

# VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE ESTRUTURAS COMPÓSITAS Á BASE DE BAMBU LAMINADO COLADO

**Silmara Borges dos Santos**

Graduanda Engenharia Civil – UNIOESTE, Cascavel/PR

**Maxer Antonio Rosa**

Graduando Engenharia Agrícola – UNIOESTE, Cascavel/PR

**MEng. Fábio Luiz Willrich**

Professor UNIOESTE, Cascavel/PR

**Dr. Humberto Correia Lima Júnior**

Professor UFPE, Caruaru/PE

## RESUMO

O bambu é um material renovável com boas características mecânicas, podendo substituir a madeira como material de construção. O objetivo dessa pesquisa foi o estudo da utilização de laminados colados de bambu (BLC) como material estrutural, valendo-se de suas características físico-mecânicas. Foi utilizado o bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus* para a confecção de vigas, as quais foram preparadas com quatro diferentes disposições dos nós e comparadas às madeiras de *Pinho do Paraná* e *Eucalyptus grandis*. Foram avaliados dois tipos de adesivos: um à base de resorcinol-formaldeído e outro à base de poliuretano. As vigas bi-apoiadas, com vão de 75 cm, foram ensaiadas à flexão com dois pontos de carregamento ativo e apresentaram comportamentos semelhantes para ambos os adesivos. As vigas com emendas nas lâminas externas apresentaram resultados inferiores, mas comparáveis às vigas de *Pinho do Paraná*. As demais configurações mostraram comportamentos estruturais similares, com resultados superiores às vigas de madeira. Finalmente, verificou-se que as vigas de BLC apresentam excelente desempenho estrutural, porém com custos elevados pela dificuldade de beneficiamento e produção.

## ABSTRACT

*Bamboo is a renewed material with good mechanical properties, which can replace wood as construction material. This research aimed to study the use of composites of layer bamboo as structure material. The beams were composed of Dendrocalamus giganteus bamboo and four different node layer configurations were prepared. The results were confronted with the ones presented by beams made with wood of Pinho of Paraná and Eucalyptus grandis. In addition, tow types of glues were used: one based on resorcinol-formaldeído and the other on polyurethane. The beams presented 75 cm length and were tested under bending. The results showed that the glues presented the same behavior and the beans with joins in the outer layer had the worst results; nevertheless, they were better than the beams made with Pinho of Paraná. The other layer bamboo beams showed much better structural behavior the ones made of wood. The negative point of those elements was the high cost of production; which can be reduced if they were done in a industrial scale.*

## 1. INTRODUÇÃO

A questão ecológica é hoje um assunto em grande discussão e incentiva a procura por materiais alternativos, visando à preservação do meio ambiente e a qualidade de vida do homem. O bambu é um material vegetal cujas propriedades mecânicas indicam grande potencial a ser explorado pela engenharia. A planta apresenta longos colmos, ocos no interior, os quais são fechados a intervalos mais ou menos regulares, por um diafragma nas regiões dos nós; suas paredes têm excelente resistência à tração e à compressão, comparáveis às mais nobres madeiras ressaltando-se, ainda, seu baixo peso específico, da ordem de  $8,5 \text{ kN m}^{-3}$ , Czarnieski <sup>1</sup>. Apesar das formidáveis propriedades físicas e mecânicas aqui mencionadas, o bambu tem sido pouco utilizado como material na indústria da construção civil devido, basicamente, a dois fatores: à sua configuração geométrica, que impossibilita a confecção de peças estruturais usuais, como vigas e pilares de seções transversais retangulares e à sua baixa resistência ao cisalhamento, que não permite a cravação de pinos, tornando inviável o projeto de estruturas de maior porte, em que se necessite de emendas ou ligações <sup>2</sup>.

Nos últimos anos, com a preocupação global de preservação ambiental e por ser um dos vegetais que mais rápido crescem no planeta, as indústrias orientais de móveis e de papel têm investido em tecnologia para o aproveitamento mais racional do bambu. Dentre tais indústrias destacam-se as de piso laminado de bambu, que atualmente produzem, em escala industrial, pisos laminados de alto padrão de acabamento. Analisando-se este processo industrial de laminação do bambu juntamente com o da madeira laminada colada <sup>3</sup> observa-se que eles podem ser aplicados na fabricação de peças estruturais de bambu laminado colado (BLC). A tecnologia do bambu laminado colado, basicamente elimina os problemas de cisalhamento e geometria, permitindo que este material tenha utilização mais racional na engenharia estrutural <sup>4</sup>.

O Brasil, apesar de possuir grandes reservas naturais em áreas tropicais e subtropicais, onde ocorrem espécies de bambu, tais como, *Dendrocalamus giganteus* e o *Bambusa vulgaris* com potencial adequado para a fabricação do bambu laminado colado (BLC), sua utilização é pouco difundida e limita-se a construções temáticas e de luxo. Com base neste contexto, realizou-se uma análise da resistência de vigas formadas por bambu laminado colado (BLC), através de ensaios de flexão. Foram avaliados dois adesivos: um a base de resorcinol-formaldeído e outro à base de poliuretano. Assim pretende-se contribuir para a disseminação da utilização do bambu como material estrutural.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O bambu utilizado foi da espécie *Dendrocalamus giganteus*, obtido do Zoológico de Cascavel, PR, cujos colmos foram cortados com idade entre quatro e cinco anos e secados em estufa a  $105^\circ\text{C}$ , até atingir uma umidade entre 8% e 10%.

Para a caracterização das propriedades mecânicas, foram extraídos corpos-de-prova dos colmos, das regiões basal e intermediária e trechos com e sem nó, sendo a avaliação da resistência à tração e compressão, paralelos às fibras, de acordo com procedimentos adotados por LIMA Jr. <sup>5</sup>. Os corpos-de-prova para ensaio de tração apresentavam dimensões de 45 cm de comprimento e seção transversal média de 1 cm x espessura da parede do bambu (Figura 1), com amostras com e sem nó e com nó laminado. Para ensaio de compressão, foram utilizados troncos de colmos de comprimento de 25 cm e espessura da parede do bambu (Figura 2). Os

ensaios foram realizados em uma máquina universal de ensaios com capacidade de 1000 kN.

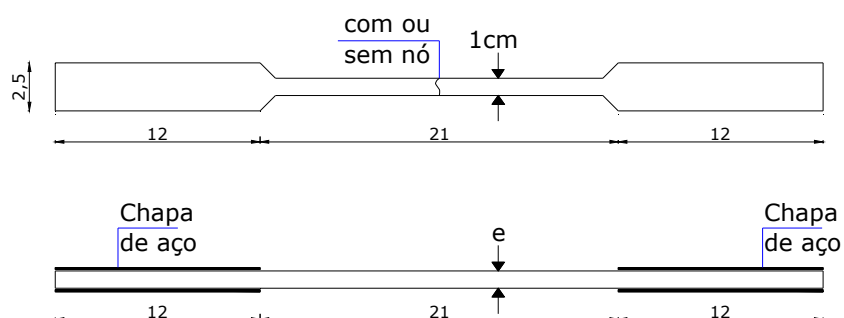


Figura 1 – Dimensões dos corpos-de-prova para ensaio de tração



Figura 2 – Ensaio de Compressão

Os colmos foram cortados em taliscas com uma serra circular, as quais foram aplainadas em uma desengrossadeira e lixadas através de lixadeira elétrica de três estágios para a regularização das superfícies e padronização da espessura das lâminas, em 7,3 mm, em função da espessura das paredes do bambu. Devido às ondulações longitudinais e imperfeições das paredes do bambu pela presença dos nós e a falta de equipamentos específicos houve uma grande dificuldade na preparação das lâminas de bambu.

Para a junção das lâminas foram utilizados dois adesivos: o CASCOPHEN-RS, à base de resina fenólica resorcinol-formaldeído e o PURBOND HB 712 que é um mono-componente à base de poliuretano. Ambos foram preparados e aplicados conforme informações do fabricante.

As vigas de BLC foram preparadas com quatro diferentes disposições dos nós e emendas conforme a Figura 3, sendo dois exemplares de cada, com um total de oito vigas para cada cola utilizada. As vigas foram confeccionadas com sete lâminas, apresentando seção transversal de 2,9 cm de largura por 5,1 cm de altura e 81 cm de comprimento.

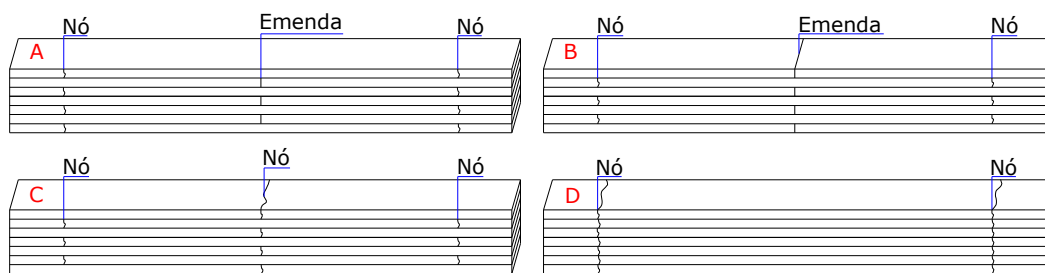


Figura 3 – Disposição das lâminas e dos nós nas vigas de BLC, tipos A, B, C e D.

Para a preparação das vigas de BLC, foi montado um dispositivo de prensagem, conforme mostrado na Figura 4, permitindo-se trabalhar com duas peças de cada vez. O adesivo foi espalhado nas lâminas manualmente, com ajuda de pincéis. As lâminas foram sobrepostas e prensadas por uma prensa hidráulica e travamento por meio de parafusos. O tempo de secagem seguiu as recomendações de cada adesivo utilizado.



Figura 4 – Dispositivo de prensagem

Foram ainda confeccionados corpos-de-prova de bambu laminado colado, utilizando-se o mesmo procedimento de preparo das vigas, para ensaio de compressão axial. Estes apresentaram seção transversal de 2,9 cm de largura por 5,1 cm de altura e comprimento de 15 cm.

Objetivando-se a comparação entre as vigas de BLC e vigas de madeira natural, usualmente empregadas na construção civil, foram preparadas duas vigas de madeira de *Eucalyptus grandis* e duas vigas de Pinho do Paraná, ao natural, com dimensões idênticas as vigas de BLC.

As vigas bi-apoiadas, com vão de 75 cm, foram ensaiadas à flexão com dois pontos de carregamento ativo (P + P) nos terços médios e dois reativos nos apoios extremos. As cargas foram aplicadas através de dois cilindros hidráulicos conectados cada um a uma célula de carga, com capacidade de 10 t. Os deslocamentos centrais verticais foram obtidos através de medidores de deslocamento potenciométricos, com curso de 100 mm e precisão de 0,01 mm. As leituras foram realizadas por um sistema de aquisição de dados a 5 Hz, e gravadas em um computador. A Figura 5 mostra as vigas de laminado colado de bambu, enquanto as Figuras 6 e 7 mostram os ensaios de flexão realizados.



Figura 5 – Vigas de Bambu Laminado Colado com 7 lâminas de 7,3 mm

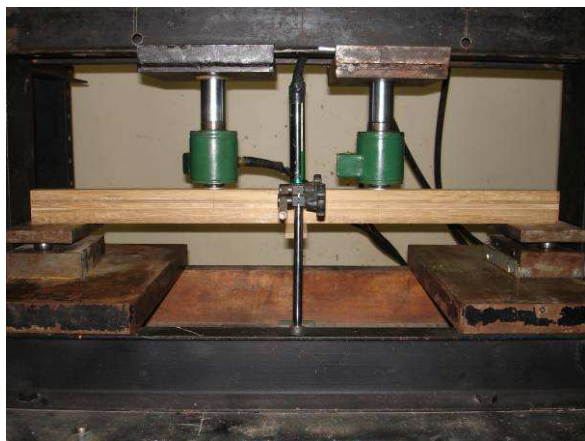


Figura 6 – Vigas de Bambu Laminado Colado: ensaio de flexão

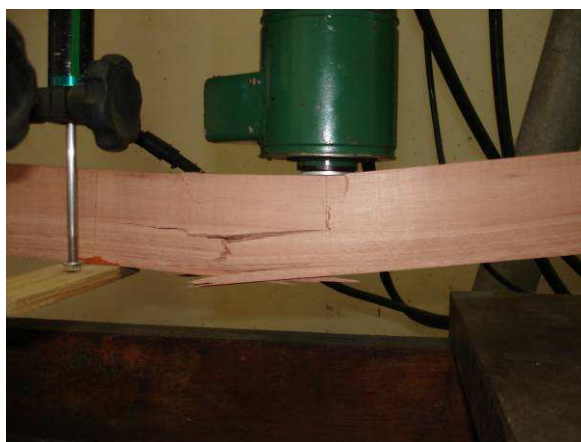
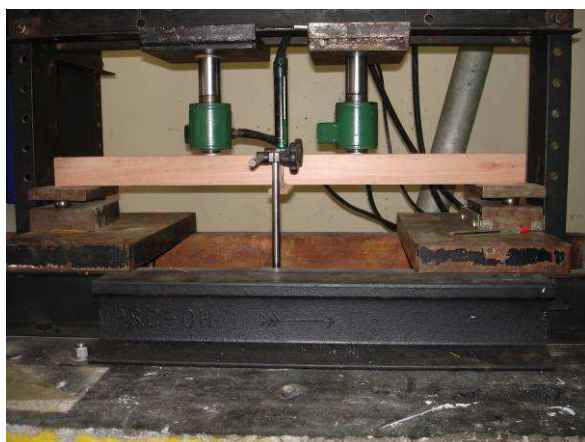


Figura 7 – Vigas de Madeira natural: ensaio de flexão

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nos ensaios de caracterização do bambu, obteve-se uma resistência média à tração paralela as fibras de 265,5 MPa para corpos-de-prova sem nó, 179,7 MPa para corpos-de-prova com nó ao natural e de 170 MPa para corpos-de-prova com nó laminado (seção transversal constante na região do nó). Já a resistência média à compressão paralela as fibras foi de 107 MPa, sendo pouco influenciada pela presença de nó.

Para os corpos-de-prova de BLC 2,9 x 5,1 x 15 cm obteve-se resistência média à compressão paralela as fibras de 91,72 MPa com desvio padrão de 9,89 MPa, os quais apresentam-se superiores as principais madeiras utilizadas nas construções (segundo ABNT <sup>6</sup> – NBR7190/97, o Pinho do Paraná apresenta resistência à compressão paralela às fibras de 40,9 MPa e o *Eucalyptus grandis* de 40,3 MPa).

Nos ensaios de flexão das vigas de BLC verificou-se que a metodologia de ensaio e leituras de dados mostrou-se adequada. A Figura 9 mostra os diagramas de comportamento carga vs. deslocamento central obtidos durante os ensaios de flexão. Pode-se observa-se um comportamento praticamente linear até próximo das cargas de ruptura, tanto para as vigas de BLC como para as vigas de madeira. A ruptura se deu de forma brusca, mais evidenciada nas vigas de BLC. Na Tabela 1, estão dispostos os valores das cargas de início de ruptura, os deslocamentos verticais centrais correspondentes, a carga máxima e a forma de ruptura.

Para ambos os adesivos utilizados, a forma de ruptura para os tipos de vigas estudados, mostrou-se semelhante, de acordo com a disposição das lâminas, dos nós e emendas, sem ruptura no adesivo, indicando boa eficiência destes.

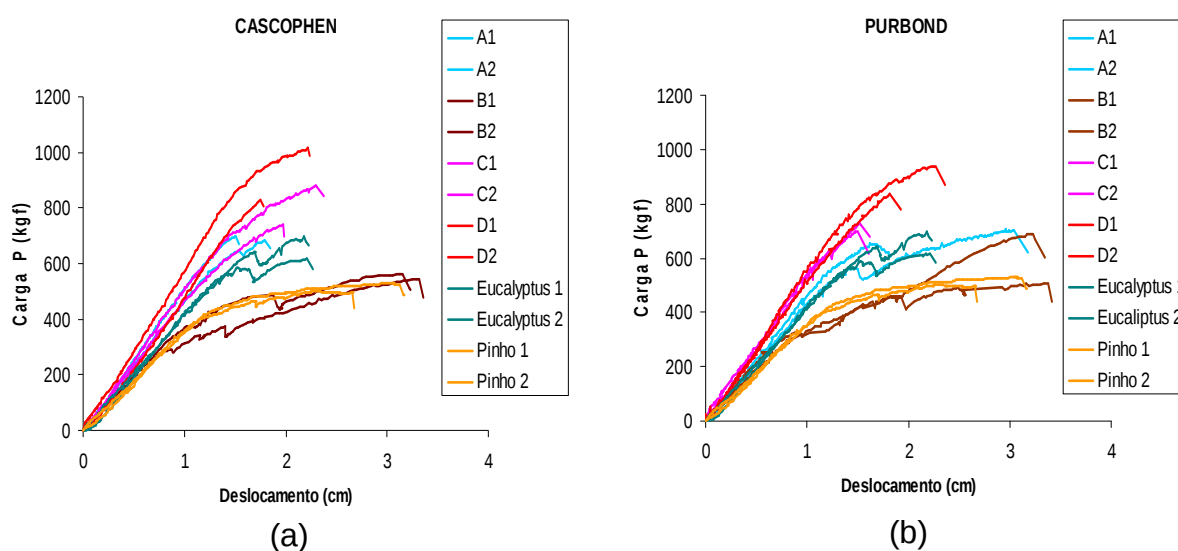


Figura 9 – Ensaio carga vs. deslocamento central para as vigas: a) BLC com adesivo Cascophen-RS, b) BLC com adesivo Purbond, HB 712.

Em média as cargas de ruptura das vigas de BLC coladas com adesivo Cascophen-RS, apresentaram-se ligeiramente superiores às coladas com adesivo Purbond HB 712, porém ambos apresentaram valores individuais aproximados. Isto se deve em função da variabilidade das características do bambu entre os colmos.

Tabela 1 – Comportamento das vigas: carga-deslocamento e forma de ruptura

| Vigas                                         | Início de ruptura (kN) | Deslocam. Central (cm) | Carga Máxima (kN) | Modo de ruptura                                                                          |
|-----------------------------------------------|------------------------|------------------------|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vigas de BLC com adesivo CASCOPHEN-RS         |                        |                        |                   |                                                                                          |
| A1                                            | 6,91                   | 1,44                   | 7,01              | Cisalhamento paralelo às fibras na 3ª lâmina tração junto ao nó da lâmina inferior       |
| A2                                            | 6,50                   | 1,51                   | 6,82              |                                                                                          |
| B1                                            | 3,73                   | 1,02                   | 5,76              | Ruptura na emenda da lâmina inferior com posterior ruptura por tração inferior 2ª lâmina |
| B2                                            | 2,95                   | 0,82                   | 5,53              |                                                                                          |
| C1                                            | 6,50                   | 1,55                   | 7,37              | Ruptura por tração no nó central da lâmina inferior.                                     |
| C2                                            | 7,14                   | 1,51                   | 7,29              |                                                                                          |
| D1                                            | 7,56                   | 1,55                   | 8,25              | Cisalhamento paralelo às fibras na 3ª lâmina contada de baixo para cima.                 |
| D2                                            | 8,80                   | 1,61                   | 10,19             |                                                                                          |
| Vigas de BLC com adesivo PURBOND HB 712       |                        |                        |                   |                                                                                          |
| A1                                            | 5,76                   | 1,31                   | 6,50              | Compressão das fibras da lâmina superior.                                                |
| A2                                            | 5,40                   | 1,34                   | 7,06              |                                                                                          |
| B1                                            | 3,12                   | 0,90                   | 5,06              | Rompimento na emenda da lâmina inferior.                                                 |
| B2                                            | 3,32                   | 0,93                   | 6,87              |                                                                                          |
| C1                                            | 6,04                   | 1,16                   | 6,96              | Tração no nó central da lâmina inferior.                                                 |
| C2                                            | 6,32                   | 1,22                   | 7,29              | Cisalhamento paralelo às fibras na 3ª lâmina.                                            |
| D1                                            | 825                    | 1,64                   | 9,36              | Cisalhamento paralelo às fibras da 3ª lâmina contada de baixo para cima.                 |
| D2                                            | 812                    | 1,73                   | 8,35              |                                                                                          |
| Vigas de madeira de <i>Eucalyptus grandis</i> |                        |                        |                   |                                                                                          |
| E1                                            | 557                    | 1,36                   | 611               | Compressão das fibras superiores e consequente ruptura das fibras inferiores por tração. |
| E2                                            | 608                    | 1,64                   | 690               |                                                                                          |
| Vigas de madeira de <i>Pinho do Paraná</i>    |                        |                        |                   |                                                                                          |
| P1                                            | 3,96                   | 1,12                   | 5,17              | Compressão das fibras superiores e consequente ruptura das fibras inferiores por tração. |
| P2                                            | 3,87                   | 1,17                   | 4,93              |                                                                                          |

As vigas tipo B com emendas centrais nas lâminas externas e intercaladas apresentaram as menores cargas de ruptura e menor rigidez à flexão, em função da diminuição da inércia, nesta região. Nestas ocorreu inicialmente o desprendimento das lâminas externas e, com o aumento das cargas, a ruptura se deu por tração na 2ª lâmina (medida de baixo para cima). Na parte superior ocorre a compressão de topo nas fibras do bambu na seção da emenda das lâminas, de maneira que a diminuição da seção se caracteriza nas lâminas com emendas nas zonas tracionadas, ocorrendo uma maior possibilidade de ruptura destas.

As vigas tipo A com lâminas intermediárias emendadas apresentaram, rigidez superior às vigas tipo B, porém inferior às vigas tipo C, com lâminas sem emendas, mas com nós centrais nas lâminas extremas e intercaladas. As vigas tipo D

apresentaram os melhores resultados, porém com rupturas por cisalhamento paralelo às fibras, o que limitou a capacidade de carga, sem apresentar ruptura por compressão e/ou tração normal, fato este que ocorreu também em algumas vigas do tipo A e C, indicando baixa resistência ao cisalhamento paralelo às fibras.

As vigas de madeira natural de Pinho do Paraná apresentaram rigidez e cargas de ruptura aproximadas às vigas de bambu tipo B, com ruptura inicial por compressão das fibras superiores e com grandes deformações romperam por tração nas fibras inferiores. O mesmo ocorreu para as vigas de *Eucalyptus grandis*, porém com comportamento aproximado as vigas de bambu tipo A, em termos de rigidez e cargas de ruptura.

#### **4. CONCLUSÕES**

O bambu apresenta boa resistência à tração paralela as fibras nas regiões sem nós (de aproximadamente 265 MPa), enquanto que na região dos nós cai significativamente (40%). Sua resistência à compressão chega a ser de duas a três vezes menores que a resistência à tração.

De acordo com as formas de ruptura apresentadas em grande parte das vigas ensaiadas à flexão, conclui-se também que o bambu apresenta baixa resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, com ruptura ocasionada por este fenômeno e impedindo ruptura por tração nos nós e/ou por compressão das fibras. Com a inserção dos nós e emendas nas regiões centrais das vigas, conforme disposições estudadas, os resultados se refletem em diminuição de rigidez e conseqüentemente nas cargas últimas, principalmente para as vigas com lâminas extremas emendadas nas regiões de tração máxima. Os adesivos utilizados mostraram-se eficientes para utilização em vigas laminadas coladas de bambu. As vigas de BLC à flexão apresentaram comportamento carga-deslocamento e cargas de ruptura semelhantes para ambos os adesivos. As vigas tipo B com emendas nas lâminas externas apresentaram resultados, previstos, inferiores, mas comparáveis às vigas de Pinho do Paraná. As vigas tipo A, C e D (Figuras 9a e 9b), mostraram-se aproximadas, com resultados superiores às vigas de madeira de *Eucalyptus grandis*. As vigas de BLC apresentam-se adequadas estruturalmente, porém com custos elevados pela dificuldade de beneficiamento e produção.

#### **5. AGRADECIMENTOS**

Deixemos expressos os agradecimentos ao CNPq pelo incentivo à pesquisa científica e concessão da bolsa PIBIC ao primeiro autor; à Mario Alberto Gaete Olmedo através da National Starch & Chemical pelo fornecimento da cola PURBOND e a Bresolin Madeiras por permitir a utilização de equipamentos que foram essenciais ao projeto aqui exposto.

#### **6. REFERÊNCIAS**

1. CZARNIESKI, C. J.; MESQUITA, L. P.; FABRO, G.; WILLRICH, F. L.; LIMA JUNIOR, H. C. Vigas de concreto reforçadas com bambu *Dendrocalamus giganteus*: parte 1 - análise experimental. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande - PB, v. 9, n. 4, p. 642-651, 2005.
2. MESQUITA, L. P.; CZARNIESKI, C. J.; BRAGA, A. C.; WILLRICH, F. L.; LIMA JUNIOR, H. C. ; BARBOSA, N. P. Determinação da tensão de aderência de cálculo bambu-concreto. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande - PB, v. 10, n. 2, p. 505-516, 2006.

3. BONO, C. T. Madeira laminada colada na arquitetura: sistematização de obras executadas no Brasil. São Carlos: EESC/USP, 1996. 365p. Dissertação Mestrado
4. 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-PB, v.5, n.3, p.519-524, 2001.
5. LIMA JUNIOR, H. C.; BARBOSA, N. P.; WILLRICH, F. L.; DALCANAL, P. R. Características mecânicas do bambu *Dendrocalamus giganteus*: Análise teórica e experimental. Sustainable Construction Into Next Millenium. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa. 2000.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR7190/90. Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro. 1997