada por Oliveira (2005) e Brito (2013). As máquinas utilizadas foram a serra circular e a plaina. Primeiramente, foi ajustada a largura das taliscas na serra circular e, em seguida, as taliscas brutas foram passadas na plaina para a retirada da face interna. Por fim, utilizou-se novamente a serra circular para a retirada da face externa (Figura 5), obtendo-se taliscas com dimensões de 0,5 cm x 3,0 cm x 70 cm de espessura, largura e comprimento, respectivamente.



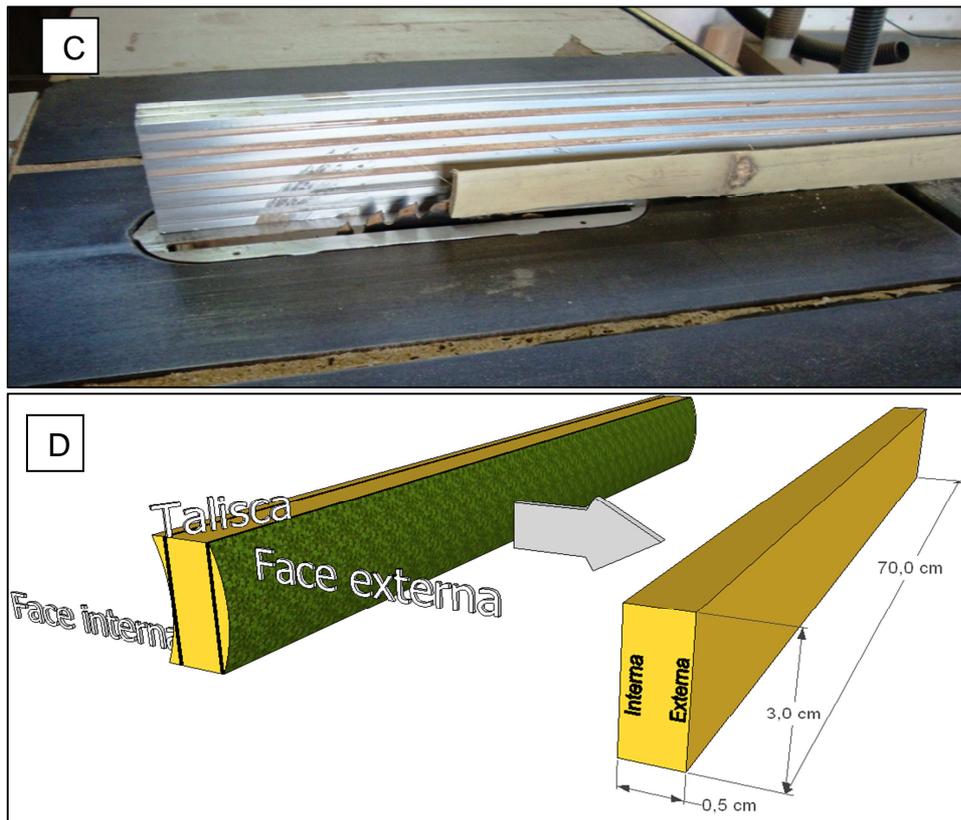


Figura 5. Esquema de produção das taliscas. A) Ajuste da largura das taliscas; B) Retirada da face interna; C) Retirada da face externa; e D) Talisca

A retirada das camadas internas e externas se justifica em função da propriedade impermeabilizante que possuem, o que pode prejudicar a penetração dos adesivos.

Após serem produzidas, as taliscas foram secas em estufa durante cinco dias. No primeiro dia, utilizou-se a temperatura de 40°C, no segundo de 60°C, terceiro de 80°C e no quarto e quinto dia de 103±2°C. Depois de secas, as taliscas permaneceram durante 72 horas em um ambiente climatizado para estabilizar a umidade.

3.4. ADESIVOS UTILIZADOS NA PRODUÇÃO DOS BLCs

Como é comumente realizado, depois de produzidas as taliscas, as camadas internas e externas foram identificadas para que, na montagem do BLC não ficasse justapostas camada externa com externa ou camada interna com interna do bambu (Figura 6), pois isto poderia provocar ruptura em região

de menor resistência (camada interna com interna) (BRITO, 2002; PAES et al., 2009).

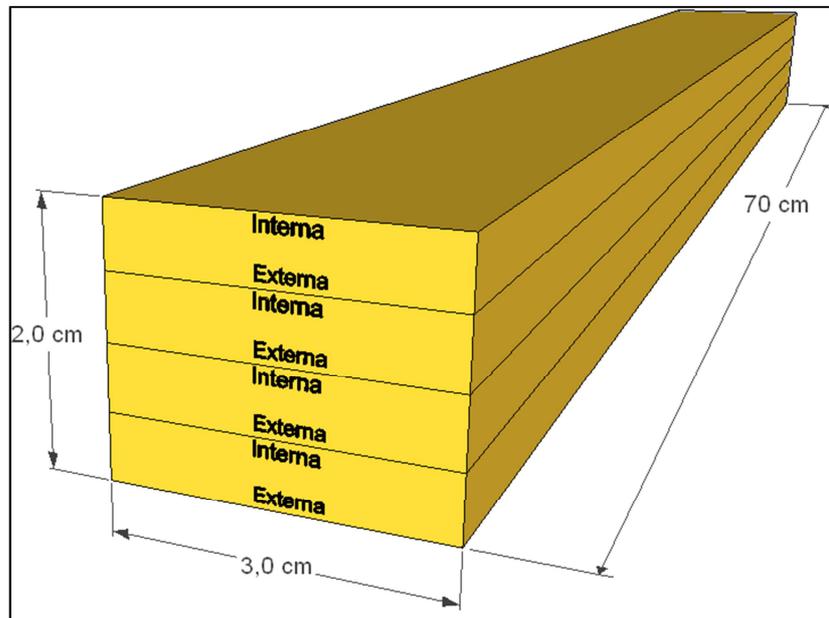


Figura 6. Montagem do BLC. Camadas externas aderidas com camadas internas

As taliscas foram aderidas com adesivos à base de resorcinol formaldeído (RF), acetato de polivinílicocross (PVAc); ureia formaldeído (UF), emulsão de isocianato polimérico (EPI) e melamina ureia formaldeído (MUF), que são normalmente empregados para colagem de laminados de madeira, e prensados a frio utilizando a pressão de 1,0 MPa em uma prensa hidráulica com capacidade de 15 toneladas, dando origem aos bambus laminados colados (BLCs).

Após a prensagem, os BLCs foram climatizados por 24 horas e confeccionados os corpos de prova necessários à caracterização física e mecânica do laminado colado. As características para cada adesivo, de acordo com os fabricantes, estão dispostas na Tabela 3. A escolha da gramatura para cada adesivo foi a média do intervalo das gramaturas fornecidas pelo fabricante. Em particular, para o adesivo PVAc foi utilizado a gramatura máxima do intervalo dado pelo fabricante, de 150 g.m^{-2} , em função da dificuldade para o espalhamento. Todas as colagens foram realizadas em linha simples.

Tabela 3. Propriedades dos adesivos de acordo como fabricante

Propriedades	Adesivos			
	Acetato de Polivinílico <i>cross</i> “9595” (PVAc)	Emulsão de Isocianato Polimérico “1911” (EPI)	Melamina Ureia Formaldeído “1242” (MUF)	Resorcionol Formaldeído “RS126-M” (RF)
Viscosidade (cP)	1500 - 4000	8000 - 15000	11000	500 – 1000
Teor de Sólidos	*	*	*	53 – 58 %
Gramatura (g.m ⁻²)	90 – 150	150 – 300	400 – 450	300 – 500
Tempo de Gel	*	*	*	3 – 6 horas
pH	2,3 – 3,5	7 – 8,5	*	6,8 – 7,7
Umidade da Madeira (%)	5 – 14	*	*	8 – 14
Endurecedor (partes)	*	10 – 15	20 – 25	20
Tempo de Prensagem a 28°C (h)	*	0,5 – 1	3	6 – 8
Máxima Resistência depois de Prensado (dias)	1	7 – 14	5	8 – 10

*Dados não fornecidos pelo fabricante.

3.4.1. Acetato de polivinílico *cross* (PVAc)

O adesivo utilizada foi o 9595 produzido pela Empresa AkzoNobel. É uma cola monocomponente a base de polivinil acetato *cross-linkado*, pronto para uso, de cura rápida, não influencia na corda madeira e é recomendado para prensagens a frio ou a quente. Na colagem das taliscas foi utilizado a gramatura de 150 g.m⁻², pressão de 1,0MPa e tempo de prensagem de 3 horas.

3.4.2. Emulsão de isocianato polimérico (EPI)

O EPI utilizado foi o 1911 juntamente com o catalizador 1999, ambos produzidos pela Empresa AkzoNobel. O EPI 1911 possui alta resistência ao calor e a solventes. Como o adesivo contém isocianato, é importante o uso de luvas para o seu manuseio e o cuidado na hora de descartar os resíduos.

Quanto aos resíduos, a cola já seca ou a mistura cola-endurecedor podem ser considerados como não perigosos, já a cola ou o endurecedor na forma líquida devem ser tratados como perigosos. Na colagem, utilizou-se a gramatura de 225 g.m^{-2} , pressão de 1,0MPa e tempo de prensagem de uma hora.

3.4.3. Melamina ureia formaldeído (MUF)

A resina empregada foi a MUF 1242 misturada ao endurecedor 2542, ambos também fabricados pela Empresa AkzoNobel. Na colagem foi utilizada a gramatura de 425 g.m^{-2} , pressão de 1,0MPa e tempo de prensagem de 3 horas.

3.4.4. Resorcinol formaldeído (RF)

A cola utilizada foi a “Cascophen-RS126-M” produzida pela Empresa Hexion™. É um adesivo sintético e bi componente a base de resorcinol formaldeído, utilizado juntamente com o endurecedor FM-60-M. Resistente a fungos, solventes orgânicos e água fria ou em ebulição. Este adesivo é indicado para colagem em trabalhos navais, hidráulicos e em outras atividades em que a peça colada ficará em contato permanente com alta umidade. Na colagem das lâminas foi utilizado a gramatura de 400 g.m^{-2} , pressão de 1,0 MPa e tempo de prensagem de 7 horas.

3.5. ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS PARA AVALIAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DO BLC

Para a realização dos ensaios de estabilidade dimensional (duração de 96 horas), densidade aparente, flexão estática e compressão paralela às fibras (Figura 7), a confecção das amostras seguiu as recomendações da *American Society for Testing and Materials* – ASTM D-143 (2005) utilizada para madeira.

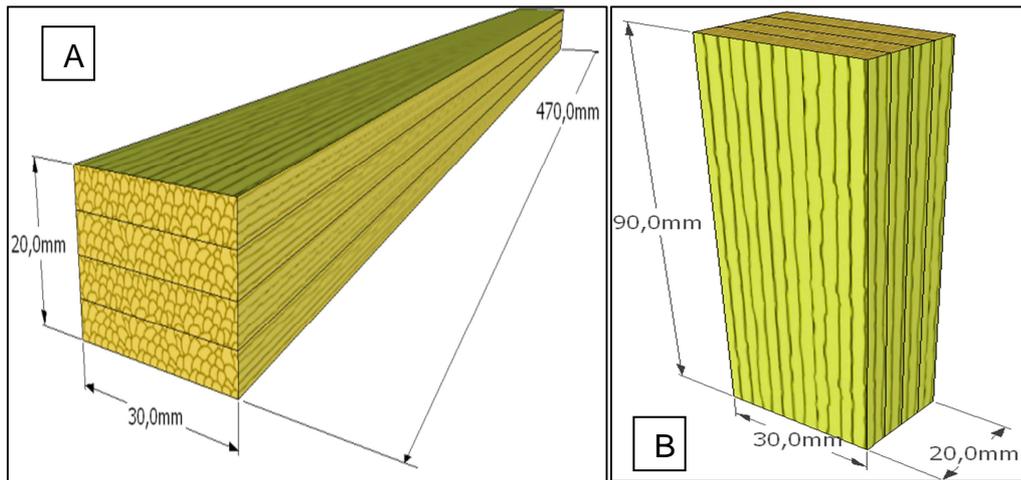


Figura 7. Detalhamento dos corpos de prova. A) Corpo de prova para flexão; B) Corpo de prova para compressão axial.

Os corpos de prova para o ensaio de cisalhamento na linha de cola (Figura 8) foram confeccionados conforme a metodologia descrita por Mantilla Carrasco et al. (1995). O desempenho da amostra foi avaliado tanto pela análise da resistência ao cisalhamento paralelo, bem como pelo percentual de falhas ocorridas nas juntas (ASTM D-5266, 1999).

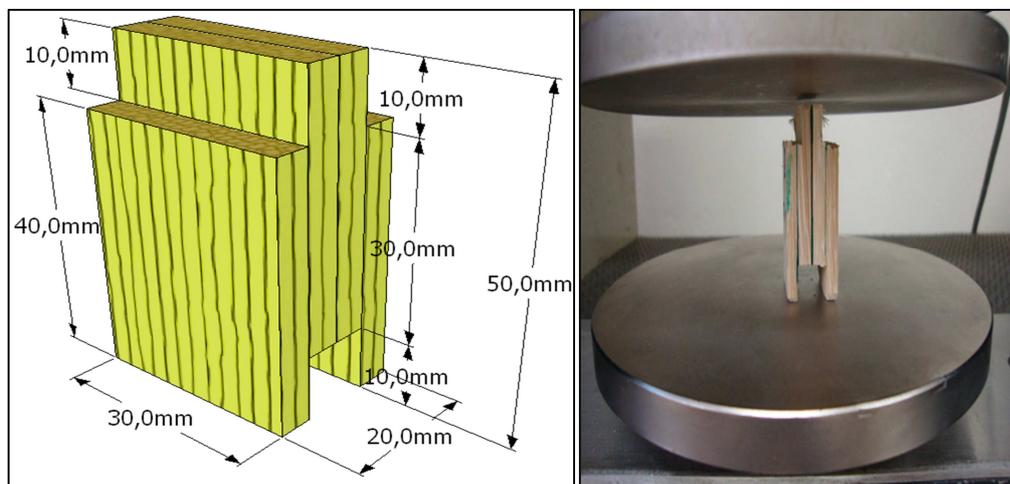


Figura 8. Corpos de prova para ensaio de cisalhamento na linha de cola

O ensaio de delaminação foi realizado conforme a norma da *American Institute of Timber Construction - AITC T110* (2007), que dispõe da avaliação de adesivos para uso estrutural de produtos de madeira destinados ao uso externo. Esse ensaio consiste em dispor as amostras de dimensões de 0,5 cm x 3,0 cm x 7,5 cm (espessura, largura e comprimento) em uma autoclave em

três ciclos de vácuo e pressão. Em cada ciclo, deve-se aplicar vácuo de 75 ± 10 kPa durante 2 horas, depois pressão de 540 ± 20 kPa também durante 2 horas e, repetir o ciclo, totalizando quatro horas de vácuo e quatro horas de pressão. Ao término de cada ciclo, deve-se deixar as amostras secar ao ar durante 88 horas para iniciar um novo ciclo de vácuo e pressão.

Como cada ciclo dura quatro dias (96 horas) e são necessários três ciclos para completar o ensaio, o ensaio de delaminação ocorreu durante um período de 12 dias. Ao final do ensaio, previu-se o comportamento dos BLCs quando exposto ao exterior, por meio da porcentagem de delaminação (%D), que é obtida nas duas faces de topo dos corpos de prova, de acordo com a Equação 7.

$$\%D = \frac{\left(\frac{d_1 + d_2}{2} \right)}{d_{total}} \times 100 \quad (7)$$

em que:

$\%D$ = Porcentagem da delaminação;

d_n = Delaminação na face n do corpo de prova; e

d_{total} = Dimensões do corpo de prova.

Os corpos de prova destinados ao ensaio de flexão estática foram submetidos a ensaios não destrutivos e destrutivos, sempre descartando corpos de prova com defeitos para ambos os testes. Foram avaliados os módulos de elasticidade a flexão (MOE) e módulo de ruptura (MOR) por meio do ensaio destrutivo e o módulo de elasticidade dinâmico (E_d) por meio dos métodos não destrutivo dos BLCs produzidos.

Foram empregados os métodos não destrutivos (ND) de vibração longitudinal (vib. long.), vibração transversal (vib. trans.) e *stress wave* (SW).

3.5.1. Vibração longitudinal (Vib. long.)

Este método consiste em sustentar os BLCs sobre fios de elastômero, ligados a duas hastes de madeira. Esses BLCs devem ser apoiados nos pontos nodais, que se encontram a $0,224 \cdot l$. Com um auxílio de um microfone, são captadas as vibrações dos impactos gerados pela batida de um martelo adequado para este ensaio, que deve possuir massa menor às dos corpos de prova. Essa batida deve ser realizada na direção paralela às fibras do bambu e o microfone deve ser posicionado também nesta direção, mas na outra extremidade do corpo de prova (Figura 9).

As vibrações foram transformadas em frequências pelo programa *Fast Fourier Vibration Analyzer* – FFT Analyzer. O módulo de elasticidade dinâmico longitudinal foi realizado de acordo com a ASTM E-1876 (2007) e ASTM C-215 (2008); obtido pela Equação 8.

$$Ed_{Long} = 4 \times \left(\frac{m \times f_1^2}{b} \right) \frac{l}{h} \quad (8)$$

em que:

Ed_{Long} = Módulo de elasticidade dinâmico pelo método de vib. long. (MPa);

m = Massa do BLC (kg);

f_1 = Frequência de vibração longitudinal (Hz);

b = Largura do BLC (mm);

h = Altura do BLC (mm); e

l = Comprimento do BLC (mm).

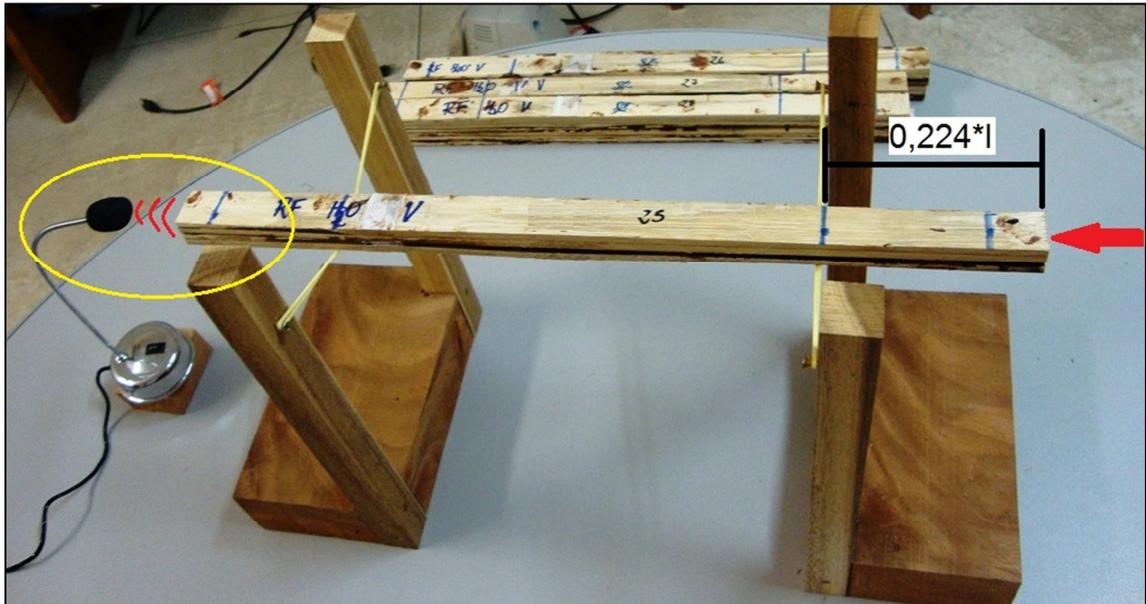


Figura 9. Ensaio do MOE dinâmico pelo método de vibração longitudinal. A seta indica a posição da batida com o martelo e as linhas o modo que o microfone capta as frequências.

3.5.2. Vibração transversal (Vib. trans.)

Assim como no método de vib. long. este também consiste em suspender os corpos de provas sobre fios de elastômero. A diferença entre os métodos está na batida, que neste caso, deve ser realizada na direção perpendicular às fibras do bambu e o microfone deve ser posicionado também nesta direção, na outra extremidade do corpo de prova e na direção oposta à batida (Figura 10). Essas vibrações também foram transformadas em frequências pelo programa FFT Analyzer.

O módulo de elasticidade dinâmico transversal foi realizado de acordo com a ASTM E1876 (2007) e ASTM C215 (2008), Equação 9:

$$Ed_{Trans} = \frac{f_r^2 \times W \times L^3}{2,46 \times I \times g} \quad (9)$$

em que:

Ed_{Trans} = Módulo de elasticidade dinâmico pelo método de vib. trans. (MPa);

f_r = Frequência de vibração transversal;

W = Peso do BLC (N);
 L = Distância entre apoios (m);
 I = Momento de inércia (mm^4); e
 g = Aceleração da gravidade ($9,8 \text{ m.s}^{-2}$).

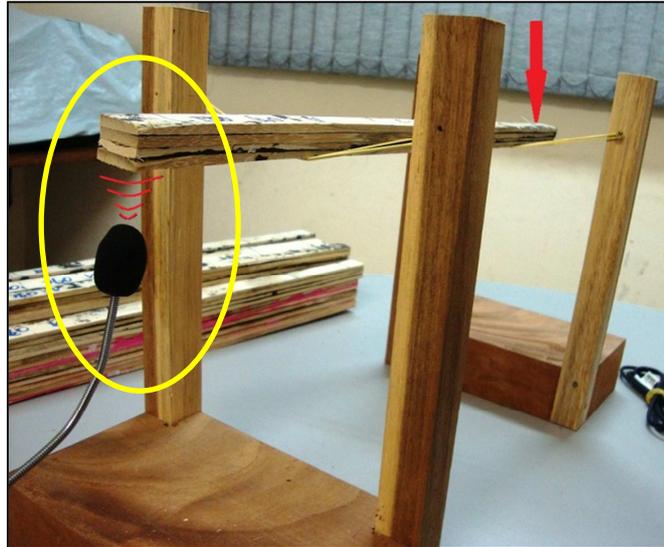


Figura 10. Ensaio do MOE dinâmico pelo método de vibração transversal. A seta indica a posição da batida com o martelo e as linhas o modo que o microfone deve captar as frequências.

3.5.3. Stress wave (SW)

Para aplicação desse método, foi utilizado o equipamento conhecido como *Stress Wave Timer*, modelo A190 (Figura 11), que fornece o tempo que a onda de tensão gasta para percorrer o comprimento da amostra. A partir desse tempo, é calculado o módulo de elasticidade dinâmico (E_{sw}) por meio da Equação 10.

$$E_{sw} = \left(\frac{L}{t} \right)^2 \times \frac{D}{g} \times 10^{-5} \quad (10)$$

em que:

E_{vt} = Módulo de elasticidade dinâmico pelo *Stress Wave* (MPa);

L = Comprimento do corpo de prova (m);

t = Tempo de propagação da onda (s);
 D = Densidade do corpo de prova (kg.m^{-3});
 g = Aceleração da gravidade (m.s^{-2}).



Figura 11. Ensaio do MOE dinâmico pelo método do *Stress Wave*.

3.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA E AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Na avaliação da densidade e da reprodutibilidade das espécies de bambu foi utilizada estatística descritiva, em que os valores foram avaliados em função da média aritmética e por meio de gráficos. Para a avaliação das características físico mecânicas dos BLCs foi empregado o delineamento inteiramente casualizado, com arranjo fatorial, em que foram analisados os efeitos dos fatores tratamento preservativo (Timbor e água); e adesivo empregado (emulsão de isocianato polimérico – EPI; melamina uréia formaldeído – MUF; acetato de polivinílico *cross* – PVA e resorcinol formaldeído – RF). Em caso de significância pelo teste F a 95% de probabilidade, foi procedido o teste de Tukey a 95%. Em todas as combinações, foram utilizadas oito repetições para cada tratamento (Figura12).

Para testar o percentual de falhas no bambu e a delaminação dos BLC foi necessário normalizar a distribuição dos dados pela transformação $\arcsen\sqrt{\%propriedadeavaliada}$, sugerida por Steel e Torrie (1980).

Para verificar a diferença entre os métodos não destrutivos (ND) com o destrutivo, foi realizada a análise de regressão linear simples e calculado o coeficiente de correlação de Pearson. Todos os modelos foram testados com 95% de probabilidade pelo teste F e, em caso de significância, foi realizada a análise dos resíduos para verificar qual a melhor equação de ajuste. Neste caso em particular, não foi levado em consideração o efeito dos tratamentos preservativos.

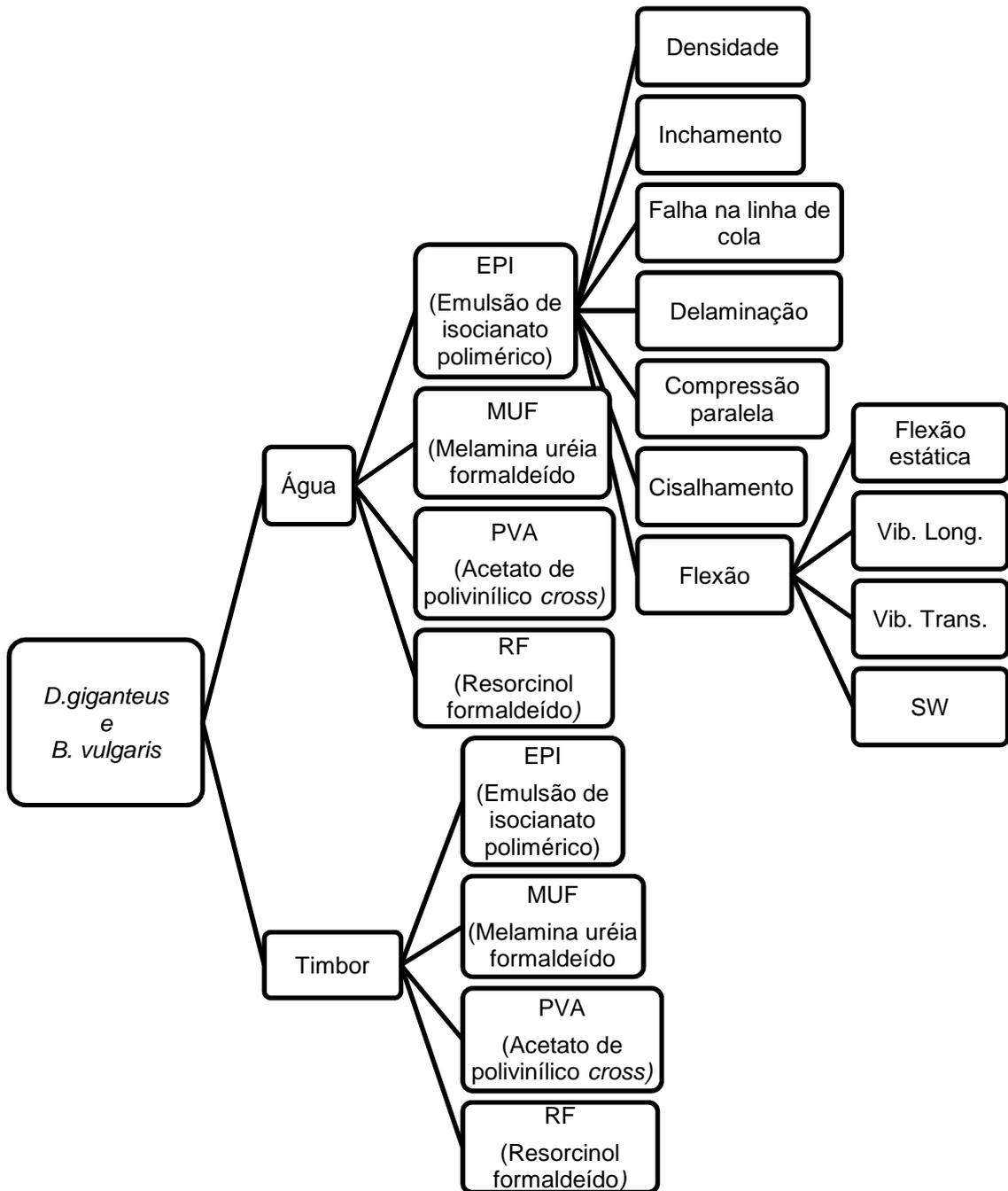


Figura 12. Esquema do experimento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DENSIDADE BÁSICA, RETRATIBILIDADE VOLUMÉTRICA E CURVA DE SECAGEM DOS BAMBUS

A densidade básica do *Dendrocalamus giganteus* (bambu gigante) variou de 0,4 a 0,8 g.cm⁻³, com média de 0,6 g.cm⁻³. Já o *Bambusa vulgaris* (bambu vulgar) teve densidade básica entre 0,3 e 0,8 g.cm⁻³, com média de 0,5 g.cm⁻³. Valores semelhantes de densidade para as espécies foram obtidos por Brito e Tomazello Filho (1987); Tomazello Filho e Azzini (1987), Nascimento e Xavier (2012), Tiburtino (2012) e Brito (2013).

Apesar de não existir direção radial no bambu por causa da ausência dos elementos de raio em sua estrutura anatômica, adotou-se os três planos de estudo da madeira para o bambu esperando alcançar o melhor entendimento dos resultados. As duas espécies tiveram, praticamente, a mesma contração nas direções tangenciais (largura) e radiais (espessura), de aproximadamente 8% (Tabela 4). O que não ocorre com a madeira, que possui contração radial sempre menor do que a tangencial. Contudo, a contração longitudinal teve o mesmo padrão encontrado para madeiras, ou seja, por ser muito pequena pode ser desconsiderada. Entretanto, é importante ressaltar que, o bambu vulgar possui maior contração volumétrica que o bambu gigante.

Tabela 4. Contrações volumétrica e linear médias do *D. giganteus* e do *B. vulgaris*

Espécie	Contração (%)			
	Radial	Tangencial	Longitudinal	Volumétrica
<i>D. giganteous</i>	7,639	7,808	0,269	15,72
<i>B. vulgaris</i>	7,920	8,768	0,222	16,91

A curva de secagem para as duas espécies de bambu teve duração de 120 horas e é demonstrada na Figura 13. Observa-se nas três curvas um padrão semelhante das contrações em função do teor de umidade.

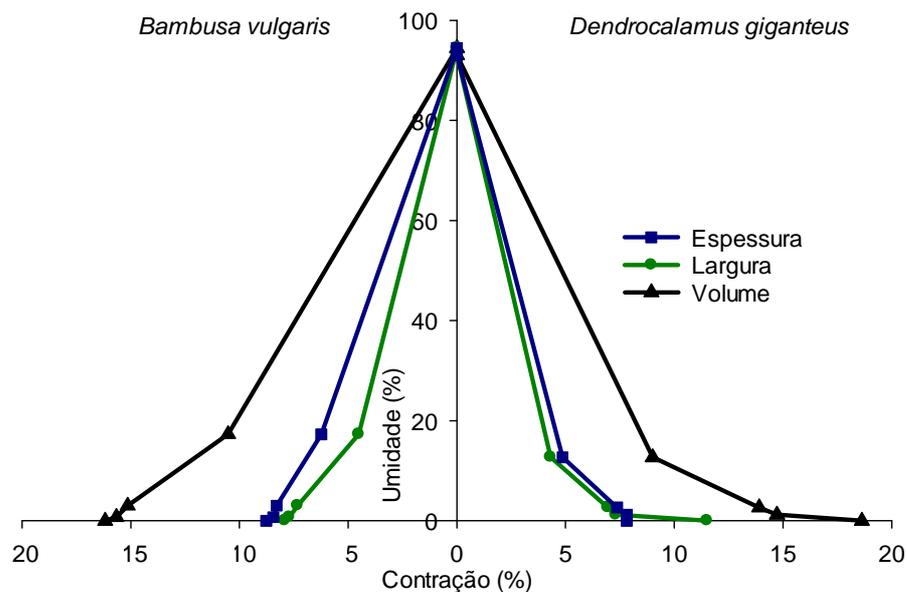


Figura 13. Curva de secagem para o bambu *D. giganteus* e *B. vulgaris*.

As contrações foram lineares até, aproximadamente 20 a 10% de umidade, quando ocorre um ponto de inflexão na reta de secagem e as contrações passam a ter maiores variações. Com isto, pode-se identificar o ponto em que as fibras do bambu passam a contrair mais, indicando a saída da água higroscópica da parede celular e consequente contração maior das fibras. Este ponto é conhecido para estudos com madeira, como o ponto de saturação das fibras (PSF) e, para os bambus *D. giganteus* e *B. vulgaris* ficou em torno de 10 a 20% de umidade. Entretanto, também é importante frisar que, a contração do bambu não segue as contrações comumente observadas em madeiras, nas quais, quase não há alteração nas dimensões até a umidade atingir o PSF. Isto não ocorreu com o bambu, pois existiu uma variação linear e positiva desde o início da perda de umidade.

4.2. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS BAMBUS LAMINADOS COLADOS

4.2.1 Densidade básica dos BLCs

Na Tabela 5 constam os valores de densidade básica, em $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, dos BLCs de *D. giganteus* e de *B. vulgaris* de acordo com cada par de fatores. Os

BLCs de bambu gigante, tratados com água tiveram média de $0,65 \text{ g.cm}^{-3}$ e, os tratados com Timbor, a densidade básica média foi de $0,60 \text{ g.cm}^{-3}$. Os valores de densidade do bambu gigante obtidos neste trabalho foram semelhantes aos valores de densidade dos BLCs produzidos com esta mesma espécie. Assim, nota-se que os tratamentos preservativos e os adesivos não influenciaram na densidade básica dos BLCs. Além disto, também se verifica que as densidades para os BLCs desta espécie, unidos com os diferentes adesivos, variaram de $0,59$ e $0,65 \text{ g.cm}^{-3}$.

Tabela 5. Densidade básica dos BLCs de *D. giganteus* e *B. vulgaris* preservados com água ou com Timbor para os diferentes adesivos

Espécie	Adesivos/Densidade básica (g.cm^{-3})					
	Tratamento	EPI	MUF	PVA	RF	Média
<i>D. giganteus</i>	Água	0,70 (0,03)	0,60 (0,04)	0,63 (0,10)	0,65 (0,03)	0,65 (0,07)
	Timbor	0,60 (0,04)	0,57 (0,05)	0,58 (0,04)	0,64 (0,08)	0,60 (0,06)
	Média	0,65 (0,06)	0,59 (0,05)	0,61 (0,08)	0,65 (0,06)	
<i>B. vulgaris</i>	Água	0,56 (0,02)	0,61 (0,03)	0,52 (0,04)	0,62 (0,06)	0,58 (0,04)
	Timbor	0,56 (0,02)	0,61 (0,5)	0,56 (0,05)	0,61 (0,02)	0,58 (0,04)
	Média	0,56 (0,02)	0,61 (0,04)	0,54 (0,05)	0,61 (0,04)	

Valor entre parênteses é o desvio padrão.

Esses valores de densidade dos BLCs produzidos com bambu gigante e preservados com água são semelhantes aos obtidos por Rivero (2003), de $0,51$ a $0,54 \text{ g.cm}^{-3}$ mas inferiores aos encontrados Nogueira (2008) com média de $0,76 \text{ g.cm}^{-3}$, que trabalhou com dois tipos de BLCs, produzidos com taliscas somente das faces internas e externas.

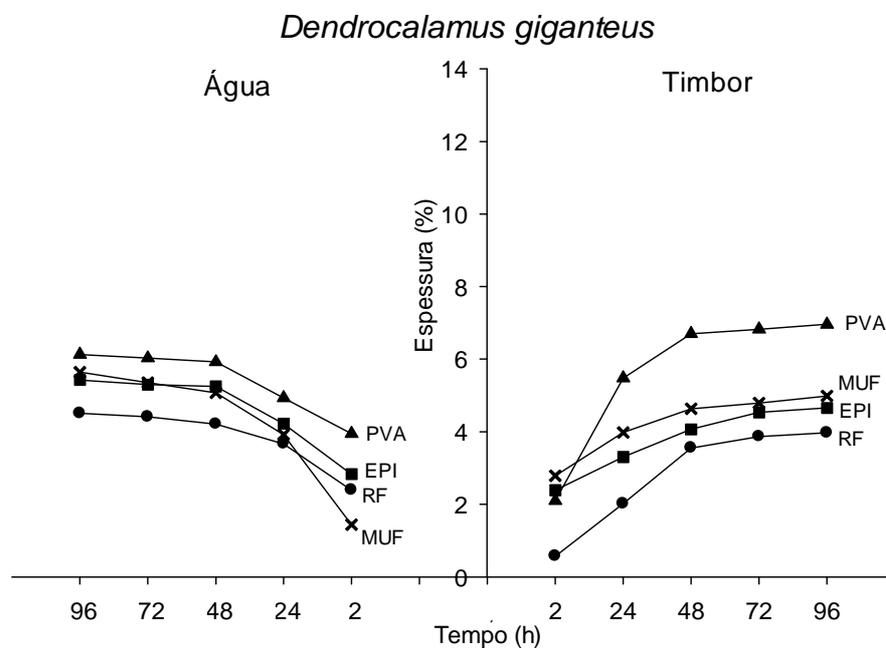
Os BLCs confeccionados com bambu vulgar que foram tratados com água, tiveram média de $0,58 \text{ g.cm}^{-3}$. Os valores de densidade do bambu vulgar obtidos neste trabalho foram, em média, inferiores aos valores de densidade dos BLCs produzidos com esta mesma espécie. Além disto, nota-se que a densidade dos BLCs dos diferentes adesivos também possuíram maiores

valores, variando de 0,54 a 0,61 g.cm⁻³, ou seja, existiu influência dos adesivos na densidade dos BLCs, o que não ocorreu para os diferentes tratamentos.

4.2.2 Inchamento dos BLCs

Na Figura 14 é demonstrada a variação da espessura do BLC de *D. giganteus* e de *B. vulgaris* em função do tempo de saturação, dos tratamentos preservativos e dos adesivos utilizados. No lado esquerdo da figura consta a variação da espessura dos BLCs tratados com água com os respectivos adesivos e, no lado direito a variação da espessura dos BLCs tratados com Timbor.

Pode-se notar que todos os BLCs, tanto aqueles tratados com água ou com Timbor para as duas espécies tiveram o mesmo padrão de inchamento, aumentando linearmente sua espessura até 48 horas de saturação, com tendência à estabilização depois deste tempo. Entretanto, pode ser observado que essa estabilização é menos consolidada no bambu vulgar.



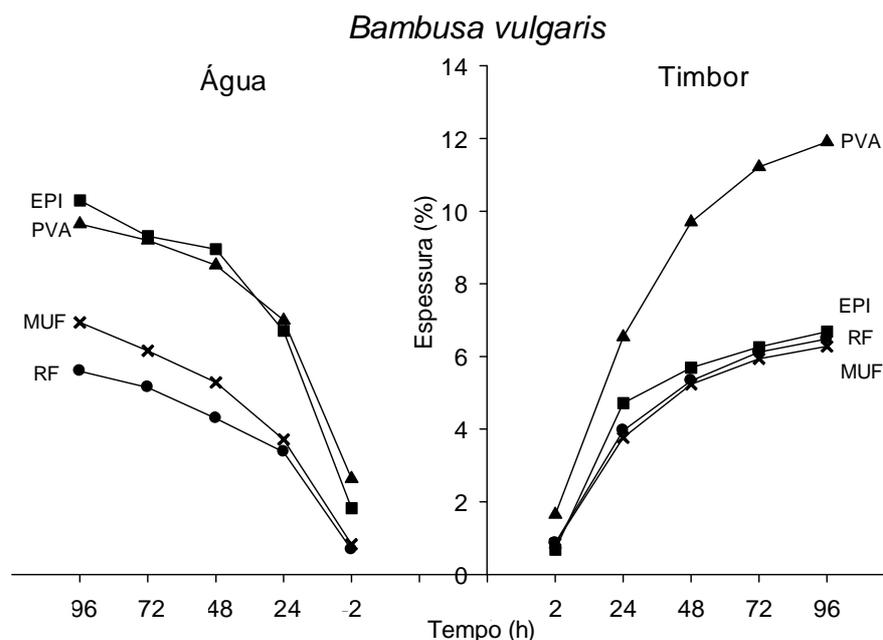


Figura 14. Inchamento médio da espessura dos BLCs produzidos com bambu *D. giganteus* e com *B. vulgaris* em função do tempo de imersão em água. EPI: emulsão de isocianato polimérico; MUF: melamina uréia formaldeído; PVAc: acetato de polivinílico cross; e RF: resorcinol formaldeído.

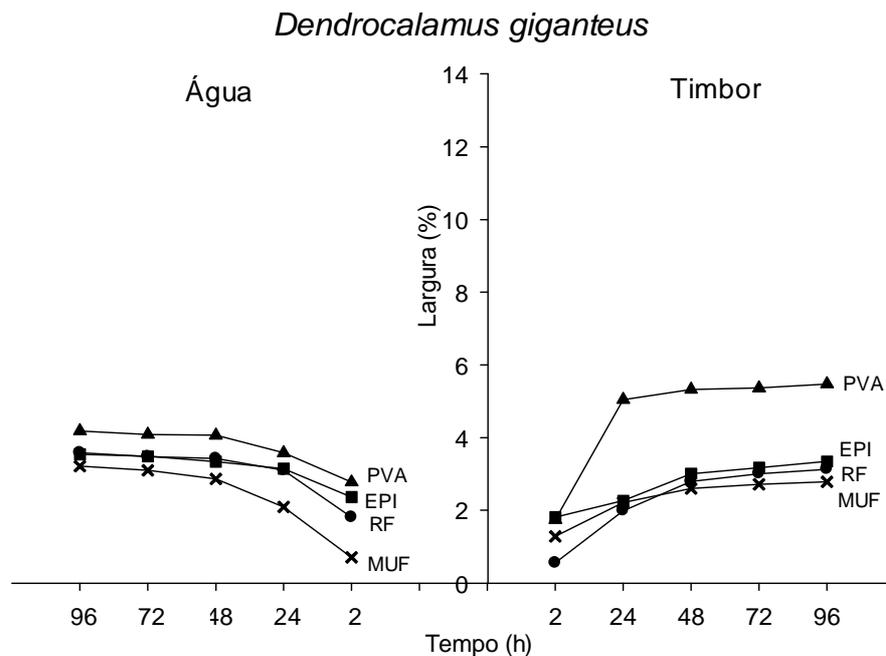
Os BLCs produzidos com o bambu gigante, tratados com Timbor e colados com o PVA, tiveram o maior inchamento (6,13%). Para aqueles aderidos com EPI, o inchamento foi de 5,42%, com MUF de 5,64% e com RF de 4,50%, que proporcionou a maior estabilidade dimensional para os BLCs. Já para os BLCs da mesma espécie e tratados com Timbor, destacam-se os aderidos com PVA, que tiveram o inchamento significativamente maior que os outros, de 6,96%. Já os aderidos com RF possuíram o menor inchamento (3,97%). Em resumo vale ressaltar que, os BLCs produzidos com o bambu gigante e colados com PVA e RF, tratados com água ou com Timbor, possuíram o maior e o menor inchamento, respectivamente. Em resumo, os BLCs produzidos com *D. giganteus*, colados com PVA e tratados com água ou com Timbor, tiveram os maiores índices de inchamento na espessura.

Ainda na Figura 14 observa-se que, os BLCs produzidos com o bambu vulgar, tratados com água e colados com EPI ou PVA, tiveram o mesmo comportamento e a maior variação na espessura, de 10,29 e 9,65% respectivamente. Porém, para aqueles colados com MUF ou RF, o inchamento

foi de 6,94 e 5,59%, com este último adesivo proporcionando um comportamento mais estável aos BLCs.

Assim como ocorreu um aumento significativo na espessura para os BLCs de bambu gigante tratados com Timbor e aderidos com PVA, também ocorreu para os mesmos BLCs de bambu vulgar (preservados com Timbor e colados com PVA). Este inchamento de 11,9% foi por causa da baixa resistência à umidade que o do adesivo PVA possui. Os BLCs aderidos com EPI, MUF e RF tiveram o mesmo comportamento e o inchamento final foi de 6,68, 6,28 e de 6,48%, respectivamente. Em síntese, os BLCs produzidos com *B.vulgaris*, colados com PVA e tratados com água ou com Timbor, possuíram os maiores índices de inchamento na espessura.

Na Figura 15 é apresentada a variação da largura do BLC de *D. giganteus* e do *B. vulgaris* em função do tempo de imersão em água, dos tratamentos preservativos e dos adesivos utilizados. Assim como ocorreu com o inchamento da espessura dos BLCs de bambu gigante e de vulgar tratados com água e com Timbor, o mesmo padrão de inchamento foi verificado para a largura. Esta dimensão aumentou linearmente até 48 horas de saturação, com tendência à estabilização após este tempo de imersão. Contudo, pode ser observado que essa estabilização também é menos consolidada no bambu vulgar, caracterizando maior instabilidade dimensional para esta espécie.



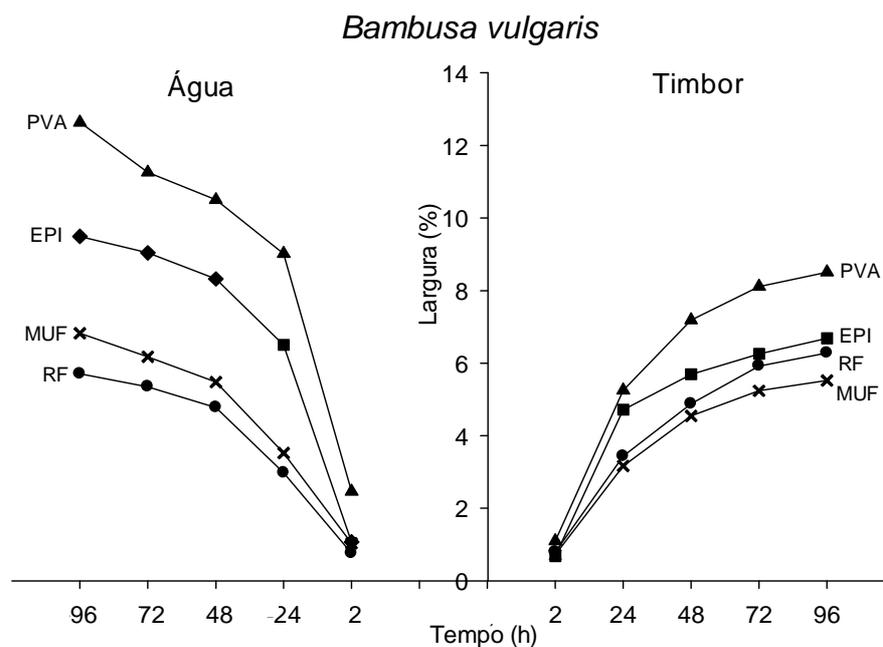


Figura 15. Inchamento médio da largura dos BLCs produzidos com bambu *D. giganteus* e com *B. vulgaris* em função do tempo de imersão em água. EPI: emulsão de isocianato polimérico; MUF: melamina uréia formaldeído; PVAc: acetato de polivinílico *cross*; e RF: resorcinol formaldeído.

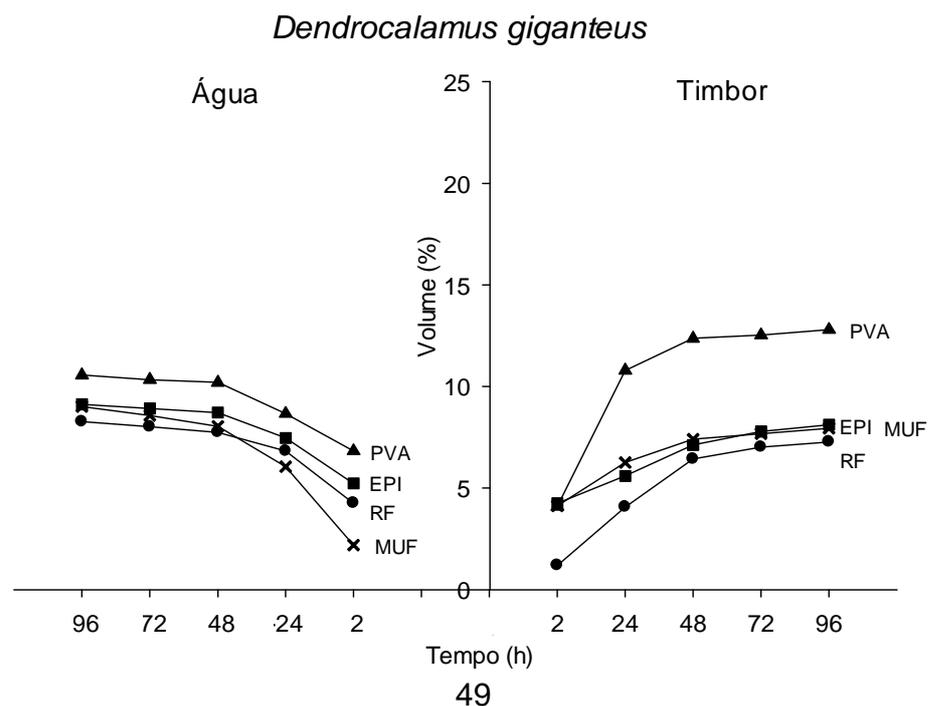
Os BLCs produzidos com bambu gigante tratados com água e aderidos com MUF tiveram a menor variação na largura, de 3,21%. Aqueles BLCs colados com EPI e RF demonstram o mesmo comportamento no inchamento, chegando a 3,54 e 3,58%, respectivamente, enquanto os BLCs colados com PVA demonstraram o maior inchamento, de 4,18%. Assim como também ocorreu no inchamento da espessura.

Os BLCs do bambu gigante tratado com Timbor e aderidos com PVA demonstraram o inchamento expressivamente maior que os outros, de 5,47%. Aqueles BLCs colados com MUF tiveram um comportamento mais estável (2,78%) e os aderidos com EPI e RF o mesmo comportamento na variação da largura, chegando a 3,34 e 3,13% respectivamente. Em resumo, os BLCs produzidos com o *D. giganteus* e colados com PVA e MUF, tratados tanto com água e quanto com Timbor, tiveram o maior e o menor inchamento, respectivamente.

Ainda na Figura 15 nota-se que, os BLCs produzidos com o bambu vulgar, tratados com água e colados com EPI e PVA, tiveram um

comportamento semelhante com a maior variação na largura, de 9,50 e 12,64%, respectivamente. Os BLCs aderidos com MUF demonstraram inchamento de 6,83% e, os colados com RF tiveram maior estabilidade, com 5,70% de inchamento. Assim como ocorreu um aumento significativo na largura para os BLCs de bambu gigante tratados com Timbor e aderidos com PVA, também ocorreu para dos BLCs de bambu vulgar tratados com Timbor e colados com PVA, com 8,51% de inchamento. Para aqueles BLCs colados com EPI e RF, o inchamento foi de 6,09 e 6,27%. Já os BLCs aderidos com MUF tiveram o menor inchamento, de 5,52%. Em resumo, para ambas as espécies tratadas com água ou com Timbor, o adesivo PVA foi que proporcionou a maior instabilidade para a largura.

Na Figura 16 é apresentada a variação do volume dos BLCs de *D. giganteus* e de *B. vulgaris* em função do tempo de imersão em água, dos tratamentos preservativos e dos adesivos utilizados. Como o inchamento da espessura e da largura dos BLCs das duas espécies, tratadas com água e com Timbor demonstraram o mesmo comportamento, logicamente, o volume também seguiu esta tendência, aumentando linearmente até 48 horas de imersão em água e tendendo a estabilizar após esse período. Além disto, também pode ser observado que o bambu vulgar possui maior instabilidade dimensional que o bambu gigante.



Bambusa vulgaris

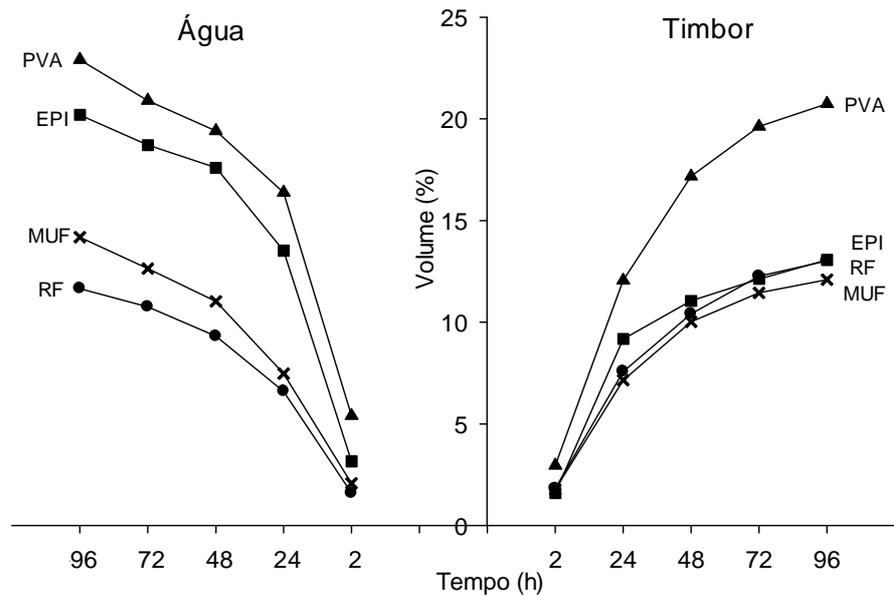


Figura 16. Volume médio dos BLCs produzidos com bambu *D. giganteus* e com *B. vulgaris* em função do tempo de imersão em água. EPI: emulsão de isocianato polimérico; MUF: melamina uréia formaldeído; PVA: acetato de polivinílico cross; e RF: resorcinol formaldeído.

Os BLCs produzidos com bambu gigante, tratados com água e aderidos com PVA possuíram a menor variação volumétrica, de 10,56%. Aqueles colados com EPI e MUF tiveram o mesmo comportamento, com inchamentos de 9,12 e 9,01%, respectivamente. Aqueles aderidos com RF demonstraram a maior estabilidade, com inchamento de 8,27%. Para os BLCs produzidos com a mesma espécie e tratados com Timbor, segue o mesmo padrão daqueles tratados com água, em que, os BLCs colados com PVA tiveram maior inchamento (12,80%), aqueles colados com EPI e MUF demonstraram o mesmo comportamento no inchamento (8,12 e 7,95%) e os colados com RF exibiram o menor inchamento (7,27%).

Ainda na Figura 16 verifica-se que, os BLCs produzidos com o bambu vulgar, tratados com água e colados com EPI e PVA, tiveram um comportamento semelhante com a maior variação no volume, de 20,20 e 22,92%. Os BLCs aderidos com MUF demonstraram inchamento de 14,19% e, os colados com RF maior estabilidade, com 11,66% de inchamento. Assim como ocorreu um aumento significativo no volume para os BLCs de bambu gigante tratados com Timbor e aderidos com PVA, também ocorreu para dos

BLCs de bambu vulgar tratados com Timbor e colados com PVA, com 20,75% de inchamento. Para aqueles BLCs colados com EPI e RF, o inchamento foi semelhante, de 13,07 e 13,01%, respectivamente, enquanto os BLCs aderidos com MUF tiveram o menor inchamento, de 12,10%. Em resumo, para ambas as espécies tratadas com água ou com Timbor, o adesivo PVA foi que proporcionou a maior instabilidade volumétrica. Já os adesivos MUF e RF proporcionaram a maior estabilidade.

Resultados próximos do inchamento volumétrico para BLCs confeccionados com *D. giganteus* e aderidos com PVA e RF foram obtidos por Brito (2013), que utilizou gramatura de 300 g.m⁻² em linha dupla, tempo de prensagem de 6h e pressão de 1,3 MPa para todos adesivos. Contudo Rivero (2003), que utilizou pressão de 5,5 MPa e tempo de prensagem de 10h para o RF e 24h para o PVA e; Olivera (2005) e Paes et al. (2009) que utilizaram gramatura de 500 g.m⁻², tempo de prensagem de 3h e pressão de 2,2 MPa para ambos adesivos, obtiveram valores de inchamento volumétrico em torno de 70% para o mesmo conjunto tratamento-adesivo.

4.2.3 Ensaio de delaminação dos BLCs

No Apêndice B, Tabela 1B, consta o resumo das análises de variância de delaminação dos BLCs produzidos com o bambu gigante e com o vulgar para cada par tratamento/adesivo.

É demonstrado na Tabela 6 a porcentagem de delaminação para cada BLC em função dos tratamentos e dos adesivos. Para os BLCs produzidos com bambu gigante, a interação entre os fatores tratamentos e adesivos não foi significativo pelo teste F a 95% de probabilidade, o que permite a interpretação dos dados estatísticos separadamente para cada fator. Deste modo, os BLCs desta espécie tratados com água ou com Timbor tiveram, estatisticamente, a mesma delaminação.

Os BLCs de *D. giganteus* que tiveram o maior índice de delaminação foram os unidos com EPI, seguidos daqueles aderidos com PVA. Aquelos colados com MUF demonstraram apenas 5,42% e os aderidos com RF não

tiveram delaminação, o que comprova a alta resistência à umidade destas resinas.

Tabela 6. Delaminação média dos BLCs de bambu *D. giganteus* e de *B. vulgaris* tratados com água e com Timbor para os diferentes adesivos

Espécie	Adesivos/Delaminação (%)					
	Tratamento	EPI	MUF	PVA	RF	Média
<i>D. giganteus</i>	Água	45,09	4,05	26,29	0,00	18,86a
	Timbor	37,61	6,80	33,90	0,00	19,58a
	Média	41,35A	5,42C	30,09B	0,00C	
<i>B. vulgaris</i>	Tratamento	EPI	MUF	PVA	RF	Média
	Água	30,18Aa	0,00Ba	28,90Ab	0,00Ba	14,77
	Timbor	11,44Bb	0,00Ba	62,20Aa	0,00Ba	18,41
	Média	20,81	0,00	45,55	0,00	

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste F em nível de 95% de probabilidade. Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas linhas, não diferiram em entre si pelo teste de Tukey em nível de 95% de probabilidade. EPI: emulsão de isocianato polimérico; MUF: melamina ureia formaldeído; PVA: acetato de polivinílico cross; e RF: resorcinol formaldeído.

Os BLCs de *B. vulgaris* demonstraram interação entre os fatores tratamento e adesivos (Tabela 6). Assim, os BLCs colados com EPI e tratados com água tiveram maior delaminação que aqueles tratados com Timbor. Para aqueles BLCs unidos com PVA os resultados foram ao contrário, aqueles tratados com água demonstraram menor porcentagem de delaminação que os tratados com Timbor. Já os BLCs unidos com MUF e RF para ambos os tratamentos, não tiveram delaminação.

Os BLCs confeccionados com bambu vulgar, em particular aqueles que foram tratados com água, os adesivos EPI, MUF e RF tiveram, estatisticamente, o mesmo comportamento de delaminação, de 11,44; 0,00 e 0,00%, respectivamente, enquanto aqueles colados com PVA tiveram 62,20% de delaminação (Tabela 6).

De acordo com a AITC T-110 (2007), a delaminação para madeiras de folhosas não devem ser superior a 8%. Assim, levando em consideração estes dados, somente os BLCs aderidos com MUF e RF, de ambas as espécies, não ultrapassaram a delaminação exigida na norma. Ou seja, somente os BLCs colados com MUF e RF estão aptos para suportar as condições de intemperismo que ocorrem ambientes externos.

4.3. CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DOS BLCs

4.3.1 Resistência ao cisalhamento

Na Tabela 7 pode-se observar a tensão de cisalhamento para cada espécie de bambu de acordo com os tratamentos e adesivos empregados. Somado a isto, no Apêndice A, Tabela 1A, verifica-se o quadrado médio das análises de variância da tensão de cisalhamento para os BLCs confeccionados com bambu gigante ou vulgar.

Tabela 7. Tensão de cisalhamento dos BLCs de bambu *D. giganteus* e de *B. vulgaris* em função dos adesivos e tratamentos preservativos

Espécie	Adesivos/Resistência ao cisalhamento (MPa)					
	Tratamento	EPI	MUF	PVA	RF	Média
<i>D. giganteus</i>	Água	4,80Aa	3,14Bb	0,98Ca	4,16Ab	3,27
	Timbor	2,19Cb	4,23Ba	1,23Ca	5,42Aa	3,27
	Média	3,50	3,68	1,11	4,79	
<i>B. vulgaris</i>	Água	3,18	6,41	4,94	6,58	5,28a
	Timbor	2,48	6,04	3,54	6,45	4,63b
	Média	2,82C	6,23A	4,24B	6,51A	

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste F em nível de 95% de probabilidade. Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas linhas, não diferiram em entre si pelo teste de Tukey em nível de 95% de probabilidade. EPI: emulsão de isocianato polimérico; MUF: melamina uréia formaldeído; PVA: acetato de polivinílico *cross*; e RF: resorcinol formaldeído.

Para os BCLs confeccionados com bambu gigante, a interação dos fatores tratamento preservativo e adesivo foi significativa pelo teste F em nível de 95% de probabilidade, procedendo-se em seguida as análises de médias pelo teste de Tukey. Assim, verificou-se que as médias da tensão de cisalhamento entre os tratamentos preservativos, para um mesmo adesivo, foram estatisticamente diferentes. Para o adesivo EPI, a média da tensão foi maior para os bambus tratados em água. Para os adesivos MUF e RF, a tensão de cisalhamento foi maior para aqueles tratados em Timbor. E para o adesivo PVA, não houve diferença para os bambus tratados com água ou com Timbor.

Além disso, também observou-se que as médias da tensão de cisalhamento entre os adesivos, para um mesmo tratamento foram

significativas. Assim, os BLCs de bambu gigante produzidos com as taliscas tratados em água e coladas com os adesivos EPI e RF, foram os que demonstraram maiores valores de resistência ao cisalhamento. Já aqueles aderidos com o MUF, tiveram a segunda maior resistência ao cisalhamento (3,14 MPa) e os com PVA, a menor (0,98 MPa). Para os BLCs que continham taliscas tratados com Timbor, apenas os colados com RF demonstraram a maior resistência. Os aderidos com MUF também tiveram a segunda maior média assim como no tratamento com água. A maior diferença, entretanto, foi encontrada nos BLCs tratados com Timbor e colados com EPI, que possuíam a menor média, igualando-se estatisticamente com os aderidos com PVA.

Na Tabela 1A (Apêndice A), verifica-se que não houve interação entre os fatores tratamentos e adesivos para o bambu vulgar. Deste modo, cada fator pode ser estudado separadamente sem a influência do outro. No caso dos tratamentos preservativos observou-se que, os BLCs que receberam taliscas tratadas com água possuíam maior resistência ao cisalhamento que aquelas tratadas com Timbor. Já para os adesivos, os BLCs do bambu vulgar colados com MUF e RF tiveram maior tensão de cisalhamento, seguidos dos aderidos com PVA e EPI.

Brito (2013) confeccionou BLCs com a espécie de gigante a partir de três anos de idade. Para o tratamento preservativo, foi utilizado o de imersão prolongada em água com duração de 15 dias. As taliscas foram confeccionadas com 0,5 x 3,5 x 45,0 cm (espessura x largura x comprimento). Foram utilizados 300 g.m⁻² para os adesivos PVAc e RF, pressão de 1,3 MPa durante 6 horas e quatro taliscas para montagem. Para os BLCs unidos com PVAc, foi observado uma resistência de 5,9 MPa e com RF de 5,6 MPa. Para as duas situações, os valores de resistência são maiores do que os encontrados.

Oliveira (2005) utilizou bambu gigante entre três e cinco anos de idade para produzir BLCs. Os colmos foram preservados em água durante 15 dias. Foram utilizados cinco taliscas nas dimensões de 0,4 x 5,0 x 45,0 cm (espessura x largura x comprimento), 500 g.m⁻² dos adesivos PVA e RF em linha dupla, pressão de 2,18 MPa e tempo de prensagem de 3h. Os BLCs unidos com PVA demonstraram resistência ao cisalhamento de 2,26 MPa e os

BLCs aderidos com RF de 3,14 MPa. Valores estes inferiores aos encontrados para BLCs produzidos com a mesma espécie.

Beraldo e Rivero (2003) utilizaram bambu gigante com cinco anos de idade para produzir com taliscas de 2,0 cm x 3,0 cm x 30 cm (espessura, largura e comprimento), preservadas durante sete dias em água e aderidas com RF. Para a montagem dos BLCs foram utilizadas três taliscas, pressão de 2 MPa e tempo de prensagem de 24h. Os autores verificaram que os BLCs de bambu gigante demonstraram resistência ao cisalhamento de 4,6MPa. Este valor é, em média, parecido aos encontrados neste trabalho para BLCs de bambu gigante.

Os mesmos autores também utilizaram o bambu vulgar para produzir BLC. Entretanto, para a montagem foram utilizadas quatro lâminas, cada uma nas dimensões de 1,0 cm x 3,0 cm x 30 cm (espessura x largura x comprimento), também preservadas em água e aderidas com RF. A pressão e o tempo de prensagem foram iguais aos utilizados para os BLCs de bambu gigante. Os autores constataram que os BLCs de bambu vulgar demonstraram resistência ao cisalhamento de 2,2 MPa, valores também inferior aos obtidos. Este valor é, em média, inferior aos encontrados neste trabalho para BLCs da mesma espécie de bambu.

Autores como Ghavami e Marinho (2001) estudaram a tensão de cisalhamento no bambu gigante e obtiveram valor médio de 3,37 MPa. Este valor está próximo aos obtidos nesta pesquisa para os BLCs aderidos com os quatro adesivos utilizados. Deste modo, pode-se afirmar que a resistência ao cisalhamento do bambu é a mesma para os BLCs, que é o mínimo esperado, pois não há sentido produzir um material com menor resistência que inicialmente possui.

A título de comparação entre a resistência ao cisalhamento de madeiras utilizadas principalmente para estruturas e partes internas de móveis, esquadrias, portas, lâminas e compensados, pode-se citar, o amesclão (*Trattinnickia burserifolia*) com 8,2 MPa, cedrorana (*Cedrelíngua caleniformis*) com 7,2 MPa e tauari (*Couratari spp.*) com 8,5 MPa; *Pinus elliotti* com resistência ao cisalhamento de 8,5 MPa, *Pinus taeda* de 8,7 MPa (ZENID, 2009) e *Araucaria angustifólia* (9,1 MPa) (SANTINI et al., 2000).

Assim, verifica-se que o BLC de bambu gigante aderidos com RF e os de bambu vulgar aderidos com MUF e RF foram os que mais aproximaram da resistência ao cisalhamento de madeiras comumente utilizadas em móveis.

4.3.1.1 Falha na linha de colados BLCs

No Apêndice B, Tabela 2B, é apresentado o quadrado médio da análises de variância de falha no bambu dos BLCs produzidos com o bambu gigante e com o vulgar para cada par tratamento e adesivo. Pode ser verificado que, a interação dos fatores tratamento e adesivo para as duas espécies foi significativa pelo teste F em nível de 95% de probabilidade, procedendo-se em seguida as análises de médias pelo teste de Tukey, também a 95% de probabilidade (Tabela 8), em que e demonstrada a porcentagem de falha no bambu para cada espécie, de acordo com os tratamentos e os adesivos empregados.

Tabela 8. Porcentagem média de falha na linha de cola do bambu *D. giganteuse* do *B. vulgaris* em função dos adesivos e dos tratamentos preservativos

Espécie	Adesivos/Falha no bambu (%)					
	Tratamento	EPI	MUF	PVA	RF	Média
<i>D. giganteus</i>	Água	39,00ABa	13,19BCb	5,69Ca	43,63Ab	25,38
	Timbor	19,25Ca	82,38Aa	1,63Ca	66,39Ba	42,41
	Média	29,13	47,78	3,66	55,01	
<i>B. vulgaris</i>	Água	17,53Ba	73,75Ab	8,91Ba	74,22Aa	43,60
	Timbor	10,00Ca	87,34Aa	5,78Ca	42,97Bb	36,52
	Média	13,77	80,55	7,34	58,59	

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste F em nível de 95% de probabilidade. Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas linhas, não diferiram em entre si pelo teste de Tukey em nível de 95% de probabilidade. EPI: emulsão de isocianato polimérico; MUF: melamina uréia formaldeído; PVAc: acetato de polivinílico cross; e RF: resorcinol formaldeído.

Ao observar o efeito de cada adesivo dentro dos tratamentos, verifica-se que os BLCs de *D. giganteus* tratados com água e aderidos com PVA tiveram a menor porcentagem de falha no bambu, de 5,69%, demonstrando a ineficiência estrutural do adesivo, visto que o ideal é a falha no bambu se

aproximar de 100%, ou seja, no mínimo esperava-se que o adesivo tivesse maior resistência do que o bambu, tornando a linha de cola mais forte do que o próprio material. Na mesma linha da tabela, verifica-se que os BLCs colados com MUF possuíram 13,19% de falha, seguidos dos aderidos com EPI e com RF, os quais demonstraram a maior falha no bambu, de 43,63%.

Os BLCs de *D. giganteus*, tratados com Timbor e aderidos com EPI e com PVA demonstraram a menor falha no bambu, de 19,25 e 1,63%, respectivamente. Já os BLCs colados com RF tiveram 66,39% de falha e os colados com RF demonstraram a maior porcentagem de falha no bambu, de 82,38%, comprovando estatisticamente, o melhor desempenho do adesivo.

Ao observar cada tratamento para os adesivos (Tabela 7), verifica-se estatisticamente que, os BLCs de *D. giganteus*, colados com EPI e PVA demonstraram médias semelhantes. Entretanto, para aqueles aderidos com MUF e RF, os que foram tratados com Timbor tiveram a maior falha no bambu que aqueles tratados com água, de 82,38 e 13,19% para MUF e de 66,39 e 43,63% para o RF.

Ao verificar cada fator adesivo nos tratamentos, verifica-se que os BLCs de *B. vulgaris*, tratados com água e colados com MUF e RF tiveram a maior igualdade de médias. Já aqueles aderidos com EPI e PVA demonstraram a menor semelhança entre médias. Para aqueles BLCs de bambu vulgar e tratados com Timbor, os aderidos com EPI e PVA possuíram a menor semelhança de médias, seguido dos BLCs aderidos com RF e com MUF, que por sua vez possuíram a maior média.

Ao analisar cada tratamento nos adesivos para os BLCs produzidos com o bambu vulgar, nota-se que, tanto aqueles aderidos com EPI e com PVA não tiveram diferença entre falhas em ambos os tratamentos. Contudo, os BLCs colados com MUF e tratados com Timbor, demonstraram menor porcentagem de falha no bambu que os tratados com água. Porém, aqueles BLCs aderidos com RF tiveram o comportamento diferente, ou seja, a média de falha no bambu foi maior para os tratados com água que aqueles tratados com Timbor.

Em resumo, independente da espécie e dos tratamentos preservativos, os BLCs aderidos com EPI e PVA proporcionaram a menor média de

porcentagem de falhas no bambu, o que caracteriza a ineficiência de adesão de ambas as resinas.

4.3.2 Compressão paralela dos BLCs

No Apêndice A, Tabela 1A, pode ser visualizado o quadrado médio das análises de variância da compressão paralela e da flexão estática dos BLCs produzidos com o bambu gigante e com o vulgar.

Como é demonstrado na Tabela 1A, não houve interação significativa em nível de 95% de probabilidade pelo teste F para ambas as espécies, ou seja, não houve influência no tipo de tratamento preservativo no adesivo utilizado. Os valores da resistência a compressão paralela foram em torno de 59 MPa para o bambu gigante e de 70 MPa para o vulgar (Tabela 9).

Tabela 9. Resistência a compressão paralela dos BLCs de bambu *D. giganteus* e de *B. vulgaris* em função dos adesivos e dos tratamentos preservativos

Espécie	Adesivos/Compressão paralela (MPa)					
	Tratamento	EPI	MUF	PVA	RF	Média
<i>D. giganteus</i>	Água	56,73	57,69	57,94	61,20	58,39a
	Timbor	60,17	57,76	59,08	67,53	61,14a
	Média	58,45A	57,72A	58,51A	64,37A	
<i>B. vulgaris</i>	Água	71,63	72,88	66,75	71,63	70,72a
	Timbor	66,63	76,75	69,50	71,00	70,97a
	Média	69,13A	74,81A	68,13A	71,31A	

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e letra maiúscula nas linhas, não diferiram em entre si pelo teste F em nível de 95% de probabilidade. EPI: emulsão de isocianato polimérico; MUF: melamina uréia formaldeído; PVAc: acetato de polivinílico cross; e RF: resorcinol formaldeído.

Brito (2013) confeccionou BLCs com a espécie de gigante a partir de três anos de idade. Para o tratamento preservativo, foi utilizado o de imersão prolongada em água com duração de 15 dias. As taliscas foram confeccionadas com 0,5 x 3,5 x 45,0 cm (espessura, largura e comprimento). Foram utilizados 300 g.m⁻² para os adesivos PVAc e RF, pressão de 1,3 MPa durante 6 horas e quatro taliscas para montagem. Para os BLCs unidos com PVAc, foi observado uma resistência de 63,22 MPa e com RF de 77,43 MPa.

Para as duas situações, os valores de resistência são maiores do que os encontrados.

Verma e Chariar (2012) fabricaram BLCs de bambu gigante com quatro anos de idade. As taliscas tinham 1,0 x 1,6 x 25,0 cm de espessura, largura e comprimento, respectivamente. Para a montagem dos BLCs foram utilizados cinco taliscas aderidas com resina epóxi à pressão de 1,0 MPa. Os autores observaram que a resistência à compressão variou entre 71,9 MPa a 82,5 MPa.

Oliveira (2005) utilizou bambu gigante entre três e cinco anos de idade para produzir BLCs. Os colmos foram preservados em água durante 15 dias. Foram utilizados cinco taliscas nas dimensões de 0,4 x 5,0 x 45,0 cm (espessura, largura e comprimento), 500 g.m⁻² do adesivo RF em linha dupla, pressão de 2,18 MPa e tempo de prensagem de 3h. Os BLCs demonstraram resistência à compressão paralela entre 35 e 40 MPa. Valores estes inferiores aos encontrados para BLCs produzidos com a mesma espécie.

Beraldo e Rivero (2003) utilizaram bambu gigante com cinco anos de idade para produzir com taliscas de 2,0 x 3,0 x 30,0 cm (espessura x largura x comprimento), preservadas durante sete dias em água e aderidas com RF. Para a montagem dos BLCs foram utilizadas três taliscas, pressão de 2 MPa e tempo de prensagem de 24h. Os autores verificaram que os BLCs de bambu gigante demonstraram resistência à compressão axial de 38 MPa, valor inferior aos encontrados neste trabalho.

Os mesmos autores também utilizaram o bambu vulgar para produzir BLC. Entretanto, para a montagem foram utilizadas quatro lâminas, cada uma nas dimensões de 1,0 x 3,0 x 30 cm (espessura x largura x comprimento), também preservadas em água e aderidas com RF. A pressão e o tempo de prensagem foram iguais aos utilizados para os BLCs de bambu gigante. Os autores constataram que os BLCs de bambu vulgar demonstraram resistência à compressão axial de 46,2 MPa, valores também inferior aos obtidos.

Comparando a resistência à compressão o BLC com algumas madeiras utilizadas para vigas, colunas, tesouras, caibros, dormentes, cruzetas, carrocerias, pode-se citar a peroba rosa (*Aspidosperma polyneuron*) com resistência à compressão de 11,9 MPa, araucária (*Araucaria angustifolia*)

de 41,4 MPa, angelim pedra (*Hymenolobium spp.*) de 52,4 MPa, cedrinho (*Erismia uncinatum*) de 42,2 MPa, curupixá (*Micropholis venulosa*) de 64,9 MPa, eucalipto citriodora (*Corymbia citriodora*) de 62,8 MPa, eucalipto grandis (*Eucalyptus grandis*) de 42,1 (GONZAGA, 2006). Assim, pode-se inferir que os BLCs produzidos com ambas as espécies podem substituir as madeiras comumente utilizadas na construção civil.

4.3.3 Flexão Estática dos BLCs

No Apêndice A, Tabela 1A, é apresentado o quadrado médio da análises de variância da resistência à flexão estática dos BLCs produzidos com o bambu gigante e com o vulgar para cada par tratamento e adesivo.

Na Tabela 10 é demonstrado o módulo de elasticidade estático (MOE) para cada espécie de bambu de acordo com os tratamentos e adesivos empregados.

Tabela 10. Módulo de elasticidade médio para os BLCs de bambu *D. giganteus* e de *B. vulgaris* dos adesivos e dos tratamentos preservativos

Espécie	Adesivos/Flexão estática (MPa)					Média
	Tratamento	EPI	MUF	PVA	RF	
<i>D. giganteus</i>	Água	14496,46	14223,50	14136,72	15348,50	14551,30a
	Timbor	13530,63	14019,75	13178,63	13456,13	13546,28b
	Média	14013,54A	14121,63A	13657,67A	14402,31A	
<i>B. vulgaris</i>	Água	11892,13	15954,38	13062,25	15549,63	14114,59a
	Timbor	13144,38	13246,38	10502,25	13559,25	12613,06b
	Média	12518,25AB	14600,38A	11782,25B	14554,44A	

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste F em nível de 95% de probabilidade. Médias seguidas da mesma letra maiúscula nas linhas, não diferiram em entre si pelo teste de Tukey em nível de 95% de probabilidade. EPI: emulsão de isocianato polimérico; MUF: melamina ureia formaldeído; PVAc: acetato de polivinílico cross; e RF: resorcinol formaldeído.

Pode-se observar que a média dos MOE para os diferentes adesivos foi não significativas, em que, todos os adesivos possuem, em média, a resistência semelhante à flexão. Já os tratamentos preservativos foram significativos, com os BLCs tratados com água que possuíram maior resistência que aqueles tratados com Timbor.

Pode-se notar que os tratamentos preservativos também foram significativos para os BLCs de bambu vulgar. Como verificado para os BLCs de bambu gigante, as médias dos BLCs de bambu vulgar tratados com água foram maiores que aqueles tratados com Timbor. Contudo, diferente dos resultados alcançados pelos BCLs produzidos com bambu gigante, o efeito dos adesivos foram significativos para os BLCs confeccionados com o bambu vulgar. Deste modo, observa-se que os BLCs de bambu vulgar aderidos com MUF e RF tiveram os maiores MOE. Seguindo deste adesivo, os BLCs colados com EPI demonstraram a segunda maior média e os confeccionados com o PVA a menor média.

Os valores de MOE dos BLCs produzidos com o bambu gigante foram superiores aos obtidos por Rivero (2003) de 5.000 MPa e por Oliveira (2005), de 7.000 MPa. Este comportamento está relacionado a irregularidades nas taliscas, gramatura, acúmulo de adesivo e dimensões diferente das taliscas, de acordo com as próprias autoras. Contudo, foram próximos aos demonstrados por Brito (2013) de 12.000 MPa e por Verma e Chariar (2012), de 13.800 MPa.

Brito (2013) confeccionou BLCs com a espécie de gigante a partir de três anos de idade. Para o tratamento preservativo, foi utilizado o de imersão prolongada em água com duração de 15 dias. As taliscas foram confeccionadas com 0,5 x 3,5 x 45,0 cm (espessura x largura x comprimento). Foram utilizados 300 g.m⁻² para os adesivos PVAc e RF, pressão de 1,3 MPa durante 6 horas e quatro taliscas para montagem. Para os BLCs unidos com PVAc, foi observado um MOE de 11.936 MPa e com RF de 11.656 MPa. Para as duas situações, os valores de MOE foram inferiores do que os encontrados.

Verma e Chariar (2012) fabricaram BLCs de bambu gigante com quatro anos de idade. As taliscas tinham 1,0 x 1,6 x 25,0 cm de espessura, largura e comprimento, respectivamente. Para a montagem dos BLCs foram utilizados cinco taliscas aderidas com resina epóxi à pressão de 1,0 MPa. Os autores observaram que o MOE variou entre 12.400 a 15.600 MPa

Oliveira (2005) utilizou bambu gigante entre três e cinco anos de idade para produzir BLCs. Os colmos foram preservados em água durante 15 dias. Foram utilizados cinco taliscas nas dimensões de 0,4 x 5,0 x 45,0 cm (espessura x largura x comprimento), 500 g.m⁻² dos adesivos PVA e RF em

linha dupla, pressão de 2,18 MPa e tempo de prensagem de 3h. Os BLCs aderidos com PVA tiveram MOE de 6.340 MPa e os unidos com RF, MOE de 9.600 MPa. Estes valores são inferiores daqueles encontrados nesta pesquisa.

Beraldo e Rivero (2003) utilizaram bambu gigante com cinco anos de idade para produzir com taliscas de 2,0 x 3,0 x 30,0 cm (espessura x largura x comprimento), preservadas durante sete dias em água e aderidas com RF. Para a montagem dos BLCs foram utilizadas três taliscas, pressão de 2 MPa e tempo de prensagem de 24h. Os autores verificaram que os BLCs de bambu gigante demonstraram MOE de 5.500 MPa, valor inferior aos encontrados neste trabalho.

Os mesmos autores também utilizaram o bambu vulgar para produzir BLC. Entretanto, para a montagem foram utilizadas quatro lâminas, cada uma nas dimensões de 1,0 x 3,0 x 30 cm (espessura, largura e comprimento), também preservadas em água e aderidas com RF. A pressão e o tempo de prensagem foram iguais aos utilizados para os BLCs de bambu gigante. Os autores constataram que os BLCs de bambu vulgar demonstraram MOE de 4.000 MPa, valores também inferior aos obtidos.

Comparando a resistência à flexão estática dos BLCs com algumas madeiras utilizadas para vigas, colunas, tesouras, caibros, dormentes, cruzetas, carrocerias, pode-se citar a peroba rosa (*Aspidosperma polyneuron*) com resistência à compressão de 9.248MPa, araucária (*Araucaria angustifolia*) de 10.719 MPa, angelim pedra (*Hymenolobium spp.*) de 11.572 MPa, cedrinho (*Erisma uncinatum*) de 10.395 MPa, curupixá (*Micropholis venulosa*) de 13.925 MPa, eucalipto citriodora (*Corymbia citriodora*) de 13.337 MPa, eucalipto grandis (*Eucalyptus grandis*) de 9.689 MPa, Jatobá (*Hymenaea spp.*) de 14.837 MPa, roxinho (*Peltogyne spp.*) de 17.721 MPa, sucupira (*Bowdichia sp.*) de 16.060 MPa (ZENID, 2009). Assim, pode-se os BLCs das duas espécies apresentam MOE compatível com a maioria das madeiras utilizadas na construção civil.

De acordo com a NBR 7190, ABNT (1997), o BLCs podem ser na classe de resistência das folhosas como classe de resistência C 60, que define valores mínimos de resistência característica à compressão paralela às fibras ($f_{c0,k}$) de 60 MPa, módulo de elasticidade médio paralelo às fibras ($E_{c0,m}$) de

24,5 GPa e densidade aparente de 1,0 g.cm⁻³, na condição padrão de referencia de 12% de umidade.

De acordo com a NBR 7190, ABNT (1997) e levando em consideração somente o MOE, os BLCs de ambas espécies enquadram-se na classe de resistência das folhosas como C 30, que define valores mínimos de resistência característica à compressão paralela às fibras ($f_{c0,k}$) de 60 MPa, módulo de elasticidade médio paralelo às fibras ($E_{c0,m}$) de 14,5 GPa e densidade aparente de 6,5 g.cm⁻³, na condição padrão de referencia de 12% de umidade.

4.3.4 Módulo de elasticidade estático estimado (\hat{E}) por métodos não destrutivos

No Apêndice C, Tabela 1C, consta o resumo das análises de regressão linear dos BLCs produzidos com o bambu gigante e com o vulgar para cada adesivo em função dos métodos não destrutivos e, na Tabela 11 são apresentadas as equações de regressão lineares ajustados para os BLCs de *D. giganteus* para cada adesivo em função dos diferentes métodos não destrutivos (ND) realizados.

Tabela 11. Equações de regressão linear ajustados para estimar o módulo de elasticidade (\hat{E}) dos BLCs de *D. giganteus* para cada adesivo

Adesivo	Método	Equação ajustada	R ²	Fcal	Sy _x (%)
EPI	Vib. Long	$\hat{E} = 0,818 * Ed_{Long} - 652,599$	0,45*	11,55*	9,16
	Vib. Trans	$\hat{E} = 0,726 * Ed_{Trans} + 2622,315$	0,65*	25,88*	7,33
	SW	$\hat{E} = 0,329 * Ed_{SW} + 9242,227$	0,06 ^{ns}	0,94 ^{ns}	11,97
MUF	Vib. Long	$\hat{E} = 0,758 * Ed_{Long} + 1155,025$	0,48*	13,03*	6,81
	Vib. Trans	$\hat{E} = 0,796 * Ed_{Trans} + 1527,910$	0,78*	50,69*	4,40
	SW	$\hat{E} = 0,345 * Ed_{SW} + 9460,319$	0,08 ^{ns}	1,27 ^{ns}	9,06
PVA	Vib. Long	$\hat{E} = 0,569 * Ed_{Long} + 3561,862$	0,32*	6,50*	11,31
	Vib. Trans	$\hat{E} = 0,576 * Ed_{Trans} + 4606,841$	0,56*	17,59*	9,12
	SW	$\hat{E} = 0,471 * Ed_{SW} + 7064,937$	0,25 ^{ns}	4,58 ^{ns}	11,88
RF	Vib. Long	$\hat{E} = 1,071 * Ed_{Long} - 4313,716$	0,56*	17,58*	10,18
	Vib. Trans	$\hat{E} = 0,958 * Ed_{Trans} - 823,906$	0,97*	508,60*	2,50
	SW	$\hat{E} = 1,010 * Ed_{SW} + 196,568$	0,39*	9,11*	11,90

*Modelo significativo em nível de 95% pelo teste F. ^{ns} Modelos não significativo em nível de 95% pelo teste F. EPI: emulsão de isocianato polimérico; MUF: melamina uréia formaldeído; PVAc: acetato de polivinílico cross; e RF: resorcinol formaldeído. \hat{E} : módulo de elasticidade estático estimado; Ed_{long} = módulo de elasticidade dinâmico pelo método de vibração longitudinal; Ed_{trans} = módulo de elasticidade dinâmico pelo método de vibração transversal; Ed_{long} = módulo de elasticidade dinâmico utilizando o *stress wave timer*.

Pode-se perceber que três dos modelos ajustados foram não significativos, em que, a regressão não existe e, por isto, o módulo de elasticidade estático estimado (\hat{E}) não pode ser obtido por estas equações. Visto isto, o método do *Stress Wave* não é adequado para estimar o \hat{E} de BLCs aderidos com EPI, MUF e PVA.

Dos modelos significativos, destacam-se aqueles ajustados para o método de vibração transversal (vib. trans.). Tal destaque pode ser visualizado na Tabela 11 pelo coeficiente de Pearson (R^2). Entretanto, os outros modelos ajustados para o método de vibração longitudinal (vib. long.) também foram significativos e tiveram um R^2 aceitável. Diante disto, uma melhor análise é necessária para afirmar qual modelo de vibração é o melhor para cada adesivo. Assim, foi utilizada a análise dos resíduos.

Na Tabela 11 podem ser observados os erros residuais médios ($S_{\bar{y}}$) para cada modelo. Com isto, observou-se que o método de vibração transversal possui o menor erro residual em comparação ao método de vibração longitudinal. Por exemplo, para o adesivo EPI o modelo ajustado de vib. transv. tiveram erro médio de 7,33% para estimar o \hat{E} , enquanto o modelo ajustado para vib. long. demonstrou um erro de 9,16% ao estimar o \hat{E} para o mesmo adesivo. Seguindo o mesmo raciocínio para os adesivos MUF, PVA e RF, o método de vib. trans. proporcionou erro de estimação médio de 4,40, 9,12 e 2,50%, respectivamente. É importante ressaltar que, o método de vib. trans teve o menor erro de estimação para os bambus colados com o adesivo RF.

Na Tabela 12 é apresentado os modelos de regressão linear ajustados para os BLCs de *B. vulgaris* para cada adesivo em função dos diferentes métodos não destrutivos (ND) realizados. Do mesmo modo realizado no ajuste dos modelos para os BLCs de bambu gigante, não se fez distinção entre os BLCs tratados com água ou com Timbor.

Os modelos de regressão para o ensaio do SW que relaciona os BLCs de bambu vulgar foi significativo apenas para os adesivos MUF e RF, obtendo R^2 de 0,60 e 0,58, respectivamente. Entretanto, apesar da significância, pode-se verificar que os erros de estimação dos modelos para os dois adesivos foram de 14,80 e 16,34%, respectivamente, podendo ser considerados altos.

Comparando o método do SW para os BLCs de bambu vulgar e para os BLCs de *D. giganteus*, nota-se que, apesar deste último não possuir modelos significativos para o SW, os erros de estimação foram ainda menores que dos proporcionados para os BLCs de bambu vulgar. Assim, por mais que o R² demonstra ser aceitável e os modelos sejam significativos, os erros de estimação para a técnica do SW de BLCs de bambu vulgar aderidos com MUF e RF, demonstram baixa confiança para estimar o MOE estático (\hat{E}).

Tabela 12. Equações de regressão linear ajustados para estimar o módulo de elasticidade (\hat{E}) dos BLCs de *B. vulgaris* para cada adesivo

Adesivo	Método	Equações ajustadas	R ²	Fcal	Sy \bar{x} (%)
EPI	Vib. Long.	$\hat{E} = 0,415*Ed_{Long} + 5425,432$	0,05	0,73 ^{ns}	19,57
	Vib. Trans.	$\hat{E} = 0,823*Ed_{Trans} + 792,615$	0,98	674,60*	2,86
	SW	$\hat{E} = 0,552*Ed_{SW} + 4588,891$	0,06	0,97 ^{ns}	19,41
MUF	Vib. Long.	$\hat{E} = 0,836*Ed_{Long} - 624,141$	0,36	7,99*	18,76
	Vib. Trans.	$\hat{E} = 0,855*Ed_{Trans} + 712,262$	0,99	1983,00*	1,97
	SW	$\hat{E} = 1,474*Ed_{SW} - 8017,968$	0,60	21,37*	14,80
PVA	Vib. Long.	$\hat{E} = 0,899*Ed_{Long} - 3309,0641$	0,41	9,74*	20,29
	Vib. Trans.	$\hat{E} = 1,024*Ed_{Trans} - 2231,8943$	0,80	54,75*	11,92
	SW	$\hat{E} = 0,987*Ed_{SW} - 1777,6373$	0,22	4,04 ^{ns}	23,28
RF	Vib. Long.	$\hat{E} = 1,148*Ed_{Long} - 6216,950$	0,84	71,57*	10,16
	Vib. Trans.	$\hat{E} = 0,849*Ed_{Trans} + 742,095$	0,97	385,80*	4,70
	SW	$\hat{E} = 1,561*Ed_{SW} - 8494,965$	0,58	19,13*	16,34

*Modelo significativo em nível de 95% pelo teste F. ^{ns} Modelos não significativo em nível de 95% pelo teste F. EPI: emulsão de isocianato polimérico; MUF: melamina uréia formaldeído; PVAc: acetato de polivinílico *cross*; e RF: resorcinol formaldeído. \hat{E} : módulo de elasticidade estático estimado; Ed_{long} = módulo de elasticidade dinâmico pelo método de vibração longitudinal; Ed_{trans} = módulo de elasticidade dinâmico pelo método de vibração transversal; Ed_{long} = módulo de elasticidade dinâmico utilizando o *stress wave timer*.

Do mesmo modo, a maioria dos modelos ajustados para o ensaio de vib. long. também demonstraram significância, contudo, proporcionaram alto erro de estimação por causa da variação dos valores individuais. O único modelo de vib. long que não foi significativo, foi para aqueles BLCs aderidos com EPI. Já os modelos ajustados para o método de vib. trans., demonstraram alto R² e baixo erro ao estimar o módulo de elasticidade para os BLCs aderidos com qualquer adesivo, sendo portanto, a técnica mais indicada. Contudo, cabe ressaltar que, para aqueles BLCs colados com PVA, o erro de estimação foi em torno de 11, 92%

4.3.5 Módulo de ruptura estimado (\hat{R}) por métodos não destrutivos

No Apêndice C, Tabela 2C, é apresentado o resumo das análises de regressão lineares dos BLCs produzidos com o bambu gigante e com o vulgar para cada adesivo em função dos métodos não destrutivos.

É apresentado na Tabela 13 as equações ajustadas para estimar o módulo de ruptura (\hat{R}) em função dos módulos de elasticidade dinâmico (E_d) obtidos nos métodos não destrutivos (ND). Observa-se que, as equações ajustadas para os três métodos ND utilizados nos BLCs de bambu gigante, que foram aderidos com EPI ou PVA foram não significativas, ou seja, estas equações não podem ser utilizadas para estimar o módulo.

Quanto aos BLCs aderidos com MUF, o único método ND que demonstrou equação possível para estimar o módulo foi o de vib. trans., com erro de estimação ($S_{y\bar{x}}$) de 17,41%. Todos os métodos ND utilizados nos BLCs unidos com RF apresentaram resultados significativos ao estimar o módulo de ruptura, tendo o método de vib. long o maior R^2 e menor erro.

Tabela 13. Equações de regressão linear ajustadas para estimar o módulo de ruptura (\hat{R}) dos BLCs de *D. giganteus* para cada adesivo

Adesivo	Método	Equação ajustada	R^2	Fcal	$S_{y\bar{x}}$ (%)
EPI	Vib. Long	$\hat{R} = 8,856 + 0,003 * E_{d_{Long}}$	0,02 ^{ns}	0,26 ^{ns}	50,73
	Vib. Trans	$\hat{R} = -60,1840 + 0,008 * E_{d_{Trans}}$	0,20 ^{ns}	3,45 ^{ns}	45,86
	SW	$\hat{R} = 111,447 - 0,003 * E_{d_{SW}}$	0,01 ^{ns}	0,16 ^{ns}	50,92
MUF	Vib. Long	$\hat{R} = 15,060 + 0,006 * E_{d_{Long}}$	0,09 ^{ns}	1,31 ^{ns}	20,21
	Vib. Trans	$\hat{R} = -30,633 + 0,010 * E_{d_{Trans}}$	0,32*	6,64*	17,41
	SW	$\hat{R} = 131,799 - 0,002 * E_{d_{SW}}$	0,01 ^{ns}	0,07 ^{ns}	21,08
PVA	Vib. Long	$\hat{R} = -18,289 + 0,006 * E_{d_{Long}}$	0,10 ^{ns}	1,57 ^{ns}	37,89
	Vib. Trans	$\hat{R} = -3,998 + 0,006 * E_{d_{Trans}}$	0,16 ^{ns}	2,73 ^{ns}	36,55
	SW	$\hat{R} = -18,186 + 0,007 * E_{d_{SW}}$	0,18 ^{ns}	3,15 ^{ns}	36,10
RF	Vib. Long	$\hat{R} = -27,517 + 0,009 * E_{d_{Long}}$	0,45*	11,47*	11,64
	Vib. Trans	$\hat{R} = 45,838 + 0,006 * E_{d_{Trans}}$	0,37*	8,11*	12,49
	SW	$\hat{R} = -3,251 + 0,010 * E_{d_{SW}}$	0,40*	9,43*	12,14

*Modelo significativo em nível de 95% pelo teste F. ^{ns} Modelos não significativo em nível de 95% pelo teste F. EPI: emulsão de isocianato polimérico; MUF: melamina uréia formaldeído; PVA: acetato de polivinílico cross; e RF: resorcinol formaldeído. \hat{R} : módulo de ruptura estimado; $E_{d_{long}}$: módulo de elasticidade dinâmico pelo método de vibração longitudinal; $E_{d_{trans}}$: módulo de elasticidade dinâmico pelo método de vibração transversal; $E_{d_{long}}$: módulo de elasticidade dinâmico utilizando o *stress wave timer*.

Na Tabela 14 pode-se observar as equações ajustados para estimar o módulo de ruptura dos BLCs de bambu vulgar em função dos módulos de elasticidade dinâmico (E_d) obtidos nos métodos não destrutivos (ND). Nota-se que, entre os métodos ND utilizados nos BLCs aderidos com EPI e PVA, o único que demonstrou estimação significativa foi o de vib. trans. Entretanto, nos BLCs aderidos com estes adesivo, os erros de estimação foram na ordem de 36,58 e 40,95%, que é um grande erro comparado aos obtidos nos BLCs aderidos com RF, de 12,89%.

Todas as equações ajustados para os BLCs unidos com MUF foram significativas, demonstrando que os três métodos ND podem ser utilizados para estimar o módulo de ruptura dos BLCs aderidos com esta resina. Para aqueles BLCs que foram aderidos com RF, somente dos métodos de vib. long e vib. trans. foram significativos. Além disto, tiveram os maiores valores de R^2 e menores erros de estimação.

Tabela 14. Equações de regressão linear ajustados para estimar o módulo de ruptura (\hat{R}) dos BLCs de *B. vulgaris* para cada adesivo

Adesivo	Método	Equação ajustada	R^2	Fcal	Syx (%)
EPI	Vib. Long	$\hat{R} = 5,914 + 0,004*E_{d_{Long}}$	0,02 ^{ns}	0,29 ^{ns}	49,81
	Vib. Trans	$\hat{R} = -43,936 + 0,008*E_{d_{Trans}}$	0,47*	12,50*	36,58
	SW	$\hat{R} = 133,388 - 0,004*E_{d_{SW}}$	0,02 ^{ns}	0,31 ^{ns}	49,79
MUF	Vib. Long	$\hat{R} = -41,334 + 0,010*E_{d_{Long}}$	0,42*	10,29*	17,72
	Vib. Trans	$\hat{R} = 17,209 + 0,007*E_{d_{Trans}}$	0,63*	23,34*	14,30
	SW	$\hat{R} = -69,401 + 0,013*E_{d_{SW}}$	0,43*	10,47*	17,66
PVA	Vib. Long	$\hat{R} = -39,073 + 0,007*E_{d_{Long}}$	0,18 ^{ns}	3,02 ^{ns}	45,52
	Vib. Trans	$\hat{R} = -29,200 + 0,008*E_{d_{Trans}}$	0,33*	7,04*	40,95
	SW	$\hat{R} = -39,782 + 0,008*E_{d_{SW}}$	0,12 ^{ns}	1,93 ^{ns}	47,05
RF	Vib. Long	$\hat{R} = -26,076 + 0,008*E_{d_{Long}}$	0,62*	23,24*	12,90
	Vib. Trans	$\hat{R} = 33,446 + 0,006*E_{d_{Trans}}$	0,62*	23,30*	12,89
	SW	$\hat{R} = 14,685 + 0,007*E_{d_{SW}}$	0,19 ^{ns}	3,31 ^{ns}	18,92

*Modelo significativo em nível de 95% pelo teste F. ^{ns} Modelos não significativo em nível de 95% pelo teste F. EPI: emulsão de isocianato polimérico; MUF: melamina uréia formaldeído; PVAc: acetato de polivinílico *cross*; e RF: resorcinol formaldeído. \hat{R} : módulo de ruptura estimado; $E_{d_{long}}$: módulo de elasticidade dinâmico pelo método de vibração longitudinal; $E_{d_{trans}}$: módulo de elasticidade dinâmico pelo método de vibração transversal; $E_{d_{long}}$: módulo de elasticidade dinâmico utilizando o *stress wave timer*.

5. CONCLUSÕES

As espécies *D. giganteus* e *B. vulgaris* apresentaram, praticamente, a mesma contração nas direções tangenciais e radiais. O ponto de saturação das fibras para as duas espécies ficou em torno de 10 a 20% de umidade.

As densidades dos BLCs confeccionados com a espécie *D. giganteus* não tiveram influência do tipo de tratamento ou dos adesivos utilizados. O mesmo não ocorreu para aqueles BLCs produzidos com *B. vulgaris*, em que houve diferença entre a densidade em função do tipo de resina utilizada, em que, os BLCs de *B. vulgaris* aderidos com MUF ou RF demonstraram a maior densidade.

Os BLCs confeccionados com *B. vulgaris* demonstraram maior instabilidade dimensional que aqueles produzidos com o *D. giganteus*. Entretanto, MUF e RF conferiram maior estabilidade dimensional aos BLCs produzidos com ambas as espécies. Além disto, cabe ressaltar que os BLCs produzidos com taliscas de *D. giganteus* demonstraram maior estabilidade que os BLCs de *B. vulgaris*.

Apenas os BLCs aderidos com MUF e RF, de ambas as espécies, não ultrapassaram a delaminação exigida na norma. Ou seja, somente os BLCs colados com MUF e RF estão aptos para suportar as condições de intemperismo que ocorrem ambientes externos.

Os BLC de *D. giganteus* aderidos com RF e os BLCs de *B. vulgaris* aderidos com MUF e RF foram os que mais aproximaram a resistência ao cisalhamento de madeiras comumente utilizadas em móveis.

Tanto os BLCs de *D. giganteus* quanto o *B. vulgaris* unidos com EPI ou PVA e preservados em água ou em Timbor tiveram a menor falha no bambu, demonstrando a ineficiência dos adesivos na colagem dos bambus.

Na resistência à compressão axial, não houve influência no tipo de tratamento preservativo e no adesivo utilizado para os BLCs de ambas as espécies de bambu. Os valores de resistência foram tais que, os BLCs produzidos com as duas espécies podem substituir as madeiras comumente utilizadas na construção civil e peças navais.

O módulo de elasticidade dos BLCs de *D. giganteus* foi igual entre os adesivos, entretanto, foi maior para aqueles preservados em água. Já o módulo de elasticidade dos BLCs de *B. vulgaris*. foi maior para aqueles unidos com MUF e RF.

Para os BLCs produzidos com o bambu gigante, o método de *Stress Wave* demonstrou não ser indicado para estimar o módulo de elasticidade para os BLCs aderidos com EPI, MUF, PVA e RF.

Os métodos de vibrações longitudinal e transversal demonstraram possibilidade da estimação do MOE para os BLCs de *D. giganteus* para qualquer adesivo.

A técnica do *Stress Wave* demonstrou ser indicada para os BLCs de *B. vulgaris* aderidos com MUF e com PVA, mas os erros de estimação do módulo de elasticidade foram altos.

Os BLCs *B. vulgaris* aderidos com EPI, MUF e PVA tiveram alto erro de estimação no método de vibração longitudinal. Enquanto o método de vibração transversal para os mesmos BLCs, proporcionou o menor erro ao estimar o módulo de elasticidade dos BLCs aderidos com qualquer resina, demonstrando ser o mais recomendado.

O método de vibração transversal mostrou ser o melhor na estimação do módulo de elasticidade tanto para os BLCs confeccionados com *D. giganteus* quanto para os de *B. vulgaris*, proporcionando os menores erros e os maiores R².

Os três métodos não destrutivos utilizados nos BLCs de *D. giganteus* colados com EPI ou PVA não indicados para estimar o módulo de ruptura. Quanto aqueles BLCs aderidos com MUF, o único método não destrutivo que demonstrou equação possível para estimar o módulo foi o de vib. trans.

Dos ensaios não destrutivos utilizados nos BLCs de *B. vulgaris* e aderidos com EPI e PVA, o único que demonstrou estimação significativa foi o de vib. trans. Entretanto, para os BLCs unidos com MUF, todos os três métodos não destrutivos podem ser utilizados para estimar o módulo de ruptura. E para aqueles colados com RF, somente os métodos de vib. long e vib. trans. foram significativos.

Os BLCs confeccionados tanto com a espécie de *D. giganteus* quanto de *B. vulgaris* podem ser empregados para diversos fins que substituem a madeira, tais como, portas, janelas, esquadrias, parte interna e externa de móveis, vigas, colunas e cruzetas. Além disto, para o uso externo recomenda-seos BLCs aderidos MUF ou RF. Para aqueles BLCs destinados ao uso interno, pode ser utilizado BLCs aderidos com qualquer adesivo. Entretanto, para aquelas peças que necessitam de maior estabilidade dimensional, independente do uso, recomenda-se os BLCs de *D. giganteus* aderidos com MUF ou RF.

6. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL – ABDI. **Relatório de acompanhamento setorial indústria moveleira**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, v. 1, 2008. 28p.

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL –ABDI. **Panorama setorial madeira e móveis**. Brasília, 2009. 207p.

AMERICAN INSTITUTE OF TIMBER CONSTRUCTION. **AITC test T110**: cyclic delamination test. Centennial: 2007.3p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C-215**: standard test method for fundamental transverse, longitudinal and torsional frequencies of concrete specimens. Philadelphia, Annual Book of ASTM Standards, 2008.7p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-143**: standard test methods for small clear specimens of timber. Philadelphia, Annual Book of ASTM Standards, 2005. 31p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-5266**: standard Practice for estimating the percentage of wood failure in adhesive bonded joints. Philadelphia, Annual Book of ASTM Standards, 1999. 4p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E-1876**: standard test method for dynamic Young's modulus, shear modulus and Poisson's ratio by Impulse excitation of vibration. Philadelphia, Annual Book of ASTM Standards, 2007. 16p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7190**: projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF 2011, ano base 2010**. Brasília, 2011.

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

BRASIL. Casa Civil. Lei nº 12.484, de 08 de setembro de 2011. Dispõe sobre a política nacional de incentivo ao manejo sustentado e ao cultivo do bambu. **Diário oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 08 set. 2011. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2011/lei/l12484.htm>. Acesso em: 20 jan. 2013.

BRITO, F.M.S. **Efeito da termorreificação nas propriedades tecnológicas do bambu**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). 2013. 88f. Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2013.

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

CALIL JÚNIOR, C; MINÁ, A.J.S. Vibração transversal: um método eficiente para classificação de peças estruturais de madeira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.2, p.335-338, 2003.

CARNEIRO, A.C.O.; VITAL, B.R.; PEREIRA, F.A. Adesivos e sua importância na indústria madeireira. In: **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro II**. OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. (Eds.). Vitória: Gráfica Aquarius, p.99-128, 2007.

CARREIRA, M.R.; CANDIAN, M. Teste de um equipamento para classificação de peças estruturais de madeira pela técnica da vibração transversal. **Semina: Ciências Exatas e da Terra**, Londrina, v.29, n.1, p. 3-14, 2008.

CARREIRA, M. R.; SEGUNDINHO, P. G. A.; ROCCO LAHR, F. A.; DIAS, A. A.; CALIL JUNIOR, C. Bending stiffness evaluation of teca and guajará lumber through tests of transverse and longitudinal vibration. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 34, n. 1, p. 27-32, 2012.

CENTER FOR BAMBOO DEVELOPMENT – CBD. **Bamboo**: a wonder grass. 2003. Disponível em: <<http://www.bamboocomposites.com/resources.htm>>. Acesso em: 06 jun. 2012.

CENTRO DE INTELIGÊNCIA EM FLORESTAS – CIFlorestas. **Brasil tem déficit de 8,7 milhões de hectares de madeira**. Disponível em: <<http://www.ciflorestas.com.br/conteudo.php?id=825>>. Acesso em: 06 mar. 2012.

CHUI, Y. H.; BARCLAY, D. W.; COOPER, P. A. Evaluation of wood poles using a free vibration technique. **Journal of Testing and Evaluation**, Philadelphia, v. 27, n. 3, p. 191-195, 1999.

GARCIA, N. O antigo e o moderno se encontram no bambu. **Revista da Rede Brasileira do Bambu**, Brasília, n.1, p.18-19, 2010a.

GARCIA, N. País dá primeiros passos no uso industrial do bambu. **Revista da Rede Brasileira do Bambu**, Brasília, n.1, p.14-15, 2010b.

GHAVAMI, K.; MARINHO, A.B. **Determinação das propriedades dos bambus das espécies: *Mosó, Matake, Guadua angustifolia, Guadua tagoara e Dendrocalamus giganteus* para utilização na engenharia**. Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica, 2001. 53 p.

GNANAHARAN, R.; MOSTEIRO, A.P. **Local tools and equipment technologies for processing bamboo & rattan: an illustrated manual**. New Delhi: International Development Research Centre, 1997, 80p.

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

GONZAGA, A.L. **Madeira: uso e conservação**. Brasília: IPHAN, 2006.246p.

GORINI, A.P.F. **Panorama do setor moveleiro no Brasil, com ênfase na competitividade externa a partir do desenvolvimento da cadeia industrial de produtos sólidos de madeira**. Rio de Janeiro: BNDES, 2000.50p.

HALLIDAY, D; RESNICK, R. **Fundamentos de física: gravitação, ondas e termodinâmica**. 8. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, v. 2, 2009.330p.

INSTITUTO DE ESTUDOS E MARKETING INDUSTRIAL – IEMI. **Relatório setorial da indústria de móveis no Brasil**. São Paulo, v.1, n.1, 2006.150p.

ITAPAGÉ. **A matéria prima**. Disponível em: <http://www.itapage.com/html/materia_prima_p.htm>. Acesso em: 08 mar. 2013.

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

LEE, C.H.; CHUNG, N.J.; YANG, T.H. Effects of layered structure on the physical and mechanical properties of laminated moso bamboo (*Phyllosachys edulis*) flooring. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, n.28, p.31–35, 2012.

LEPAGE, E. S. Preservativos e sistemas preservativos. In: LEPAGE, E. S. (Coord.). **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: Instituto de Pesquisa Tecnológica, 1986. v. 1. p. 279-342.

LIMA, E. G. **Diagnóstico ambiental de empresas de móveis em madeira situadas no pólo moveleiro de Arapongas – PR**. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

LIMA JUNIOR, H. C.; DIAS, A. A. Vigas mistas de madeira de reflorestamento e bambu laminado colado: análise teórica e experimental. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.3, p.519-524, 2001.

LONDOÑO, X. Evaluation of bamboo resources in latinamerica. **International network for bamboo and rattan**, Beijing, n.35, 2001.30p.

MACEDO, A.R.P.; ROQUE, C.A.L.; LEITE, E.T. Produtos sólidos de madeira. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/conhecimento/bnset/madexpo.pdf>>. Acesso em: 11 out. 2012.

MANTILLA CARRASCO, E.V.; MOREIRA, L.E.; XAVIER, P.V. Bambu laminado colado. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 5., Belo Horizonte, 1995. **Anais ...** Belo Horizonte: UFMG, 1995, p. 411– 423.

MARÇAL, C.H. **Uso do bambu na construção civil**. 2008. 60f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal Brasília, Brasília, 2008.

MATTOS, R. L.; GONÇALVES, R. M.; CHAGAS, F. B. **Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas**. BNDES Setorial, v. 27, p. 121-156, 2008.

MOIZÉS, F.A. **Painéis de bambu, uso e aplicações: uma experiência didática nos cursos de Design em Bauru, São Paulo**. 2007. 116f. Dissertação (Mestrado em Desenho Industrial) – Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2007.

MORAES, M.A.F.D. **Estudo da competitividade de cadeiras integradas no Brasil: Impactos das zonas de livre comércio**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2002. 217p. (Nota Técnica).

NASCIMENTO, A.M.; XAVIER, L.M. Densidade básica retratibilidade volumétrica de *Dendrocalamus giganteus*, *Bambusa tuldoides*, *Bambusa vulgaris* e *Phyllostachys aurea*. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 13., Vitória, 2012. **Anais...** Vitória: UFES, 2012. CD ROM.

NOGUEIRA, C.L. **Painel de bambu laminado colado estrutural**. 2008. 94f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais). Universidade de São Paulo, Escola de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2008.

OBATAYA, E.; KITIN, P.; YAMAUCHI, H. Bending characteristics of bamboo (*Phyllostachys pubescens*) with respect to its fiber-foam composite structure. **Wood Science and Technology**, New York, n.41, p.385-400, 2007.

OLIVEIRA, A.K.F. **Caracterização físico-mecânica de laminado colado de bambu (*Dendrocalamus giganteus*) para revestimento de pisos**. 2005. 75f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, 2005.

OLIVEIRA, T.F.C.S. **Sustentabilidade e arquitetura: uma reflexão sobre o uso do bambu na construção civil**. 2006. 136f. Dissertação (Mestrado em Dinâmica do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006.

PAES, J.B.; OLIVEIRA, A.K.F.; LEAL, A.F.; NASCIMENTO, J.W.B. Caracterização e aspecto de um piso confeccionado com bambu

(*Dendrocalamus giganteus* Munro). **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 1, n. 1, p. 52-67, 2010.

PEREIRA, M.A.R.; SALGADO, M.H. Proyecto bambu: determinación de las características mecánicas de listones laminados del bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus*) cultivado en la Unesp de Bauru/SP/Brasil. In: SIMPOSIO LATINO AMERICANO DEL BAMBÚ, 3., Guayaquil. 2006. **Anais...** Guayaquil: Universidad Católica Santiago, 2006. CD ROM.

PIZZI, A. **Wood adhesives. Chemistry and Technolog.** New York: Marcel Dekker: v. 1.1983.436p.

PIZZI, A.; MITTAL, K.L. **Handbook of adhesive technology.** New York: Marcell Dekker, 1994. 680p.

QISHENG, Z.; SHENXUE, J; YONGYU, T. **Industrial utilization on bamboo.** Beijing: International network for bamboo and rattan, 2002. 212p. (Nota Técnica, 26)

RIVERO, L.A. **Laminado colado e contraplacado de bambu.** 2003. 83f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade de Campinas, Campinas, 2003.

RIVERO, L.A.; MORETON, P. S.; GOMES, C. E. Estrutura em bambu para área de uso público. **Complexus**, São Paulo, n.1, p.81-98, 2001.

ROSS, R.J.; PELLERIN, R.F **Nondestructive testing for assessing wood members in structures.** Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1994. 40 p.

RHEINISCH WESTFÄLISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE – RWTH. **Bamboo as a building material.** Aachen: University of Aachen, 2002. 16p.

SANTOS, R.L.; LOPES, J.D.S. **Construções com bambu:** opção de baixo custo. Viçosa: Centro de Produções Técnica, 1998. 40 p. (Série Construções Rurais, 160).

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL – SENAI. Futuro profissional. **Revista de divulgação do Senai**, Goiânia, v.8, n.38, p.10-11, 2001.

SEGUNDINHO, P.G.A. **Estudo das vibrações induzidas por pedestres em passarelas de madeira.** 2010. 160 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2010.

SEGUNDINHO, P.G.A; COSSOLINO L.C.; PEREIRA, A.H.A.; CALIL JUNIOR, C. Aplicação do método de ensaio das frequências naturais de vibração para

obtenção do módulo de elasticidade de peças estruturais de madeira. **Revista Árvore**, Viçosa, v.36, n.6, p.1155-1161, 2012.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H. **Principles and procedures of statistic: a biometrical approach**. 2. ed. New York: Mc Graw Hill, 1980. 633 p.

TARGA, L.A.; BALLARIN, A.W.; BIAGGIONI, M.A.M. Avaliação do módulo de elasticidade da madeira com uso de método não-destrutivo de vibração transversal. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.25, n.2, p.291-299, 2005.

TELES, R.F.; MENEZZI, C.S.D.; SOUZA, F.; SOUZA, M.R. Nondestructive evaluation of a tropical hardwood: interrelationship between methods and physical-acoustical variables. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v.2, n.1, p.01-14, 2011.

TIBURTINO, R.F. **Qualidade e eficiência do tratamento preservativo de duas espécies de bambu**. 2012. 106f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2012.

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, 1987.

VASCONCELLOS, R.M. **Info bambu – plantio e morfologia**. Disponível em: <<http://www.bambubrasileiro.com/>>. Acesso em: 14 mar. 2012.

VAZ, D. China: a civilização do bambu. **Revista da Rede Brasileira do Bambu**, Brasília, n.1, p.26-27, 2010.

VERMA, C.S.; CHARIAR, V.M. Development of layered laminate bamboo composite and their mechanical properties. **Composites**, New Delhi, v.43, p.1063–1069, 2012.

ZENID G. J. **Madeira: uso sustentável na construção civil**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2009. 100p.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Resumos das análises de variância para os ensaios mecânicos dos BLCs.

Tabela 1A. Quadrado médio das propriedades mecânicas das espécies *Dendrocalamus giganteus* e *Bambusa vulgaris*

F.V.	G.L.	Quadrado Médio					
		<i>D. giganteus</i>			<i>B. vulgaris</i>		
		T.C.	C.P.	F.E.	T.C.	C.P.	F.E.
Tratamento	1	1,6 x 10 ^{-4ns}	120,7 ^{ns}	1,6 x 10 ^{7*}	6,7 ^{ns}	1,0 ^{ns}	3,6 x 10 ^{7ns}
Adesivos	3	38,5*	152,8 ^{ns}	0,1 x 10 ^{7ns}	48,5*	140,3 ^{ns}	3,3 x 10 ^{7*}
Trat*Ades	3	12,8*	30,7 ^{ns}	0,1 x 10 ^{7ns}	1,2 ^{ns}	63,6 ^{ns}	1,3 x 10 ^{7ns}
Resíduo	56	0,5	61,0	0,2 x 10 ⁷	0,9	87,8	7,5 x 10 ⁶

T.C = tensão de cisalhamento; C.P. = compressão paralela; F.E. = flexão estática; F.V = fonte de variação; G.L = grau de liberdade; *significativo a 95% de probabilidade e ^{ns} = não significativo a 95% de probabilidade.

APÊNDICE B – Resumos das análises de variância dos ensaios de adesão.

Valores transformados em $\arcsen\sqrt{\%propriedadeavaliada}$.

Tabela 15B. Análise de variância de delaminação das espécies *Dendrocalamus giganteus* e *Bambusa vulgaris*

Fontes de Variação	Grau de Liberdade	<i>D. giganteus</i>	<i>B. vulgaris</i>
		Quadrado Médio	Quadrado Médio
Tratamentos	1	0,002 ^{ns}	0,0844*
Adesivos	3	1,5897*	1,7834*
Trat*Ades	3	0,0762 ^{ns}	0,5066*
Resíduo	120	0,0559	0,0178

*significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} = não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 2B. Análise de variância da falha na linha de cola para as espécies *Dendrocalamus giganteus* e *Bambusa vulgaris*

Fontes de Variação	Grau de Liberdade	<i>D. giganteus</i>	<i>B. vulgaris</i>
		Quadrado Médio	Quadrado Médio
Tratamentos	1	1,0686*	0,0984 ^{ns}
Adesivos	3	1,2771*	3,1497*
Trat*Ades	3	1,1316*	0,3373*
Resíduo	56	0,0536	0,0590

*significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} = não significativo a 5% de probabilidade.

APÊNDICE C – Resumos das análises de regressão linear para as duas espécies de bambu.

Tabela 16C. Valores dos quadrados médios dos MOE para as análises de regressão linear simples

Ades	F.V.	G.L.	Quadrado Médio					
			<i>D. giganteus</i>			<i>B. vulgaris</i>		
			Vib. Long	Vib. Trans.	SW	Vib. Long	Vib. Trans.	SW
EPI	Reg.	1	1,8x10 ^{7*}	2,7x10 ^{7*}	2,6x10 ^{6ns}	4,4x10 ^{6ns}	8,6x10 ^{7*}	5,7x10 ^{6ns}
	Res.	14	1,6x10 ⁶	1,0x10 ⁶	2,8x10 ⁶	6,0x10 ⁶	1,2x10 ⁵	5,9x10 ⁶
MUF	Reg.	1	1,2x10 ^{7*}	1,9x10 ^{7*}	2,1x10 ^{6ns}	4,4x10 ^{7*}	1,2x10 ^{8*}	7,3x10 ^{7*}
	Res.	14	9,2x10 ⁵	3,8x10 ⁵	1,6x10 ⁶	6,5x10 ⁶	1,2x10 ⁵	3,4x10 ⁶
PVA	Reg.	1	1,5x10 ⁷	2,7x10 ^{7*}	1,2x10 ^{7ns}	6,2x10 ^{7*}	1,2x10 ^{8*}	3,4x10 ^{7ns}
	Res.	14	2,3x10 ⁶	1,5x10 ⁶	2,6x10 ⁶	6,4x10 ⁶	2,2x10 ⁶	8,4x10 ⁵
RF	Reg.	1	3,7x10 ^{7*}	6,6x10 ^{7*}	2,6x10 ^{7ns}	1,1x10 ^{8*}	1,3x10 ^{8*}	8,0x10 ^{7*}
	Res.	14	2,1x10 ⁶	1,2x10 ⁵	2,9x10 ⁶	1,6x10 ⁸	3,4x10 ⁵	4,1x10 ⁶

F.V = fonte de variação; G.L = grau de liberdade; EPI = emulsão de isocianato polimérica; MUF = melamina uréia formaldeído; PVA = acetato de polivinílico; RF = resorcinol formaldeído; Reg = regressão; Res = resíduo; *significativo a 95% de probabilidade e ^{NS} = não significativo a 95% de probabilidade.

Tabela 2C. Valores dos quadrados médios dos MOR para as análises de regressão linear simples

Ades	F.V.	G.L.	Quadrado Médio					
			<i>D. giganteus</i>			<i>B. vulgaris</i>		
			Vib. Long	Vib. Trans.	SW	Vib. Long	Vib. Trans.	SW
EPI	Reg.	1	3,3x10 ^{2ns}	3,5x10 ^{3ns}	1,9x10 ^{2ns}	3,5x10 ^{2ns}	8,1x10 ^{3*}	3,7x10 ^{2ns}
	Res.	14	1,2x10 ³	1,0x10 ³	1,2x10 ³	1,2x10 ³	6,5x10 ²	1,2x10 ³
MUF	Reg.	1	6,6x10 ^{2ns}	2,5x10 ^{3*}	4,0x10 ^{1ns}	6,0x10 ^{3*}	8,8x10 ^{3*}	6,0x10 ^{3*}
	Res.	14	5,0x10 ²	3,7x10 ²	5,5x10 ²	5,8x10 ²	3,8x10 ²	5,9x10 ²
PVA	Reg.	1	1,6x10 ^{3ns}	2,6x10 ^{3ns}	2,9x10 ^{3ns}	3,7x10 ^{3ns}	7,0x10 ^{3*}	2,5x10 ^{3ns}
	Res.	14	1,0x10 ³	9,5x10 ²	9,2x10 ²	1,2x10 ³	9,9x10 ²	1,3x10 ³
RF	Reg.	1	2,9x10 ^{3*}	2,3x10 ^{3*}	2,6x10 ^{3*}	6,5x10 ^{3*}	6,5x10 ^{3*}	2,0x10 ^{3ns}
	Res.	14	2,5x10 ²	2,9x10 ²	2,7x10 ²	2,8x10 ²	2,8x10 ²	6,1x10 ²

F.V = fonte de variação; G.L = grau de liberdade; EPI = emulsão de isocianato polimérica; MUF = melamina uréia formaldeído; PVA = acetato de polivinílico; RF = resorcinol formaldeído; Reg = regressão; Res = resíduo; *significativo a 95% de probabilidade e ^{NS} = não significativo a 95% de probabilidade.