

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DO LAMINADO COLADO DE BAMBU
(*Dendrocalamus giganteus*)

PHYSICAL-MECHANICAL CHARACTERIZATION OF THE GLUE LAMINATED BAMBOO
(*Dendrocalamus giganteus*)

Juarez Benigno Paes¹ Ana Karla Freire de Oliveira² Elisabeth de Oliveira³ Carlos Roberto de Lima⁴

RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar a influência do tratamento preservativo e do tipo de adesivo nas propriedades físico-mecânicas do laminado colado, confeccionado com o bambu *Dendrocalamus giganteus*. Para tanto, colmos de bambu foram tratados pelo método de imersão em produto químico (solução de 1% de ingredientes ativos de borato de cobre cromatado – CCB) e em água, durante 15 dias. Dos colmos tratados, foram retiradas as camadas externa e interna, obtendo-se lâminas com espessuras de 4 mm, comprimento de 45 cm e largura de 5 cm. Para a colagem das lâminas, utilizaram-se os adesivos “Cascophen RS” (resorcinol-formol) e “Cascorez-Extra” (acetato polivinílico). O adesivo à base de resorcinol-formol proporcionou maior resistência à umidade ao BLC, quando comparado àquele à base de acetato polivinílico, tendo as amostras provenientes de peças tratadas com CCB sido mais estáveis que as tratadas com água. Dentre as propriedades mecânicas testadas, o adesivo apresentou resultado significativo para o cisalhamento na linha de cola e o tratamento preservativo para o MOE. A interação dos fatores adesivo e tratamento foi significativa para o MOE, resistência a compressão paralela ao cisalhamento na linha de cola, tendo as peças tratadas com água e aderidas com resorcinol-formol apresentado melhores resultados para o MOE e compressão paralela às fibras e aquelas tratadas com CCB, para o cisalhamento na linha de cola.

Palavras-chave: bambu; BLC; propriedades físico-mecânicas.

ABSTRACT

The purpose of this work was to evaluate the preservative treatment effect and the adhesive type in physical-mechanical properties of glue laminated bamboo (GLB) of *Dendrocalamus giganteus*. Thus, the bamboo stems were treated by immersion method with chemical product (solution of 1% of active ingredients of copper chrome borate - CCB) and water by 15 days. Before treating the stems, the external and internal parts were removed to obtain the flat strips of bamboo with 4 mm of thickness, 45 cm of length and 5 cm of width. The “Cascophen RS” (resorcinol-formaldehyde) and “Cascorez-extra” (polyvinyl acetate) commercial adhesives were used to bond the flat strips. The resorcinol-formaldehyde adhesive showed superior moisture resistance than polyvinyl resin to GLB, and the samples obtained of pieces treated with CCB were more stable than treated with water. Among the mechanical properties tested, the adhesive factor was significant for the resistance to shear parallel to glue line and the preservative treatment for the rigidity. The interaction of the factors adhesive and treatment was significant for the rigidity, resistance to parallel compression and shear parallel to glue line. The pieces treated with water and adhered with resorcinol-formaldehyde presented better results for the rigidity and parallel compression to the fibers and those treated with CCB, for the shear parallel to glue line.

Keywords: bamboo; GLB; physical and mechanical properties.

INTRODUÇÃO

Em função do aumento do consumo de produtos derivados da madeira, as reservas de espécies arbóreas nativas vêm diminuindo, ocasionando a busca por novos materiais lignocelulósicos renováveis que possam suprir, com eficiência, a demanda. Nesse contexto, o bambu, material que apresenta boas

1. Engenheiro Florestal, Professor da Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Campina Grande, Caixa Postal, 64, CEP 58700-970, Patos (PB). jbp2@uol.com.br

2. Designer, MSc., Doutoranda pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rua Marquês de São Vicente, 225, Gávea CEP 22453-900, Rio de Janeiro (RJ). anadesigner@yahoo.com.br

3. Engenheira Florestal, Professora da Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Campina Grande, Caixa Postal, 64, CEP 58700-970, Patos (PB). betholiveira@buynet.com.br

4. Engenheiro Florestal, Professor da Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Campina Grande, Caixa Postal, 64, CEP 58700-970, Patos (PB). crlima16@hotmail.com

características físico-mecânicas, baixo custo, facilidade de obtenção e trabalhabilidade, vem sendo largamente utilizado, como material de construção em países asiáticos, e em alguns da América Latina, substituindo com eficiência algumas espécies de madeira em construções diversas.

O bambu apresenta potencial silvicultural, por ser uma planta perene, produzir colmos assexuadamente ano após ano, sem a necessidade de replantio, por apresentar um bom rendimento anual por área e rapidez de crescimento (AZZINI *et al.*, 1977).

De acordo com Ghavami e Solorzano (1995), os bambus são constituídos predominantemente por fibras responsáveis pela sua resistência mecânica, sendo sua distribuição de 40 a 90% na parede externa e de 15% na parte interna dos colmos.

Com relação às características mecânicas do bambu, Freire e Beraldo (2003) citam que a resistência à tração paralela às fibras, pode atingir valores de 260 a 370 MPa, a resistência à compressão situa-se na faixa de 20 a 120 MPa, o módulo de elasticidade obtido no ensaio de compressão varia entre 2,6 e 20 GPa e a resistência à flexão estática entre 30 e 170 MPa, com módulo de elasticidade na faixa de 6 e 14 GPa, dependendo da espécie e idade das plantas.

De acordo com Azzini e Beraldo (2001), após os devidos cuidados durante a colheita do bambu, os colmos devem ser submetidos a tratamentos preservativos, pois estes apresentam um alto teor de amido na sua constituição, sendo susceptível ao ataque de xilófagos. Dentre os insetos, o *Dinoderus minutus* ataca com mais frequência o colmo da planta. Assim, a durabilidade dos colmos está diretamente ligada ao tratamento preservativo empregado.

Segundo Azzini e Beraldo (2001), o tratamento do bambu pode se dar com ou sem o emprego de produtos químicos. Os tratamentos sem o emprego de produtos compreendem a maturação no local da colheita, maturação por imersão em água, tratamento com fogo e tratamento com fumaça. Já o tratamento químico pode ser por imersão prolongada ou substituição de seiva. Para o tratamento químico, Santos e Lopes (1998) e Azzini e Beraldo (2001) recomendaram o uso de uma solução de 1% de concentração, preparada com sulfato de cobre, dicromato de sódio e ácido bórico.

Os avanços tecnológicos ocorridos no final do século XX, englobando os processos produtivos, a redução dimensional dos componentes e o surgimento de novos materiais, vêm contribuindo para uma maior versatilidade de matérias-primas na manufatura de produtos industrializados. Dessa forma, o uso de substâncias adesivas com a finalidade de unir elementos de madeira promove a obtenção de peças com dimensões maiores que aquelas obtidas diretamente da árvore.

Gonçalves *et al.* (2002) afirmaram que tendo a madeira laminada colada como sua precursora, a técnica do laminado colado de bambu ainda se desenvolve a passos lentos no Brasil, o que conduz a busca por tecnologia desenvolvida no Continente Asiático que emprega estruturas de bambu confeccionadas com essa técnica.

O bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus*) é uma espécie que apresenta considerável resistência mecânica para vários fins, dentre eles, a confecção de laminados colados (BERALDO e RIVERO, 2003).

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar os efeitos do tratamento com água ou CCB e do adesivo à base de resorcinol-formol ou de acetato de polivinílico nas características físico-mecânicas do laminado colado (BLC), confeccionado com o bambu *Dendrocalamus giganteus*.

MATERIAIS E MÉTODOS

Espécie utilizada, obtenção, tratamento e processamento das taliscas

Utilizou-se o *Dendrocalamus giganteus*, por apresentar boas propriedades físico-mecânicas e parede do colmo espessa. Tais características, segundo Beraldo e Azzini (2004), são essenciais à fabricação do bambu laminado colado (BLC).

O material foi coletado no Campus II da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), localizado na cidade de Areia, PB, situada a 6°52'52" de latitude sul, 35°47'41" de longitude oeste e a 590 metros de altitude.

Os três exemplares coletados apresentavam idade entre 3 e 5 anos e altura das hastes atingindo até 30 m; espessura da parede do colmo entre 1,0 a 2,5 cm; diâmetro do colmo variando de 20 a 25 cm; e comprimento dos internós de 40 a 50 cm.

Para o abate das hastes, foram utilizadas ferramentas manuais (serra e facão). Procedeu-se ao corte do bambu a 30 cm do solo e logo acima de um dos nós, como o indicado por Santos e Lopes (1998).

Depois de abatidos, os bambus foram seccionados em colmos e transportados para o Laboratório de Construções Rurais e Ambiente (LACRA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), em Campina Grande, PB. No LACRA, os colmos foram divididos ao meio, com o uso de facão e cada seção do colmo foi submetida a um tratamento preservativo. Os tratamentos do bambu foram imersão prolongada em água e em uma solução de “Osmose CCB”, produto a base de cobre, cromo e boro (CCB). O tempo decorrido entre o abate do bambu e a disposição nos tratamentos foi de aproximadamente 24 horas.

Para o tratamento em água, foi utilizado um recipiente com capacidade de 500 litros, preenchido com 200 litros de água, e as peças permaneceram no tratamento, durante 15 dias. Para prevenir o ataque de bactérias e a fermentação do material, a água do recipiente foi renovada a cada 2 dias.

O tratamento químico foi realizado conforme o recomendado por Azzini e Beraldo (2001), e consistiu em submergir as seções de bambu em uma solução de 1% de ingredientes ativos de “Osmose CCB”, produto hidrossolúvel, fungicida e inseticida, que apresenta boa mobilidade na madeira, sendo indicado para o método de tratamento empregado.

Para o tratamento, foram preparados 200 litros de solução em um recipiente de 500 litros de capacidade. As peças permaneceram no tratamento durante 15 dias. Depois de tratadas, as peças foram retiradas do recipiente e o excesso de produto químico, aderido às superfícies destas, foi lavado em água corrente.

Depois de tratadas, as peças foram empilhadas em local sombreado e ventilado por 8 dias. Depois de secas, as peças foram novamente seccionadas longitudinalmente, dando origem, cada peça, a duas taliscas, que foram identificadas, conforme tratamento preservativo aplicado (1 – CCB e 2 – Água) e conduzidas a uma estufa de circulação de ar, mantida a 70 ± 2 °C, onde permaneceram durante 72 horas. Após secagem, as taliscas foram climatizadas, durante uma semana, a fim de estabilizar a umidade das mesmas para as condições climáticas local.

As taliscas tiveram suas camadas externa e interna removidas em uma plaina e as dimensões uniformizadas com o uso de uma serra circular, sendo obtidas lâminas com espessuras de 4 mm, largura de 5 cm e comprimento de 45 cm.

Colagem das lâminas e propriedades físico-mecânicas do material

Para a colagem das laminas, foram utilizados os adesivos “Cascophen RS-216-M” (com adição do catalisador “FM-60-M”) e “Cascorez-Extra”, que, de acordo com as informações do fabricante, são empregados para colagem a frio de laminados de madeira.

O “Cascophen RS-216-M” é uma resina sintética à base de resorcinol-formol, que produz juntas resistentes à imersão em água fria ou quente, sendo utilizada nas indústrias naval e de madeira laminada colada (MLC).

Segundo as informações na embalagem, para cada cem partes de “Cascophen” foram adicionadas vinte partes do catalisador e a mistura homogeneizada. Na colagem das lâminas foram utilizados 500 gramas de adesivo/m² de lâmina, em linha simples.

O “Cascorez-Extra” é um adesivo vinílico, produzido à base de acetato de polivinílico (PVA), que após seco apresenta uma película transparente, plastificada, de alta resistência ao descolamento. O adesivo “Cascorez – Extra” vem pronto para o uso.

Para o “Cascorez-Extra”, foi adotada a mesma quantidade de adesivo utilizada para o “Cascophen”. No entanto, para esse caso, o fabricante recomenda que o adesivo seja aplicado em linha dupla.

Os adesivos foram aplicados conforme as informações do fabricante, ao utilizar um pincel. A montagem dos blocos foi executada de modo a não permitir que ficassem sobrepostas face externa-externa ou face interna-interna do bambu, pois isso poderia provocar ruptura em região de menor resistência (face interna-interna).

Para a montagem do bambu laminado colado (BLC) foram utilizadas cinco lâminas, já impregnadas com o adesivo, as quais após serem sobrepostas, com as fibras na mesma direção, resultaram em blocos com as seguintes dimensões: 5 cm de largura, 2 cm de espessura e de 45 cm de comprimento. Os blocos foram

identificados conforme adesivo utilizado (1 – PVA e 2 – resorcinol-formol) e prensados em uma prensa hidráulica com capacidade para 30 toneladas, ao aplicar uma carga de 5 toneladas, o que correspondeu a uma pressão de 2,18 MPa. Os blocos permaneceram sob pressão por um período de três horas.

A seguir, os blocos foram retirados da prensa, e mantidos sob blocos de concreto por 24 horas e encaminhados para a confecção dos corpos-de-prova. A confecção e o acabamento dos corpos-de-prova foram realizados no Laboratório de Madeiras da Unidade Acadêmica de Desenho Industrial da UFCG, em Campina Grande, PB. Para tanto, foram seguidas as recomendações da Norma Brasileira Regulamentadora - NBR 623 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1985) e da NBR 7190 (ABNT, 1997).

Os corpos-de-prova tiveram suas dimensões ajustadas conforme as particularidades do material (BLC) e dos ensaios físico-mecânicos a serem realizados, conforme descrito por Beraldo e Rivero (2003) e Rivero (2003).

Os corpos-de-prova foram identificados, segundo os tratamentos preservativos do bambu (1 – CCB; 2 – Água), adesivos empregados na colagem dos blocos (1 – PVA; 2 – resorcinol-formol) e repetições (1-3), totalizando 12 amostras para cada ensaio.

Os ensaios de resistência e rigidez do BLC foram conduzidos no Laboratório de Solos I, Unidade Acadêmica de Engenharia Civil da UFCG, em Campina Grande, PB. Nos ensaios, foi adotado um incremento de carga de 10 MPa/min, conforme recomendações da NBR 7190 (ABNT, 1997).

Para o ensaio de estabilidade dimensional do BLC, foram empregados corpos-de-prova com dimensões nominais de 2 x 3 x 5 cm (maior dimensão na direção das fibras), conforme NBR 7190 (ABNT, 1997). Para a execução das medidas, foram demarcadas, a 1,0 cm das extremidades das amostras, duas linhas paralelas nas faces radial e tangencial e longitudinal. Sobre tais demarcações foram executadas as medições com o emprego de um paquímetro digital, com precisão de 0,01 mm, e os corpos-de-prova foram pesados em uma balança com precisão de 0,01 g, secos em estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$, durante 72 horas e novamente pesadas e postas para saturação em água.

A variação dimensional do BLC foi determinada, por meio de medições após 24, 48 e 72 horas de imersão em água, a qual foi substituída a cada 24 horas. Tais procedimentos foram realizados nos Laboratórios de Tecnologia de Produtos Florestais, Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal da UFCG, em Patos, PB. Para a realização do ensaio, foram seguidos os procedimentos descritos na NBR 7190 (ABNT, 1997).

As direções radial e tangencial do BLC corresponderam, respectivamente, as direções normal e paralela à linha de cola. A variação volumétrica foi obtida pelo somatório dos valores das variações ocorrida nas três direções analisadas.

Para as determinações das densidades, foram utilizados os mesmos corpos-de-prova empregados na determinação da estabilidade dimensional. Para a realização do ensaio, foram seguidos os procedimentos descritos na NBR 7190 (ABNT, 1997).

Em função do efeito da umidade nas características físico-mecânicas do BLC, esta foi determinada ao empregar os mesmos corpos-de-prova submetidos a cada ensaio. Assim, depois de ensaiados, eles foram pesados, em balança de 0,01 g de precisão, secos em estufa à temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$, durante 72 horas e novamente pesados. Para a realização do ensaio, foram seguidos os procedimentos descritos na NBR 7190 (ABNT, 1997).

Para o ensaio de flexão estática, foram seguidos os procedimentos da NBR 6230 (ABNT, 1985), a fim de determinar a resistência e rigidez à flexão do BLC. Para esses testes, foram empregados corpos-de-prova com dimensões de 2 x 2 x 30 cm (maior dimensão na direção das fibras), que foram ensaiados com um vão de 25 cm entre os apoios. Para permitir a determinação do módulo de elasticidade (MOE), as deflexões sofridas pelos corpos-de-prova foram medidas por meio de relógios comparadores, com sensibilidade de milésimos de milímetros, sendo anotadas a cada 2 MPa de carga aplicada.

No ensaio de compressão paralela e normal às fibras, em função das dimensões dos blocos de BLC confeccionados, utilizaram-se corpos-de-prova com dimensões de 2 x 3 x 5 cm (maior dimensão na direção das fibras) (BERALDO e RIVERO, 2003; RIVERO, 2003).

Para o ensaio de compressão paralela às fibras foram determinados apenas os valores de tensão de ruptura (módulo de ruptura – MOR). As deformações sofridas pelos corpos-de-prova submetidos à

compressão normal às fibras foram medidas por meio de relógios comparadores, sendo a carga aplicada até causar uma deformação permanente de 10% na espessura do BLC, conforme descrito na NBR 7190 (ABNT, 1997).

Para o ensaio de cisalhamento na linha de cola, foram utilizados corpos-de-prova com dimensões nominais de 3 x 2 x 6 cm (maior dimensão na direção das fibras), com área nominal dupla de cisalhamento de 2 x 4 cm, Mantilla Carrasco *et al.* (1995). Para o ensaio foram seguidas as recomendações da NBR 7190 (ABNT, 1997).

Análises dos resultados

Na interpretação dos resultados, empregou-se o delineamento inteiramente casualizado com arranjo fatorial em que foram testados os seguintes fatores: tratamento preservativo, com dois níveis (CCB e água); adesivos, com dois níveis (PVA e resorcinol) e três repetições para cada situação, totalizando 12 blocos de BLC produzidos. De cada bloco foi retirado um corpo-de-prova para cada ensaio, sendo obtidos 12 corpos-de-prova para cada tipo de ensaio realizado. Na análise e avaliação dos ensaios, foi empregado o teste de Tukey, a 5% de significância, para os fatores e interação detectados como significativos pelo teste de F.

Para possibilitar a análise estatística, os dados do ensaio de estabilidade dimensional foram transformados em arcten [raiz (variação dimensional/100)]. Essa transformação sugerida por Steel e Torrie (1980) foi necessária para permitir a homogeneidade das variâncias. Os valores de densidade aparente e básica e de teor de umidade foram analisados em função da média aritmética.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Propriedades físicas do BLC

Os valores médios das variações radial, tangencial, longitudinal e volumétrica obtidos para os adesivos e tratamentos preservativos testados, em função do tempo de imersão BLC em água, são apresentados na Tabela 1.

TABELA 1: Valores médios das variações dimensionais do bambu laminado colado (BLC) para os adesivos, tratamentos preservativos e tempos de imersão em água.

TABLE 1: Medium values of dimensional variations of glue laminated bamboo (GLB) for adhesives, preservative treatments and water immersion times.

Tratamentos	Adesivos	Imersão (Horas)	Variações Dimensionais do BLC (%)			
			Radial	Tangencial	Longitudinal	Volumétrica
1 – CCB	1 – PVA	24	8,76	3,92	0,14	13,18
		48	11,53	4,63	0,13	16,84
		72	13,05	5,23	0,26	19,28
	2 – Resorcinol	24	8,22	3,71	0,19	12,44
		48	11,12	5,00	0,20	16,89
		72	12,22	5,44	0,16	18,48
2 – Água	1 – PVA	24	11,14	4,14	0,19	15,97
		48	13,69	4,54	0,18	18,96
		72	15,25	5,00	0,19	21,51
	2 – Resorcinol	24	9,93	4,63	0,29	13,87
		48	12,11	5,58	0,30	18,71
		72	12,83	6,09	0,26	20,00

A variação dimensional do BLC, segundo o eixo longitudinal foi pequena (0,13 a 0,30%), situação também encontrada por Freire e Beraldo (2003) e Rivero (2003). Já as variações volumétrica, radial e tangencial apresentam valores mais expressivos, tendo a variação na direção radial (8,22 a 15,25%) sido superior a da direção tangencial (3,71 a 6,09%), sendo contrário a que normalmente, ocorre em madeiras. Esta situação, também foi encontrada por Rivero (2003).

Os dados do inchamento máximo, ocorrido após 72 horas de imersão (Tabela 1), foram analisados estatisticamente a fim de se detectar que situação (tratamentos e adesivos) apresentou melhor estabilidade dimensional ao BLC (Tabela 2).

TABELA 2: Resumo da análise de variância para os valores de variação dimensional (radial, tangencial e volumétrica em %) (0-72h) do bambu laminado colado (BLC). Dados transformados em arcsen [raiz (variação dimensional/100)].

TABLE 2: Summary of the variance analysis for values of dimensional variation (radial, tangential and volumetric in %) (0-72h) of glue laminated bamboo (GLB). Data transformed in arcsen [root (variation dimensional/100)].

Fontes de Variação	Graus de Liberdade	Quadrados Médios		
		Variação Radial	Variação Tangencial	Variação Volumétrica
Adesivo	1	$0,17 \times 10^{-2}$ NS	$0,59 \times 10^{-3}$ NS	$0,62 \times 10^{-3}$ NS
Tratamento	1	$0,13 \times 10^{-2}$ NS	$0,57 \times 10^{-4}$ NS	$0,17 \times 10^{-2}$ *
Ades. x Trat.	1	$0,38 \times 10^{-3}$ NS	$0,33 \times 10^{-3}$ NS	$0,56 \times 10^{-4}$ NS
Resíduo	8	$0,49 \times 10^{-3}$	$0,42 \times 10^{-3}$	$0,20 \times 10^{-3}$

Em que: * = Significativo a 5% de significância; NS = Não significativo a 5% de significância.

As análises de variância para os valores de inchamento revelaram a não existência de diferenças significativas, a 5% de significância, entre as situações testadas, para as variações radial e tangencial. No entanto, a variação volumétrica apresentou diferença significativa entre os tratamentos testados. Estes efeitos foram analisados pelo teste de Tukey (Tabela 3), tendo indicado que os corpos-de-prova confeccionados com o bambu tratado em água foram menos estáveis que os submetidos ao tratamento com CCB. Isto pode ter ocorrido em função dos sais, que compõem o CCB, terem ocupado sítios na matriz celulose-hemiceluloses-lignina, impedindo, o acesso às moléculas de água, dando maior estabilidade ao material.

Observou-se o relaxamento do adesivo nas lâminas externas de alguns corpos-de-prova provenientes dos blocos aderidos com o adesivo polivinílico (PVA), após 48 horas de imersão em água. Isto inviabiliza o uso do mesmo em situações sujeita a umedecimentos.

TABELA 3: Efeito do tratamento na variação volumétrica total (72 horas) do bambu laminado colado (BLC).

TABLE 3: Treatment effect on the total volumetric variation (72 hours) of glue laminated bamboo (GLB).

Tratamentos	Médias Verdadeiras (%)	Coeficiente de Variação (%)
2 - Água	20,76 a	4,99
1 - CCB	18,88 b	5,59

Em que: Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si (Tukey; $p \geq 0,05$).

A densidade aparente variou de 0,68 a 0,76 g/cm³ (Tabela 4). Estes valores estão próximos aos encontrados por Rivero (2003), que foram de 0,58 a 0,79 g/cm³ e Gonçalves *et al.* (2002), da ordem de 0,57 a 0,75 g/cm³. Porém, foram inferiores aos obtidos por Ghavami e Solorzano (1995), para o colmo de *Dendrocalamus giganteus*, que foi de 0,80 g/cm³ e para as taliscas usinadas por Rivero (2003) da ordem de 0,88 g/cm³.

A densidade aparente do BLC, além de ser afetada pela idade e posição nos colmos, é muito influenciada pelo teor de umidade do material, que neste caso, situou-se em torno de 12%, enquanto os autores citados não informaram a que umidade a densidade aparente foi calculada.

A densidade básica, muito utilizada em trabalhos científicos, não é citada pelos autores pesquisados, não permitindo, desse modo, a comparação dos valores encontrados.

TABELA 4: Densidades aparente e básica (g/cm³) do bambu laminado colado (BLC) para os tratamentos testados.TABLE 4: Density and basic density of the glue laminated bamboo (GLB) (g/cm³) for the tested treatments.

Tratamentos	Adesivos	Densidade Aparente (TU=12%) (g/cm ³)	CV (%)	Densidade Básica (g/cm ³)	CV (%)
1 – CCB	1 – PVA	0,72	1,09	0,53	2,15
	2 – Resorcinol	0,68	6,75	0,52	6,12
2 – Água	1 – PVA	0,76	6,27	0,56	13,93
	2 – Resorcinol	0,74	0,84	0,55	6,67

Os valores médios do teor de umidade (base seca) para cada situação e teste realizado situaram-se em torno de 12%. O teor de umidade de 12% é considerado ideal para a realização de testes físico-mecânicos em madeiras, NBR 7190 (ABNT, 1997), e em outros materiais lignocelulósicos.

Propriedades mecânicas do BLC

Observa-se, na Tabela 5, que os valores de resistência e elasticidade do BLC apresentaram comportamento diferente para as situações testadas. A resistência à flexão estática não sofreu influência dos efeitos analisados. No entanto, a rigidez sofreu efeito do tratamento e da interação entre os fatores tratamento e adesivos. Para a compressão paralela, apenas a interação entre os fatores tratamento e adesivos foi significativa, enquanto para a compressão normal não se observou efeito significativo para os parâmetros testados.

Com relação à resistência à flexão estática (Tabela 6), observa-se que as amostras confeccionadas com o bambu tratado com água e unido com o adesivo resorcinol-formol forneceram o valor médio de módulo de ruptura (MOR) de 89,30 MPa. Esse valor foi superior ao encontrado por Rivero (2003), que obteve um valor médio de 72,57 MPa. O valor de MOR encontrado, provavelmente esteja relacionado à pressão de prensagem dos blocos ou as características do bambu utilizado. Uma maior pressão de prensagem reduz espaços vazios e densifica o material conferindo-lhe maior resistência mecânica.

Os valores obtidos no ensaio de flexão não apresentaram diferença significativa pelo teste de F entre as situações analisadas (Tabela 5). Esse resultado indica que o tratamento preservativo do bambu ou o tipo de adesivo empregado na junção das lâminas não influenciou na resistência do BLC.

TABELA 5: Resumo das análises de variância para os valores de resistência e elasticidade na flexão estática, resistência e compressão paralela normal às fibras e cisalhamento na linha de cola do bambu laminado colado (BLC).

TABLE 5: Summary of the variance analyses for strength and elasticity values in static bending, compression strength parallel to surface, elasticity in compression perpendicular to surface and glue-line shear test of glue laminated bamboo (GLB).

Fontes de Variação	Graus de Liberdade	Quadrados Médios				RCLC (MPa)
		Flexão Estática		Compressão		
		(MPa)	(GPa)	(MPa)	(MPa)	
Adesivo	1	84,75 ^{NS}	6,81 ^{NS}	1,05 ^{NS}	38,16 ^{NS}	8,98**
Tratamento	1	73,26 ^{NS}	37,74**	14,54 ^{NS}	0,23 ^{NS}	0,84 ^{NS}
Ades. x Trat.	1	126,43 ^{NS}	9,19*	28,43*	11,14 ^{NS}	2,18*
Resíduo	8	335,04	1,62	4,61	10,47	0,20

Em que: MPa = módulo de ruptura; GPa = módulo de elasticidade; RCLC = resistência ao cisalhamento na Linha de Cola; * = Significativo a 5% de significância; ** = significativo a 1% de significância; NS = não significativo a 5% de significância.

TABELA 6: Resistência à ruptura do bambu laminado colado (BLC) à flexão estática.

TABLE 6: Glue laminated bamboo (BLC) rupture resistance to static bending.

Tratamentos	Adesivos			
	1 – PVA (MPa)	CV (%)	2 – Resorcinol (MPa)	CV (%)
1 – CCB	89,67	7,26	77,86	9,66
2 – Água	88,12	7,44	89,30	5,68

Em que: MPa = módulo de ruptura; GPa = módulo de elasticidade.

Os resultados do módulo de elasticidade na flexão estática (MOE) encontram-se na Tabela 7. Os MOEs variaram de 4,30 a 9,60 GPa, sendo superiores aos encontrados por Wethyavivorn (2002) que situaram na faixa de 3,0 a 4,0 GPa.

TABELA 7: Módulo de elasticidade na flexão estática Rigidez do bambu laminado colado (BLC).

TABLE 7: Glue laminated bamboo (GLB) stiffness in static bending.

Tratamentos	Adesivos			
	1 – PVA (GPa)	CV (%)	2 – Resorcinol (GPa)	CV (%)
1 – CCB	4,54 Aa	18,72	4,30 Ab	35,35
2 – Água	6,34 Ba	22,71	9,60 Aa	12,19

Em que: Médias seguidas pela mesma letra minúscula (adesivo) ou maiúscula (tratamento) não diferem entre si (Tukey; $p \geq 0,05$).

Os valores, que deram origem às médias apresentadas na Tabela 7, foram analisados estatisticamente. Os efeitos do tratamento e da interação entre adesivos e tratamentos foram significativos pelo teste de F (Tabela 5). O efeito da interação entre adesivos e tratamentos foi desdobrado e analisado pelo teste de Tukey (Tabela 7). Observa-se que o tratamento com o CCB não apresentou efeito significativo na rigidez do BLC, enquanto para o tratamento com água, as médias obtidas para os corpos-de-prova aderidos com PVA foram inferiores àqueles aderidos com resorcinol-formol.

Não houve diferenças significativas entre os tratamentos preservativos das taliscas quando as amostras foram aderidas com PVA. No entanto, para as amostras aderidas com resorcinol-formol, o tratamento com água forneceu os melhores resultados. Tais resultados podem estar associados à melhor penetração do adesivo nos corpos-de-prova desse tratamento, em que a remoção do amido do interior das células do bambu, facilitou a entrada do adesivo. Fato esse, de certa forma, prejudicado pela imersão na solução de CCB, em que os sais que o compõe, podem ter obstruído alguns vazios existentes na estrutura anatômica do bambu, dificultando a infiltração do adesivo ou reagindo com seus componentes, afetando, negativamente, a qualidade da junta colada.

Isso também foi observado para o caso das amostras aderidas com PVA, embora em menor intensidade, não causando grande diferença, ao ponto de ser significativa, entre as médias dos tratamentos empregados.

Os valores médios da tensão de ruptura dos corpos-de-prova submetidos ao ensaio de compressão paralela às fibras encontram-se na Tabela 8. Observa-se, nesta tabela, que a maior resistência foi apresentada pelas amostras tratadas com água e aderidas com o adesivo à base de resorcinol-formol (“Cascophen”), com média de 40,74 MPa e a menor obtida para aquelas submersas em CCB.

TABELA 8: Resistência do bambu laminado colado (BLC) à compressão paralela às fibras.

TABLE 8: Glue laminated bamboo (BLC) resistance to compression parallel to grain.

Tratamentos	Adesivos			
	1 – PVA (MPa)	CV (%)	2 – Resorcinol (MPa)	CV (%)
1 – CCB	37,95 Aa	6,38	35,46 Ab	1,95
2 – Água	37,07 Aa	4,83	40,74 Aa	7,31

Em que: Médias seguidas pela mesma letra maiúscula (adesivo) ou minúscula (tratamento) não diferem entre si (Tukey; $p \geq 0,05$).

Os resultados obtidos foram semelhantes aos encontrados por Rivero (2003) que analisou o comportamento do laminado de *Dendrocalamus giganteus* e obteve os melhores resultados para o tratamento em água e adesivo resorcinol-formol com média de 37,14 MPa.

Os valores encontrados para a compressão paralela às fibras foram inferiores àqueles obtidos por Garbino *et al.* (2002), da ordem de 55 MPa. Porém, os autores não citaram o tipo de adesivo e a forma de colagem, nem a idade do bambu e a quantidade e espessura das lâminas utilizadas.

Freire e Beraldo (2003) indicam que a resistência à compressão paralela do bambu laminado situa-se na faixa de 20 a 120 MPa, porém não citam a idade dos colmos, a espécie trabalhada, a quantidade e a espessura de lâminas e a pressão de colagem das lâminas. De acordo com Rivero (2003), esses fatores influenciam significativamente as propriedades do BLC.

Os valores, que deram origem à Tabela 8, foram analisados estatisticamente e indicaram diferenças significativas pelo teste de F (Tabela 5), para a interação entre adesivos e tratamentos. Os efeitos da interação foram desdobrados e analisados pelo teste de Tukey (Tabela 8).

Os valores apresentados demonstram que não há diferenças significativas entre os adesivos testados, quando o bambu foi tratado com CCB ou água.

Para o efeito dos adesivos, observa-se que as amostras aderidas com o adesivo resorcinol-formol, provenientes do bambu tratado com água apresentaram um valor superior ao apresentado por aquelas tratadas com CCB. Isso ocorreu, provavelmente, em função do CCB ter afetado negativamente a qualidade da linha de cola, proporcionando uma menor resistência à compressão paralela. Resultados semelhantes foram encontrados por Rivero (2003).

Quanto à compressão normal às fibras (Tabela 9), observa-se que as maiores médias foram encontradas para as amostras aderidas com adesivo à base de PVA (“Cascorez Extra”), proveniente do tratamento com CCB (20,91 MPa) ou com água (27,75 MPa), e as menores para as aderidas com resorcinol-formol (“Cascofen”), em que as amostras provenientes de taliscas tratadas em águas tiveram média de 17,26 MPa, e aquelas provenientes das tratadas com CCB, média de 19,27 MPa.

Os valores obtidos foram analisados estatisticamente e não apresentaram diferenças significativas pelo teste de F (Tabela 5), para as situações testadas, indicando que a resistência à compressão normal às fibras não esteve relacionada aos tratamentos nem aos adesivos testados.

TABELA 9: Resistência do bambu laminado colado (BLC) à compressão normal às fibras.

TABLE 9: Glue laminated bamboo (GLB) resistance to compression perpendicular to grain.

Tratamentos	Adesivos			
	1 – PVA (MPa)	CV (%)	2 – Resorcinol (MPa)	CV (%)
1 – CCB	20,91	14,44	19,27	1,92
2 – Água	22,75	24,88	17,26	4,40

Os valores médios da resistência ao esforço de cisalhamento na linha de cola são apresentados na Tabela 10. Observa-se, nessa tabela, que a maior resistência foi de 4,52 MPa obtida para os corpos-de-prova confeccionados com o bambu tratado com CCB e colado com resorcinol-formol, e a menor foi de 1,94 MPa obtida para as amostras provenientes do bambu tratado CCB e unidos com PVA.

TABELA 1: Resistência do bambu laminado colado (BLC) ao cisalhamento na linha de cola.

TABLE 10: Glue laminated bamboo (GLB) resistance to shear parallel to glue line.

Tratamentos	Adesivos			
	1 – PVA (MPa)	CV (%)	2 – Resorcinol (MPa)	CV (%)
1 – CCB	1,94 Ba	8,71	4,52 Aa	1,01
2 – Água	2,26 Ba	23,05	3,14 Ab	22,80

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula (adesivo) ou minúscula (tratamento) não diferem entre si (Tukey; $p \geq 0,05$).

Os resultados obtidos foram semelhantes aos encontrados por Rivero (2003) que obteve um valor máximo de 4,60 MPa para o BLC confeccionado com bambu gigante, tratado com água e aderido com resorcinol-formol. Os valores obtidos, no entanto, foram inferiores aos apresentados por Mantilla Carrasco *et al.* (1995), Gonçalves *et al.* (2002) e Wethyavivorn (2002) que encontraram valores de 8,69, 10,00 e 7,50 MPa respectivamente. Porém, esses autores não citam, entre outros fatores, a quantidade de lâminas utilizadas na confecção do BLC.

Os valores que deram origem à Tabela 10 foram analisados estatisticamente e demonstraram que os

efeitos do adesivo e da interação entre adesivos e tratamentos foram significativos pelo teste de F (Tabela 5). A interação entre adesivo e tratamento foi desdobrada e analisada pelo teste de Tukey (Tabela 10). Observa-se que, no tratamento com CCB, o resorcinol-formol apresentou resultados superiores àqueles do PVA, resultado semelhante foi observado para o tratamento com água.

Quanto ao efeito dos adesivos em cada tratamento, observa-se que os corpos-de-prova aderidos com resorcinol-formol e provenientes do bambu tratado com CCB apresentaram resultados superiores aos tratados com água. No entanto, para o PVA, o tratamento do bambu não afetou as características da linha de cola. Além disto, notou-se que os corpos-de-prova aderidos com resorcinol-formol romperam no bambu, enquanto os aderidos com PVA sofreram ruptura na linha de cola, indicando que este adesivo é menos resistente que a resistência inerente ao substrato aderido (bambu). Ou ainda, que o mesmo não penetrou suficientemente na estrutura anatômica do bambu, a fim de garantir uma melhor aderência.

CONCLUSÕES

O adesivo à base de resorcinol-formol proporcionou maior resistência à umidade ao BLC, quando comparado àquele à base de acetato polivinílico. As amostras provenientes de peças tratadas com CCB apresentaram melhor estabilidade dimensional que as tratadas com água.

A resistência à flexão estática e à compressão normal às fibras do BLC não sofreram a influência do tipo de adesivo nem do tratamento preservativo utilizados.

O tipo de adesivo influenciou significativamente os valores de cisalhamento na linha de cola e o tratamento preservativo a rigidez na flexão estática. A combinação entre adesivo e tratamento afetou significativamente a rigidez, a resistência à compressão paralela e o cisalhamento na linha de cola.

As peças tratadas com água e aderidas com resorcinol-formol apresentaram maiores valores na flexão estática e resistência à compressão paralela às fibras. As tratadas com CCB maiores valores de cisalhamento na linha de cola.

A ligação adesiva bambu-bambu (com resorcinol-formol) é uma ligação estrutural forte, com ruptura no bambu e não na linha de cola. Já para o adesivo do tipo PVA, verificou-se o contrário.

O comportamento do bambu laminado colado nos ensaios de flexão, compressão e cisalhamento na linha de cola apresentou resistência adequada para seu uso estrutural, necessitando, no entanto de estudos que verifiquem a influência da idade e da posição (base ou topo) do colmo nas características do BLC produzido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT – NBR 6230. **Métodos de ensaio para madeiras**. Rio de Janeiro, 1985. 89 p.

AZZINI, A.; BERVALDO, A.L. **Métodos práticos para utilização do bambu**. Campinas: UNICAMP, 2001. 14 p.

AZZINI, A.; CIARAMELO, D.; NAGAI, V. Número de feixes vasculares em três espécies de bambu. **Bragantia**, Campinas, v. 36, n. 1, p. 7-10, jan./jun. 1977.

BERVALDO, A.L.; AZZINI, A. **Bambu: características e aplicações**. Guaíba: Agropecuária, 2004. 128 p.

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

FREIRE, W.J.; BERVALDO, A.L. **Tecnologias e materiais alternativos de construção**. Campinas: Ed. da UNICAMP, 2003. 319 p.

GARBINO, L. V.; GONÇALVES, M. T. T.; PEREIRA, M. A. R. Métodos de ensaio para amostras de bambu laminado. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA., 8., 2002, Uberlândia. **Anais ...** Uberlândia: UFU, 2002, 1CDROM.

GHAVAMI, K.; SOLORZANO, I.G. Comparison between microstructure of bamboo culm and wood. In: INTERAMERICAN CONFERENCE ON ELECTRON MICROSCOPY, 3.; MEETING OF THE BRAZILIAN SOCIETY FOR ELECTRON MICROSCOPY, 5., 1995, Caxambu. **Anais...** Caxambu: Acta Microscópica, v.2, n. 3, p. 14, 1995.

GONÇALVES, M. T. T.; PEREIRA, M. A. R.; GARBINO, L.V. Métodos de ensaio de bambu laminado. In:

- ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 8., Uberlândia, 2002. **Anais ...** Uberlândia: UFU, 2002, 1CDROM.
- 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.
- RIVERO, L. A. **Laminado colado e contraplacado de bambu**. 2003, 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- 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).
- STELL, R. G. D.; TORRIE, J. H. **Principles and procedures of statistic**: a biometrical approach. 2nd ed. New York: Mc Graw Hill, 1980. 633 p.
- WETHYAVIVORN, B. Behavior of the glue-laminated bamboo composite. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON NON-CONVENTIONAL MATERIALS AND TECHNOLOGIES, 3. 2002, Vietnam. **Proceedings...** Vietnam: Construction Publishing House, 2002, p. 446-451.