

Efeitos do tratamento preservativo e adesivo nas características mecânicas do laminado colado de duas espécies de bambu

Effects of preservative treatment and the adhesive on mechanical characteristics of laminated lumber of two bamboo species

Rafael Amorim Rosa¹, Juarez Benigno Paes², Pedro Gutemberg de Alcântara Segundinho², Graziela Baptista Vidaurre² e Fabricio Gomes Gonçalves²**Resumo**

Este trabalho objetivou avaliar as propriedades mecânicas de laminados colados de bambu (BLCs), produzidos com duas espécies, em razão dos fatores tratamento preservativo e adesivo utilizados. Foram produzidas ripas originárias de bambus das espécies *Dendrocalamus giganteus* e *Bambusa vulgaris*, com idade superior a três anos. Uma parte das ripas foi imersa em água e a outra em solução de octaborato de dissódio tetra hidratado ($\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ – Timbor), a 2%, ambos os tratamentos efetuados durante 15 dias. Depois de tratadas e secas ao ar, as ripas foram transformadas em lâminas com dimensões de 5 x 30 x 470 mm (espessura x largura x comprimento) e empregadas na confecção dos BLCs. 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 BLCs foram avaliados por meio da compressão paralela, resistência na linha de cola e flexão estática. A resistência à flexão estática foi avaliada por meio da aplicação de métodos destrutivos e não destrutivos. Os métodos não destrutivos utilizados para estimar o módulo de elasticidade e de ruptura dos BLCs foram o *Stress Wave* - SW, vibração longitudinal - V_L e vibração transversal - V_T . Os métodos de V_L e V_T demonstraram-se eficazes para a estimativa do MOE dos BLCs confeccionados. Já para a estimativa do MOR, o método de V_T demonstrou ser o melhor método. De modo geral, a resistência dos BLCs não foi influenciada pelo tratamento preservativo, tendo os adesivos MUF e RF apresentado um melhor desempenho.

Palavras-chave: *Dendrocalamus giganteus*, *Bambusa vulgaris*, propriedades mecânicas, ensaios não destrutivos.

Abstract

This work aimed to evaluate the mechanical properties of laminated bamboo lumber - LBL manufactured of two bamboo species, according to the preservative treatment and the adhesive employed. Laths of *Dendrocalamus giganteus* and *Bambusa vulgaris* bamboos aged more than three-years old were produced. Bamboo laths were soaked in water or in solution of disodium octaborate tetra hydrate ($\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$) - Timbor, to 2%. Both treatments ran for 15 days. After treated and air seasoned, the laths were transformed into 5 x 30 x 470 mm (thickness x width x length) blades and employed in the manufacture of LBLs. Isocyanate emulsion (EPI), melamine urea formaldehyde (MUF), polyvinyl acetate cross (PVAc) and resorcinol formaldehyde (RF) were employed. LBLs were evaluated for compressive strength parallel to fibers, resistance in the glue line and static bending. Static bending was evaluated by destructive and non-destructive testing methods. The non-destructive methods used to estimate the modulus of elasticity of LBLs were Stress Wave – SW, longitudinal vibration - V_L and transverse vibration - V_T . The methods of V_L and V_T were efficient for the estimation of the modulus of elasticity (MOE) for the manufactured LBLs. To estimate of the modulus of rupture (MOR), the method of V_T was the best method. In general, the resistance of the LBLs was not influenced by the preservative treatment; adhesives MUF and RF showed better performance.

Keywords: *Dendrocalamus giganteus*, *Bambusa vulgaris*, mechanical properties, non-destructive testing.

¹Mestre. UFES - Universidade Federal do Espírito Santo. Caixa Postal 16 - 29550-000 - Jerônimo Monteiro, ES. E-mail: rafaelrosa.001@gmail.com

²Professor(a) Doutor(a) do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira UFES - Universidade Federal do Espírito Santo. Caixa Postal 16 - 29550-000 - Jerônimo Monteiro, ES. E-mail: jbp2@uol.com.br; p_gutemberg2001@yahoo.com.br; grazividaurre@gmail.com; fabriciogomes@ibest.com.br

INTRODUÇÃO

O bambu é um composto natural lignocelulósico de baixa massa específica, alta resistência mecânica, fácil manuseio, rápido crescimento e grande disponibilidade, o que torna propícia sua utilização, como elemento estrutural à medida que atinge a idade adulta. No entanto, por causa da sua constituição fibrosa e rica em materiais nutritivos, como o amido, os bambus são atacados por organismos xilófagos, principalmente pela broca do bambu (*Dinoderus minutus*). Isto exige que sejam realizados tratamentos, utilizando-se substâncias preservativas, a fim de seja alcançada uma boa durabilidade em serviço (TIBURTINO, 2012).

O colmo de um bambu é oco, portanto para seu emprego como matéria-prima de indústrias de pisos, móveis e painéis decorativos é necessária sua transformação em ripas e, posteriormente, por meio da remoção das camadas externas e internas das mesmas, são obtidas lâminas conhecidas como taliscas que, com o emprego de metodologias desenvolvidas para a fabricação de madeira laminada colada podem ser obtidos vários tipos de painéis laminados.

Para a confecção dos painéis laminados são empregados adesivos. 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 definidos como materiais que possuem mobilidade molecular para proporcionar contato entre superfícies por meio de forças de interação intermoleculares (CARNEIRO et al., 2007).

Dentre os painéis produzidos com bambu, aquele conhecido internacionalmente como *laminated bamboo lumber* (LBL) ou bambu laminado colado (BLC) é o que tem sua tecnologia de produção mais difundida. De acordo com Rivero (2003), a produção do BLC teve início na China em decorrência da demanda de materiais destinados à construção civil, consequência da abertura econômica ocorrida naquele país por volta de 1980.

Em consequência de suas características físico mecânicas e espessura da parede dos colmos, as espécies de bambu mais utilizadas para a produção do BLC são o *Dendrocalamus giganteus*, *Bambusa vulgaris*, *Guadua angustifolia*, *Gigantochloa apus*, *Phyllostachys pubescens* e *Dendrocalamus latiflorus*, que podem ser plantadas e exploradas comercialmente nas Regiões Sudeste, Sul, Centro Oeste e Norte do Brasil (MOIZÉS, 2007).

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. Os ensaios destrutivos são rigorosos, pois devem seguir normas nacionais ou internacionais, que determinam 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 (ROSA, 2013).

Já os não destrutivos permitem a estimativa de propriedades da madeira e subprodutos, com maior rapidez da informação e sem alterar a característica estrutural e consequente emprego final do material (STANGERLIN et al., 2010; STANGERLIN, 2012). Além disto, possuem a vantagem de usarem equipamentos portáteis, os dados são obtidos em pouco tempo, não exige a necessidade de usinagem de amostras e, consequentemente, evita-se a produção de resíduos. Entretanto, a precisão dos dados e a influência dos defeitos da madeira e da umidade nos resultados são pontos de questionamentos (ROSA, 2013).

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 ultrassom, 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).

Em razão das premissas levantadas e considerando a importância do bambu para os mais variados fins, este trabalho objetivou avaliar as propriedades mecânicas de laminados colados de duas espécies de bambu (BLCs) em razão dos fatores tratamento preservativo e adesivo utilizados.

MATERIAL E MÉTODOS

Espécies, procedência e coleta dos bambus

Foram coletados bambus das espécies *Bambusa vulgaris* (Schrad. Ex J.C. Wendl.), conhecido por bambu vulgar e *Dendrocalamus giganteus* Munro, denominado bambu gigante, com idade superior a três anos, em touceiras que ocorrem no município de Jerônimo Monteiro, Sul do Estado do Espírito Santo. As coordenadas geográficas em que

ocorreram a colheita dos bambus das espécies *Bambusa vulgaris* e *Dendrocalamus giganteus* foram 20° 48' 27,75"S, 41° 24' 38,76"O e 20° 46' 8,69"S, longitude 41° 22' 14,27"O, respectivamente.

Os cortes dos bambu foram realizados a 20 cm do solo (logo acima de um dos nós), como indicado por Santos e Lopes (1998). Foram retirados, em média, sete indivíduos para cada espécie. Os colmos de *Bambusa vulgaris* possuíam, em média, 36,8 cm de diâmetro a altura do peito (DAP; 1,30 m), 0,9 cm de espessura de parede e altura total de 20 m. Os colmos de *Dendrocalamus giganteus* tinham, em média, 39,6 cm de DAP, 1,3 cm de espessura de parede e altura total de 39,6 m.

Tratamento preservativo dos colmos

Uma parte dos colmos recebeu tratamento preservativo pela imersão prolongada em água e a outra em octaborato de dissódio tetrahidratado ($\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$), a 2%. A solução é conhecida popularmente como Timbor, é constituída pela reação do ácido bórico (H_3BO_3) com o borato de sódio ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7\cdot 10\text{H}_2\text{O}$ - Bórax) 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 revestidos com lona plástica. Os tanques possuíam dimensões de 53,7 x 40,0 x 200,0 cm (altura x largura x comprimento). 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 mesma a cada dois dias por causa da fermentação do amido lixiviado pela água (OLIVEIRA, 2005). Já o tanque com Timbor foi preenchido com 340 L de água. Foram empregados 5,24 kg de "Bórax" e 3,40 kg de ácido bórico a fim de atender a proporção citada por Lepage (1986).

Confecção e secagem das lâminas

Para a usinagem das taliscas foi seguida a metodologia empregada Oliveira (2005); Brito (2013). Primeiramente, foi ajustada a largura das lâminas em uma serra circular e, em seguida, as lâminas brutas foram passadas em uma plaina desempenadeira para a retirada da face interna. Por fim, utilizou-se novamente a serra circular citada para a retirada da face externa. Sendo obtidas lâminas com dimensões de 5 x 30 x 470 mm (espessura x largura x comprimento).

A retirada das camadas internas e externas se justifica em razão da propriedade impermeabilizante que possuem o que pode prejudicar a penetração dos adesivos. As camadas internas e externas das taliscas foram identificadas para que, na montagem dos painéis de bambu laminado colado (BLC) não ficassem justapostas camada externa com externa ou camada interna com interna do bambu, pois isto poderia provocar ruptura em região de menor resistência (camada interna com interna).

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, no terceiro de 80 °C e no quarto e quinto dias de 103 ± 2 °C. Depois de secas, as taliscas permaneceram durante 72 h em um ambiente climatizado (20 ± 2 °C de temperatura e $65 \pm 5\%$ de umidade relativa) até obterem massa constante.

Adesivos utilizados na produção dos BLCs

As taliscas foram aderidas com adesivos à base de emulsão de isocianato polimérico (EPI), melamina uréia formaldeído (MUF), acetato de polivinílico *cross* (PVAc) e resorcinol formaldeído (RF) os quais são normalmente empregados para colagem de laminados de madeira, e prensadas à temperatura ambiente em uma prensa hidráulica a uma pressão de 1,0 MPa, dando origem aos BLCs. Para a confecção dos BLCs foram empregadas quatro taliscas, tendo sido realizadas três linhas de colagem para cada adesivo e espécie de bambu utilizada. Após a prensagem, os BLCs foram climatizados por 24 h, nas condições já citadas e confeccionados os corpos de prova necessários à caracterização mecânica do laminado colado.

O adesivo RF empregado foi o "Cascophen-RS126-M", que é bi componente e o endurecedor FM-60-M. Na colagem das lâminas, foi utilizada a gramatura de 400 g.m⁻² e tempo de prensagem de 7 h. O PVAc utilizado foi o 9595, que é uma cola mono componente à base de polivinil acetato cross-linkado. Na colagem foi utilizada a gramatura de 150 g.m⁻² e tempo de prensagem de 3 h. O EPI utilizado foi o 1911 com o catalizador 1999. Para a colagem, utilizou-se a gramatura de 225 g.m⁻² e tempo de prensagem de 1 h. A resina MUF empregada foi a 1242 misturada ao endurecedor 2542. Foi utilizada a gramatura de 425 g.m⁻² e tempo de prensagem de 3 h.

Ensaio não destrutivo e destrutivo para avaliação física e mecânica do BLC

Os corpos de prova para o ensaio de cisalhamento na linha de cola 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, conforme descrito pela *American Society for Testing and Materials* – ASTM (1999).

Os corpos de prova destinados aos ensaios de compressão paralela e de flexão estática foram preparados de acordo com a Norma Brasileira Regulamentadora – NBR 7190 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1997), com seus tamanhos reduzidos em decorrência das dimensões dos BLCs. Nas amostras destinadas ao ensaio de flexão estática foram realizados os ensaios não destrutivos (ND) de vibração longitudinal (V_L), vibração transversal (V_T) e *stress wave* (SW). Por meio destes foram avaliados os módulos de elasticidade (MOE), módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade dinâmico (E_d).

Vibração longitudinal (V_L)

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 $0,224 * L$ (comprimento da amostra). Com um auxílio de um microfone, são captadas as vibrações dos impactos gerados pela batida de um martelo adequado para este ensaio.

O impacto deve ser realizado na direção paralela às fibras do bambu e o microfone deve ser posicionado também nesta direção, mas na outra extremidade do corpo de prova. As vibrações foram transformadas em frequências por meio do *software Fast Fourier Vibration Analyzer* – *FFT Analyzer (Fakopp Enterprise)*. O módulo de elasticidade dinâmico longitudinal foi obtido de acordo com as normas ASTM (2007) e ASTM (2008), conforme Equação 1.

$$Ed_L = 4 \times \left(\frac{m \times f_1^2}{b} \right) \frac{l}{h} \quad (1)$$

em que:

Ed_L = Módulo de elasticidade dinâmico pelo método de V_L (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).

Vibração transversal (V_T)

Assim como no método de V_L este também consiste em suspender os corpos de provas sobre fios de elastômero. A diferença entre os métodos encontra-se na forma segundo a qual é aplicado o impacto, que neste caso, deve ser realizado na direção perpendicular às fibras do bambu e o microfone deve ser posicionado também nesta direção, na outra extremidade do corpo de prova e no sentido oposto ao impacto.

As vibrações também foram transformadas em frequências por meio do *software FFT Analyzer*. O módulo de elasticidade dinâmico transversal foi obtido de acordo com a ASTM (2007) e ASTM (2008), Equação 2.

$$Ed_T = \frac{f_T^2 \times W \times L^3}{2,46 \times I \times g} \quad (2)$$

em que:

Ed_T = Módulo de elasticidade dinâmico pelo método de V_T (MPa); f_T = Frequência de vibração transversal (Hz); W = Peso do BLC (N); L = Distância entre apoios (m); I = Momento de inércia (m^4); e g = Aceleração da gravidade ($9,8 \text{ m.s}^{-2}$).

Stress wave (SW)

Para aplicação desse método, foi utilizado o equipamento conhecido como *Stress Wave Timer 239 A*, que fornece o tempo que a onda de tensão gasta para percorrer o comprimento da amostra. A partir desse tempo, foi calculado o módulo de elasticidade dinâmico (E_{sw}) por meio da Equação 3.

$$E_{sw} = \left(\frac{L}{t} \right)^2 \times \frac{D}{g} \times 10^{-5} \quad (3)$$

em que:

E_{sw} = 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}); e g = Aceleração da gravidade (m.s^{-2}).

Análise estatística e avaliação dos resultados

Para a avaliação das características mecânicas dos BLCs foi empregado o delineamento inteiramente casualizado (DIC), com arranjo fatorial, em que foram analisados os efeitos dos fatores tratamento preservativo (Timbor e água); e adesivo empregado (EPI; MUF; PVAc e RF) nas propriedades de resistência dos BLCs produzidos com duas espécies de bambu. Em caso de significância pelo teste de $F(p \leq 0,05)$ as intera-

ções foram desdobradas e aplicou-se o teste de Tukey ($p \leq 0,05$) para a comparação entre médias. Foram utilizadas oito repetições para cada tratamento preservativo e adesivos para ambas espécies de bambu avaliadas.

Para testar o percentual de falhas no bambu dos BLC foi necessário normalizar a distribuição dos dados pela transformação $\arcsen\left(\sqrt{\frac{\text{propriedade avaliada}}{100}}\right)$, sugerida por Steel e Torrie (1980).

Para verificar a diferença entre os métodos não destrutivos e destrutivo, foi realizada a análise de regressão linear simples e calculado o coeficiente de correlação de Pearson. Todos os modelos foram testados pelo teste de F ($p \leq 0,05$) e 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.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Resistência ao cisalhamento

Na Tabela 1, pode-se observar a tensão de cisalhamento para cada espécie de bambu de acordo com os tratamentos e adesivos empregados. Para os BCLs confeccionados com *D. giganteus*, a interação dos fatores tratamento preservativo e adesivo foi significativa pelo teste F ($p \leq 0,05$); a interação foi desdobrada e as médias comparadas pelo teste de Tukey que indicou ser a tensão de cisalhamento entre os tratamentos preservativos, para um mesmo adesivo, estatisticamente diferentes. Para o adesivo EPI, a média foi maior para os bambus tratados em água. Para os adesivos MUF e RF, foi maior para os tratados em Timbor. E para o adesivo PVA, não houve diferença entre os tratamentos (água ou Timbor).

Observou-se que as médias da tensão de cisalhamento entre os adesivos, para um mesmo tratamento foram diferentes estatisticamente. Assim, os BLCs de *D. giganteus* produzidos com as lâminas tratadas em água e coladas com os adesivos EPI e RF, demonstraram ser mais resistentes. Já aquelas aderidas com o MUF, tiveram a segunda maior resistência e para o PVA, a menor delas. Para os BLCs que continham lâminas tratadas com Timbor, aqueles colados com RF foram mais resistentes. Os aderidos com MUF também propiciaram 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, com a menor média, igualando-se aos aderidos com PVA.

Não foi detectada interação significativa pelo teste de F ($p > 0,05$) entre os fatores tratamentos e adesivos para o *B. vulgaris*. Para os tratamentos preservativos observaram-se que, os BLCs confeccionados com lâminas tratadas com água foram mais resistentes que as tratadas com Timbor (Tabela 1). Já para os adesivos, os BLCs do *B. vulgaris* colados com MUF e RF tiveram maior tensão de cisalhamento, seguidos daqueles aderidos com PVA e EPI. A maior resistência obtida para os BLCs, confeccionados com ripas tratadas em água pode estar relacionado com a lixiviação do amido, permitindo melhor união entre as lâminas e o adesivo empregado.

Brito (2013) confeccionou BLCs com bambu gigante com aproximadamente três anos de idade, tratados por imersão prolongada em água com duração de 15 dias, e lâminas com 5 x 35 x 450 mm (espessura x largura x comprimento), em que foram utilizados 300 g.m⁻² em linha dupla, para os adesivos PVAc e RF, pressão de 1,3 MPa durante 6 h e quatro lâminas para três linhas de colagem. Para os BLCs unidos com PVAc, foi observado uma resistência de 5,9 MPa

Tabela 1. Tensão de cisalhamento dos BLCs de bambu *D. giganteus* e de *B. vulgaris* para adesivos e tratamentos preservativos.

Table 1. Shear stress of laminated bamboo - LBL of *D. giganteus* and *B. vulgaris* according adhesives and preservative treatments.

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 maiúscula nas linhas ou minúscula nas colunas, para uma mesma espécie de bambu, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Em que: EPI = emulsão de isocianato polimérico; MUF = melamina ureia formaldeído; PVAc = acetato de polivinílico cross; e RF = resorcinol formaldeído.

e com RF de 5,6 MPa. Para as duas situações, os valores de resistência foram superiores aos encontrados nesta pesquisa.

Paes et al. (2009) utilizaram bambu gigante com idade entre três e cinco anos, tratados em água durante 15 dias, para produzir BLCs com cinco taliscas nas dimensões de 4 x 50 x 450 mm (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 3 h. Os BLCs unidos com PVA demonstraram resistência ao cisalhamento de 2,26 MPa e os BLCs aderidos com RF de 3,14 MPa. Estes valores foram inferiores aos encontrados nesta pesquisa.

Beraldo e Rivero (2003) utilizaram bambu gigante com cinco anos de idade para produzir taliscas de 20 x 30 x 300 mm (espessura, largura e comprimento) aderidas com RF. Na montagem dos BLCs foram utilizadas três taliscas, pressão de 2 MPa e tempo de prensagem de 24 h. Os autores verificaram que os BLCs tiveram resistência ao cisalhamento de 4,6MPa. Este valor foi semelhante aos encontrados neste trabalho.

Segundo os mesmos autores para o BLC de *B. vulgaris* confeccionados com quatro lâminas de 10 x 30 x 300 mm (espessura x largura x comprimento) aderidas com RF, para pressão e tempo de prensagem iguais aos utilizados para os BLCs de bambu gigante, foram encontradas resistência de 2,2 MPa, sendo inferior aos valores obtidos na presente pesquisa.

Falha na linha de colados BLCs

As interações dos fatores tratamento e adesivo para as duas espécies de bambu foram significativos pelo teste F ($p \leq 0,05$). Procederam-se as análises de médias pelo teste de Tukey (Tabela 2), em que é demonstrada a porcentagem de falha no bambu para cada espécie, tratamentos e adesivos empregados.

Ao observar o efeito de cada adesivo dentro dos tratamentos, verificou-se que os BLCs de *D. giganteus* tratados com água e aderidos com PVA obtiveram a menor porcentagem de falha no bambu (5,69%), demonstrando a ineficiência estrutural do adesivo, visto que o ideal é a falha ser próxima de 100%, pois o adesivo deve ter maior resistência que o material a ser colado. Verifica-se para os BLCs colados com MUF 13,19% de falha, seguidos dos aderidos com EPI e com RF. O RF proporcionou a maior falha no bambu, dentre as lâminas tratadas com água (43,63%).

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

Ao observar o efeito dos adesivos em cada tratamento (Tabela 2), verificou-se que, os BLCs de *D. giganteus*, colados com EPI e PVA apresentaram médias semelhantes. Entretanto, para os aderidos com MUF e RF, aqueles tratados com Timbor obtiveram a maior falha no bambu quando comparados àqueles tratados em água, 82,38 e 13,19% para MUF e 66,39 e 43,63% para o RF, respectivamente.

Ao verificar o efeito do fator adesivo nos tratamentos, notou-se que os BLCs de *B. vulgaris*, tratados com água e colados com MUF e RF exibiram médias semelhantes. Já aqueles aderidos com EPI e PVA apresentaram a maior diferença entre médias. Para os BLCs de bambu vulgar tratados com Timbor, os aderidos com EPI e PVA atingiram a maior diferença entre médias, seguido dos aderidos com RF e com MUF, que apresentaram a maior média.

Ao analisar o efeito de cada tratamento nos adesivos, para os BLCs produzidos com *B. vul-*

Tabela 2. Porcentagem média de falha na linha de cola do bambu *D. giganteus* e de *B. vulgaris* para adesivos e tratamentos preservativos.

Table 2. Mean percentage of failure in bamboo glue line of *D. giganteus* and *B. vulgaris* according adhesives and preservative treatments.

Espécie	Adesivos/Falha no bambu (%)					Média
	Tratamento	EPI	MUF	PVA	RF	
<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 maiúscula nas linhas ou minúscula nas colunas, para uma mesma espécie de bambu, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Em que: EPI = emulsão de isocianato polimérico; MUF = melamina ureia formaldeído; PVAc = acetato de polivinílico cross; e RF = resorcinol formaldeído.

gar, notou-se que, aqueles aderidos com EPI e PVA não obtiveram diferença entre falhas em ambos os tratamentos. Contudo, os BLCs colados com MUF e tratados com Timbor atingiram menor porcentagem de falha no bambu que os tratados com água. Porém, aqueles aderidos com RF apresentaram comportamento diferente, em que a média de falha no bambu foi maior para aqueles tratados em água.

Em resumo, independentemente da espécie e dos tratamentos preservativos, os BLCs aderidos com EPI e PVA proporcionaram a obtenção de menor média de porcentagem de falhas no bambu, o que caracteriza a ineficiência de adesão de ambas as resinas empregadas na colagem das lâminas de bambu.

Compressão paralela dos BLCs

Não houve interação significativa pelo teste F ($p > 0,05$) para os fatores tratamento e adesivo para ambas as espécies. Os valores médios da resistência à compressão paralela foram em torno de 59 MPa para os BLCs de *D. giganteus* e de 70 MPa para os de *B. vulgaris* (Tabela 3).

Segundo Brito (2013), para os BLCs de *D. giganteus* unidos com PVAc, foi observada uma resistência de 63,22 MPa e com RF de 77,43 MPa. Para ambos adesivos, os valores de resistência foram superiores aos obtidos nesta pesquisa. No entanto, Paes et al. (2009) obtiveram resistência à compressão paralela entre 35 e 40 MPa, para os BLCs de *D. giganteus*, valores estes inferiores aos encontrados nesta pesquisa.

Beraldo e Rivero (2003) para taliscas de *D. giganteus* tratadas durante sete dias em água e aderidas com RF obtiveram resistência à compressão axial de 38 MPa. Os mesmos autores também utilizaram *B. vulgaris* tratado em água para produzir BLC com taliscas aderidas com RF e constataram resistência à compressão axial de 46,2 MPa. Para ambas espécies os valores foram inferiores aos obtidos nesta pesquisa.

Flexão estática dos BLCs

Na Tabela 4, consta o módulo de elasticidade estático (MOE) do BLC obtido para cada espécie de bambu por tratamentos e de acordo com os tipos de adesivos empregados. Observa-se

Tabela 3. Resistência a compressão paralela dos BLCs de bambu *D. giganteus* e de *B. vulgaris* para adesivos e tratamentos preservativos.

Table 3. Parallel compression resistance to the laminated bamboo - LBL of *D. giganteus* and *B. vulgaris* according adhesives and preservative treatments.

Espécie	Adesivos/Compressão paralela (MPa)					Média
	Tratamento	EPI	MUF	PVA	RF	
<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 maiúscula nas linhas ou minúscula nas colunas, para uma mesma espécie de bambu, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Em que: EPI = emulsão de isocianato polimérico; MUF = melamina ureia formaldeído; PVAc = acetato de polivinílico cross; e RF = resorcinol formaldeído.

Tabela 4. Módulo de elasticidade médio para os BLCs de bambu *D. giganteus* e de *B. vulgaris* para adesivos e tratamentos preservativos.

Table 4. Mean modulus of elasticity of the laminated bamboo - LBL of *D. giganteus* and *B. vulgaris* according adhesives and preservative treatments.

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 maiúscula nas linhas ou minúscula nas colunas, para uma mesma espécie de bambu, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Em que: EPI = emulsão de isocianato polimérico; MUF = melamina ureia formaldeído; PVAc = acetato de polivinílico cross; e RF = resorcinol formaldeído.

que os diferentes adesivos não proporcionaram diferença significativa F ($p > 0,05$) nos valores dos MOE para o *D. giganteus*. Já o efeito dos tratamentos preservativos foi significativo F ($p \leq 0,05$), tendo os BLCs tratados em água obtidos a maior resistência. Tendo a interação entre os fatores sido não significativa, F ($p > 0,05$).

Notou-se que os tratamentos preservativos também foram significativos, F ($p \leq 0,05$), para os BLCs de *B. vulgaris* em que as médias dos BLCs tratados em água foram mais elevadas que aqueles tratados com Timbor. O efeito dos adesivos foi significativo F ($p \leq 0,05$), para os BLCs confeccionados e observou-se que os BLCs aderidos com MUF e RF obtiveram os maiores MOEs, sendo seguido pelos BLCs colados com EPI, enquanto para os BLCs aderidos com o PVA, constatou-se média inferior aos aderidos com MUF e RF.

Para BLCs unidos com PVAc, Brito (2013) obteve MOE de 11.936 MPa e com RF de 11.656 MPa. Paes et al. (2009) obtiveram MOE de 6.340 MPa para os BLCs aderidos com PVA e para aque-

les unidos com RF, MOE de 9.600 MPa. Beraldo e Rivero (2003) verificaram que os BLCs aderidos com RF atingiram MOE de 5.500 MPa. Já para os BLCs de *B. vulgaris*, obtiveram MOE de 4.000 MPa. Todos os valores citados foram inferiores aos obtidos nesta pesquisa. As diferenças entre os valores obtidos podem estar relacionadas a irregularidades nas lâminas, pressão e tempo de prensagem, gramatura, acúmulo de adesivo e espessuras diferente das lâminas (ROSA, 2013).

Módulo de elasticidade estático estimado por métodos não destrutivos

Na Tabela 5, são apresentadas as equações de regressão ajustadas para os BLCs de *D. giganteus* para cada adesivo e para os métodos não destrutivos (ND) realizados. Nota-se que três dos modelos ajustados foram não significativos, F ($p > 0,05$), e o módulo de elasticidade estático estimado (\hat{E}) não pôde ser obtido. Assim, o método do *Stress Wave* não foi adequado para estimar o \hat{E} de BLCs aderidos com EPI, MUF e PVA.

Tabela 5. Equações de regressão linear ajustadas para estimar o módulo de elasticidade (\hat{E}) dos BLCs de *D. giganteus* e de *B. vulgaris* para cada adesivo.

Table 5. Adjusted linear regression equations for estimating the modulus of elasticity (\hat{E}) of the laminated bamboo – LBL of *D. giganteus* and *B. vulgaris* for each adhesive.

<i>Dendrocalamus giganteus</i>					
Adesivo	Método	Equação ajustada	R ²	Fcal	Sy _x (%)
EPI	V _L	$\hat{E} = 0,818 \times Ed_{VL} - 652,599$	0,45*	11,55*	9,16
	V _T	$\hat{E} = 0,726 \times Ed_{VT} + 2622,315$	0,65*	25,88*	7,33
	SW	$\hat{E} = 0,329 \times Ed_{SW} + 9242,227$	0,06 ^{ns}	0,94 ^{ns}	11,97
MUF	V _L	$\hat{E} = 0,758 \times Ed_{VL} + 1155,025$	0,48*	13,03*	6,81
	V _T	$\hat{E} = 0,796 \times Ed_{VT} + 1527,910$	0,78*	50,69*	4,40
	SW	$\hat{E} = 0,345 \times Ed_{SW} + 9460,319$	0,08 ^{ns}	1,27 ^{ns}	9,06
PVA	V _L	$\hat{E} = 0,569 \times Ed_{VL} + 3561,862$	0,32*	6,50*	11,31
	V _T	$\hat{E} = 0,576 \times Ed_{VT} + 4606,841$	0,56*	17,59*	9,12
	SW	$\hat{E} = 0,471 \times Ed_{SW} + 7064,937$	0,25 ^{ns}	4,58 ^{ns}	11,88
RF	V _L	$\hat{E} = 1,071 \times Ed_{VL} - 4313,716$	0,56*	17,58*	10,18
	V _T	$\hat{E} = 0,958 \times Ed_{VT} - 823,906$	0,97*	508,60*	2,50
	SW	$\hat{E} = 1,010 \times Ed_{SW} + 196,568$	0,39*	9,11*	11,90
<i>Bambusa vulgaris</i>					
Adesivo	Método	Equação ajustada	R ²	Fcal	Sy _x (%)
EPI	V _L	$\hat{E} = 0,415 \times Ed_{VL} + 5425,432$	0,05	0,73 ^{ns}	19,57
	V _T	$\hat{E} = 0,823 \times Ed_{VT} + 792,615$	0,98	674,60*	2,86
	SW	$\hat{E} = 0,552 \times Ed_{SW} + 4588,891$	0,06	0,97 ^{ns}	19,41
MUF	Vib. Long.	$\hat{E} = 0,836 \times Ed_{VL} - 624,141$	0,36	7,99*	18,76
	Vib. Trans.	$\hat{E} = 0,855 \times Ed_{VT} + 712,262$	0,99	1983,00*	1,97
	SW	$\hat{E} = 1,474 \times Ed_{SW} - 8017,968$	0,60	21,37*	14,80
PVA	V _L	$\hat{E} = 0,899 \times Ed_{VL} - 3309,064$	0,41	9,74*	20,29
	V _T	$\hat{E} = 1,024 \times Ed_{VT} - 2231,894$	0,80	54,75*	11,92
	SW	$\hat{E} = 0,987 \times Ed_{SW} - 1777,637$	0,22	4,04 ^{ns}	23,28
RF	V _L	$\hat{E} = 1,148 \times Ed_{VL} - 6216,950$	0,84	71,57*	10,16
	V _T	$\hat{E} = 0,849 \times Ed_{VT} + 742,095$	0,97	385,80*	4,70
	SW	$\hat{E} = 1,561 \times Ed_{SW} - 8494,965$	0,58	19,13*	16,34

Em que: * significativo ($p \geq 0,05$) e ^{ns} não significativo pelo teste F ($p > 0,05$); EPI = emulsão de isocianato polimérico; MUF = melamina ureia formaldeído; PVAc = acetato de polivinílico cross; e RF = resorcinol formaldeído; \hat{E} = módulo de elasticidade estático estimado; Ed_{VL} = módulo de elasticidade dinâmico pelo método de vibração longitudinal; Ed_{VT} = módulo de elasticidade dinâmico pelo método de vibração transversal; Ed_{SW} = módulo de elasticidade dinâmico pelo *stress wave time*; R² = coeficiente de determinação; Fcal = F calculado e Sy_x = erro padrão de estimativa.

Dos modelos que foram significativos, destacam-se aqueles ajustados para o método de vibração transversal (V_T), que obtiveram maior coeficiente de Pearson (R^2), Tabela 5. Entretanto, os modelos ajustados para o método de vibração longitudinal (V_L) também foram significativos e atingiram um R^2 aceitável, sendo empregados os erros residuais médios (S_{YX}) para cada modelo.

Observou-se que o método de vibração transversal proporcionou o menor erro residual em comparação ao de vibração longitudinal. Para o adesivo EPI o modelo ajustado de V_T teve erro de 7,33% para estimar o \hat{E} , e o modelo ajustado para V_L um erro de 9,16%. Para os adesivos MUF, PVA e RF, o método de V_T proporcionou os menores erros de estimação (4,40; 9,12; e 2,50%, respectivamente).

Os modelos de regressão linear ajustados para os BLCs de *B. vulgaris* para cada adesivo e métodos não destrutivos (ND) realizados, constam na Tabela 5. Os modelos de regressão para o SW que relaciona os BLCs de *B. vulgaris* foi significativo apenas para os adesivos MUF e RF, que obtiveram R^2 de 0,60 e 0,58, respectivamente. Entretanto, verificou-se que os erros de estimação dos modelos para os dois adesivos foram de 14,80 e 16,34%, respectivamente.

Ao comparar o método do SW para os BLCs de *B. vulgaris* e de *D. giganteus*, notou-se que, os erros de estimação foram menores do que aqueles proporcionados para os BLCs de *B. vulgaris*. Assim, por mais que o R^2 demonstre ser aceitável e os modelos sejam significativos, F ($p \leq 0,05$), os erros de estimação para a técnica do SW de BLCs de *B. vulgaris* aderidos com MUF e RF, demonstram baixa confiança para estimar o MOE estático (\hat{E}).

Do mesmo modo, a maioria dos modelos ajustados para o ensaio de V_L demonstraram significância, contudo, proporcionaram alto erro de estimação. O único modelo de V_L que foi não significativo foram aqueles obtidos para os BLCs aderidos com EPI. Já os modelos ajustados para o método de V_T demonstraram alto R^2 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%.

Módulo de ruptura estimado por métodos não destrutivos

São apresentadas na Tabela 6 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). Observou-se que, as equações ajustadas para os três métodos utilizados nos BLCs de *D. giganteus* aderidos com EPI ou PVA foram não significativas, F ($p > 0,05$).

Quanto aos BLCs aderidos com MUF, o único método ND que possibilitou a obtenção de equação adequada para estimar o módulo foi o de V_T com erro de estimação (S_{YX}) de 17,41%. Todos os métodos ND utilizados nos BLCs unidos com RF demonstraram resultados significativos, F ($p \leq 0,05$) ao estimar o módulo de ruptura, tendo o método de V_T possibilitado a obtenção do maior R^2 e do menor erro. O RF pode ter proporcionado a melhor formação de interrelação entre o bambu, gerando uma linha de cola de melhor interface entre o substrato, o que promoveu uma melhor aderência.

Observam-se as equações utilizadas para estimar o módulo de ruptura dos BLCs de *B. vulgaris* (Tabela 6) para os módulos de elasticidade dinâmico (E_d) obtidos nos métodos não destrutivos (ND). Notou-se que, entre os métodos utilizados nos BLCs aderidos com EPI e PVA, o único que demonstrou estimação significativa F ($p \leq 0,05$), foi o de V_T . Entretanto, para os BLCs aderidos com estes adesivos, os erros de estimação foram na ordem de 36,58 e 40,95%, que foram superiores aos obtidos nos BLCs aderidos com RF (12,89%).

Todas as equações ajustados para os BLCs unidos com MUF foram significativas, F ($p \leq 0,05$), demonstrando que os três métodos ND podem ser utilizados para estimar o módulo de ruptura dos BLCs aderidos com essa resina. Para aqueles aderidos com RF, somente os métodos de V_L e V_T foram significativos F ($p \leq 0,05$). Além disto, tais métodos apresentaram os maiores valores de R^2 e menores erros de estimação.

Tabela 6. Equações de regressão linear para estimar o módulo de ruptura (\hat{R}) dos BLCs de *D. giganteus* and *B. vulgaris* para cada adesivo.

Table 6. Linear regression equations for estimating the modulus of rupture (\hat{R}) of the laminated bamboo – LBL of *D. giganteus* and *B. vulgaris* to each adhesive.

<i>Dendrocalamus giganteus</i>					
Adesivo	Método	Equação ajustada	R ²	Fcal	Sy \bar{x} (%)
EPI	V _L	$\hat{R} = 8,856 + 0,003 \times Ed_{VL}$	0,02 ^{ns}	0,26 ^{ns}	50,73
	V _T	$\hat{R} = -60,184 + 0,008 \times Ed_{VT}$	0,20 ^{ns}	3,45 ^{ns}	45,86
	SW	$\hat{R} = 111,447 - 0,003 \times Ed_{SW}$	0,01 ^{ns}	0,16 ^{ns}	50,92
MUF	V _L	$\hat{R} = 15,060 + 0,006 \times Ed_{VL}$	0,09 ^{ns}	1,31 ^{ns}	20,21
	V _T	$\hat{R} = -30,633 + 0,010 \times Ed_{VT}$	0,32*	6,64*	17,41
	SW	$\hat{R} = 131,799 - 0,002 \times Ed_{SW}$	0,01 ^{ns}	0,07 ^{ns}	21,08
PVA	V _L	$\hat{R} = -18,289 + 0,006 \times Ed_{VL}$	0,10 ^{ns}	1,57 ^{ns}	37,89
	V _T	$\hat{R} = -3,998 + 0,006 \times Ed_{VT}$	0,16 ^{ns}	2,73 ^{ns}	36,55
	SW	$\hat{R} = -18,186 + 0,007 \times Ed_{SW}$	0,18 ^{ns}	3,15 ^{ns}	36,10
RF	V _L	$\hat{R} = -27,517 + 0,009 \times Ed_{VL}$	0,45*	11,47*	11,64
	V _T	$\hat{R} = 45,838 + 0,006 \times Ed_{VT}$	0,37*	8,11*	12,49
	SW	$\hat{R} = -3,251 + 0,010 \times Ed_{SW}$	0,40*	9,43*	12,14
<i>Bambusa vulgaris</i>					
Adesivo	Método	Equação ajustada	R ²	Fcal	Sy \bar{x} (%)
EPI	V _L	$\hat{R} = 5,914 + 0,004 \times Ed_{VL}$	0,02 ^{ns}	0,29 ^{ns}	49,81
	V _T	$\hat{R} = -43,936 + 0,008 \times Ed_{VT}$	0,47*	12,50*	36,58
	SW	$\hat{R} = 133,388 - 0,004 \times Ed_{SW}$	0,02 ^{ns}	0,31 ^{ns}	49,79
MUF	V _L	$\hat{R} = -41,334 + 0,010 \times Ed_{VL}$	0,42*	10,29*	17,72
	V _T	$\hat{R} = 17,209 + 0,007 \times Ed_{VT}$	0,63*	23,34*	14,30
	SW	$\hat{R} = -69,401 + 0,013 \times Ed_{SW}$	0,43*	10,47*	17,66
PVA	V _L	$\hat{R} = -39,073 + 0,007 \times Ed_{VL}$	0,18 ^{ns}	3,02 ^{ns}	45,52
	V _T	$\hat{R} = -29,200 + 0,008 \times Ed_{VT}$	0,33*	7,04*	40,95
	SW	$\hat{R} = -39,782 + 0,008 \times Ed_{SW}$	0,12 ^{ns}	1,93 ^{ns}	47,05
RF	V _L	$\hat{R} = -26,076 + 0,008 \times Ed_{VL}$	0,62*	23,24*	12,90
	V _T	$\hat{R} = 33,446 + 0,006 \times Ed_{VT}$	0,62*	23,30*	12,89
	SW	$\hat{R} = 14,685 + 0,007 \times Ed_{SW}$	0,19 ^{ns}	3,31 ^{ns}	18,92

Em que: * significativo ($p \geq 0,05$) e ^{ns} não significativo pelo teste F ($p > 0,05$); EPI = emulsão de isocianato polimérico; MUF = melamina ureia formaldeído; PVAc = acetato de polivinílico cross; e RF = resorcinol formaldeído; \hat{E} = módulo de elasticidade estático estimado; Ed_{VL} = módulo de elasticidade dinâmico pelo método de vibração longitudinal; Ed_{VT} = módulo de elasticidade dinâmico pelo método de vibração transversal; Ed_{SW} = módulo de elasticidade dinâmico pelo stress wave time; R² = coeficiente de determinação; Fcal = F calculado e Sy \bar{x} = erro padrão de estimativa.

CONCLUSÕES

Tanto os BLCs de *D. giganteus* quanto os de *B. vulgaris* unidos com EPI ou PVA obtiveram a menor falha no bambu, demonstrando a ineficiência dos adesivos na colagem dos materiais. No entanto, a resistência à compressão axial, para ambas as espécies de bambu, não foi afetada pelo tipo de tratamento preservativo e nem pelo tipo de adesivo utilizado nos BLCs.

O módulo de elasticidade dos BLCs de *D. giganteus* foi similar entre os adesivos, entretanto, foi mais elevado quando da utilização de taliscas tratadas em água. Já o módulo de elasticidade dos BLCs de *B. vulgaris* foi mais elevado para aqueles unidos com MUF e RF.

Para os BLCs produzidos com *D. giganteus*, o método de Stress Wave não foi indicado para estimar o módulo de elasticidade estático para os BLCs aderidos com EPI, MUF, PVA e RF. A técnica 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 muito elevados.

Os métodos de vibrações longitudinal e transversal demonstraram possibilidade da estimação do MOE para os BLCs de *D. giganteus* e de *B. vulgaris* para os adesivos testados. Os BLCs de *B. vulgaris* aderidos com EPI, MUF e PVA demonstraram alto erro de estimação no método de vibração longitudinal. Por sua vez, o método de vibração transversal proporcionou o menor erro e os maiores R² ao estimar o módulo de elasticidade dos BLCs produzidos, demonstrando ser o mais recomendado.

Os três métodos não destrutivos utilizados nos BLCs de *D. giganteus* e de *B. vulgaris* colados com EPI ou PVA não são indicados para estimar o módulo de ruptura. Para os BLCs de *D. giganteus* aderidos com MUF, o único método não

destrutivo que demonstrou equação ajustada para estimar o módulo de ruptura foi o de V_T . Já para os BLCs de *B. vulgaris* 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 V_L e V_T .

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Tecnologia do Espírito Santo - FAPES pelo apoio financeiro, Processo 49781880, pela concessão de bolsa de estudo a Rafael Amorim Rosa, à Empresa AkzoNobel pela doação dos adesivos. Aos Srs. Sebastião de Azevedo dos Santos e Ronaldo Silveira Ribeiro, pela doação dos bambus.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: projeto de estruturas de madeira. Anexo B – determinação das propriedades das madeiras para projetos de estruturas. Rio de Janeiro, 1997. 107p.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **C-215**: standard test method for fundamental transverse, longitudinal and torsional frequencies of concrete specimens. Philadelphia, Annual Book of ASTM Standards, 2008. 7 p.

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

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **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. 16 p.

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

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

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

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.

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.

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

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

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

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

ROSA, R. A. **Caracterização do bambu laminado colado como alternativa tecnológica industrial**. 2013. 80 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2013.

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).

- STANGERLIN, D. M. **Monitoramento de propriedades de madeiras da Amazônia submetidas ao ataque de fungos apodrecedores.** 2012. 259 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2012.
- STANGERLIN, D. M.; MELO, R. R.; GATTO, D. A.; CADEMARTORI, P. H. G.; CASTELO, P. A. R.; CALEGARI, L. Estimativa do módulo de elasticidade em painéis aglomerados por meio de emissão de ondas ultrassônicas. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, Campina Grande, v. 5, n. 2, p. 17-22, 2010.
- 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.
- TIBURTINO, R. F. **Qualidade e eficiência do tratamento preservativo de duas espécies de bambu.** 2012. 106 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2012.

Recebido em 25/09/2013
Aceito para publicação em 10/06/2014