

ANÁLISE EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE VIGAS LAMINADAS COLADAS CONFECCIONADAS COM TALISCAS DE BAMBU

Franciele Pereira Magnus (1), Marcio Vito (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1) francielemagnus@gmail.com (2) marciovito@unesc.net

RESUMO

O presente trabalho apresenta e discute uma análise experimental de vigas de bambu laminado colado (BLC), assim como pretende estimular o uso do bambu, enfocando a simplificação dos processos construtivos e a redução do impacto ambiental causado pelos convencionais métodos de construção. Para a confecção do laminado foram utilizadas taliscas provenientes do bambu *Bambusa vulgaris*, as quais foram preparadas com emendas de topo e adesivo à base de ureia-formaldeído. As vigas foram ensaiadas por meio do ensaio de flexão estática de quatro pontos e os resultados foram comparados com os de outros autores e dados referentes às madeiras de reflorestamento. A resina sintética à base de ureia-formol não apresentou resultados satisfatórios como adesivo quando não utilizado sob pressão no momento da colagem. Pode-se concluir, no entanto, que o emprego de lâminas de bambus, direcionados à pré-fabricação de elementos estruturais é plenamente viável.

PALAVRAS CHAVE: Bambu. Laminado colado. Adesivo. Viga

1. INTRODUÇÃO

A escassez dos recursos naturais, associada ao desenvolvimento de novas tecnologias, tem incentivado a procura por materiais ambientalmente corretos, visando o desenvolvimento sustentável e à melhoria da qualidade de vida. Neste contexto se insere o bambu, que é um material vegetal cujas propriedades mecânicas indicam grande potencial a ser explorado pela engenharia. Constata-se na literatura que algumas espécies de bambu podem atingir resistências a compressão e tração superiores a 60 e 250 MPa, respectivamente.



Suas paredes apresentam excelente resistência à tração e à compressão, comparáveis às mais nobres madeiras, além de apresentar baixo peso específico e rápido crescimento.

Apesar das excelentes propriedades físicas e mecânicas, o bambu tem sido pouco utilizado como material na indústria da construção civil no Brasil devido, basicamente, a três fatores: à sua configuração geométrica, que impossibilita a produção de peças estruturais usuais, como vigas e pilares de seções transversais retangulares; à sua baixa resistência ao cisalhamento, que não permite a cravação de pinos, tornando inviável o projeto de estruturas de maior porte, onde há necessidade de emendas e ligações; e à durabilidade (MESQUITA et al., 2006).

Observando todo o potencial construtivo e adaptabilidade do bambu em nosso território, a adoção de técnicas construtivas com o uso do bambu; e em especial, em forma de lâminas, tema focado neste artigo, permite o aproveitamento deste recurso em razão da necessidade de adotar soluções que visem à simplicidade e à racionalização dos processos de produção e execução de estruturas, bem como, contribuir com novas opções tecnológicas para a indústria da construção civil.

A tecnologia do bambu laminado colado basicamente elimina os problemas de cisalhamento e de geometria discutidos anteriormente, permitindo que esse material tenha utilização mais racional na engenharia estrutural (LIMA JÚNIOR; DIAS, 2001). Os laminados tem vantagens relacionadas a execução de peças de grandes dimensões e construção de peças com eixo curvo, satisfazendo necessidades arquitetônicas. Em contrapartida, apresentam elevado custo de produção. Na ausência de norma específica para execução de ensaios de peças de BLC, foi utilizada a NBR 7190 (ABNT, 1997) como base para os procedimentos adotados neste artigo. A referida norma estabelece que peças de madeira laminadas coladas devam ser constituídas por lâminas com espessuras não superiores a 30 mm, coladas com adesivo a base de formaldeído sob pressão.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 BAMBU

Utilizou-se o *Bambusa vulgaris*, por apresentar boas propriedades físico-mecânicas e facilidade de obtenção. O material foi coletado numa propriedade particular no município de São João do Sul/SC. Os colmos de bambu com idade superior a 5 anos, apresentavam comprimento médio de 10 m e comprimento internodal de 30 cm. Estes foram cortados e deixados secar à sombra, em temperatura ambiente, durante um mês. Após a secagem, os colmos cortados foram transformados em taliscas com o auxílio de uma serra circular. Para o processo de aparelhamento das taliscas foi utilizado lixadeira elétrica para retirada de parte do diafragma e camada interna, desengrossadeira para retirada da camada externa e plaina de bancada para a regularização das superfícies e uniformização da espessura das ripas. As camadas eram eliminadas pois apresentavam superfícies muito lisas, as quais iriam comprometer a penetração e aderência com a resina, bem como fornecer maior uniformidade às lâminas. A Figura 1 ilustra a transformação do bambu verde recém cortado (a) em taliscas (b), e posteriormente, em lâminas (c).

Figura 1 – Transformação do bambu em lâminas



a) Bambu verde

b) Taliscas

c) Lâminas

Fonte: Autor (2014).



2.2 ADESIVO

Para a confecção do laminado colado de bambu foi utilizado uma resina sintética, líquida aquosa, à base de uréia-formol, utilizada em colagens em geral na fabricação de compensados, sendo escolhido devido a sua eficaz resistência ao cisalhamento e à tração. O adesivo foi preparado seguindo a orientação do fabricante: Para cada 100 partes da resina foram utilizadas 20 partes de farinha de trigo, após bem misturado era adicionado 20 partes de água e 3 partes de endurecedor G. A farinha tem a função de extensor na mistura do adesivo, com a finalidade de concorrer para o bom resultado da colagem, tanto no aspecto técnico como no econômico.

2.3 PREPARO DO BAMBU LAMINADO COLADO (BLC)

Foram confeccionadas 3 vigas para a realização do ensaio, com uma média de 40 lâminas de bambu para a seção da área, coladas entre si com emendas de topo. Após a limpeza das taliscas de bambu com escova de cerdas de nylon, a aplicação do adesivo seguiu a recomendação de CARRASCO et al (1995), em que a linha adesiva deve ser o mais fina possível preenchendo toda a superfície a ser colada, o adesivo foi distribuído com o auxílio de um pincel utilizando-se 250 g/m². Assim, as duas faces das lâminas receberam uma camada de cola e passando, imediatamente, para a prensa manual a frio. Para a colagem, as ripas foram dispostas tanto paralelamente quanto perpendicularmente às fibras. Neste estudo não foi aplicado pressão no momento da colagem, o controle da força de prensagem foi feito visualmente, mas de forma cuidadosa, de maneira que as lâminas não ficassem afastadas umas das outras e tampouco muito pressionadas, a ponto de remover todo o adesivo existente nas interfaces, conforme figura 2. Após a cura do adesivo, segundo recomendações dos fabricantes, retirava-se o BLC do equipamento de prensagem e efetuava-se o acabamento com o auxílio de serra circular, plaina de bancada e lixadeira elétrica.

As seções transversais se mantêm dentro do mínimo exigido pelo item 10.2.1 da NBR 7190/1997, que é de 5 cm de espessura e área mínima de 50 cm², apresentando 5 cm de base por 10,4 cm de altura e 200 cm de comprimento. A metodologia inicial adotada foi a mesma utilizada para a elaboração da Madeira Laminada Colada (MLC), de acordo com CARRASCO et al. (1995).

Figura 2 – Processo de colagem



Fonte: Autor (2014)

2.4 MÉTODO DE ENSAIO

As vigas analisadas, com vão teórico de 190,00 cm, foram ensaiadas à flexão estática por meio do ensaio de flexão de quatro pontos, sendo dois pontos de carregamento ativo nos terços médios, e dois reativos nos apoios extremos. A instrumentação utilizada no ensaio tem como objetivo medir a evolução do deslocamento vertical máximo no centro do vão com acréscimo de carga. As cargas foram aplicadas a uma velocidade média de 10 N/s, por meio de cilindro hidráulico conectado a uma célula de carga, com capacidade de 500 kN.

Os deslocamentos centrais verticais (no meio do vão) foram obtidos através de medidores de deslocamento do tipo LVDT, com curso de 100 mm e sensibilidade de 0,01 mm. As leituras foram realizadas por um sistema de aquisição de dados e gravadas em um computador. Para o ensaio a viga foi posicionada sobre dois roletes nas extremidades, de modo a simular uma viga biapoiada.

Por meio de uma viga metálica rígida com perfil I, o carregamento foi distribuído para a viga nos terços médios do vão. Na Figura 2, exibe-se uma das vigas de BLC preparada para o ensaio.

Figura 2 - Detalhes do ensaio das vigas



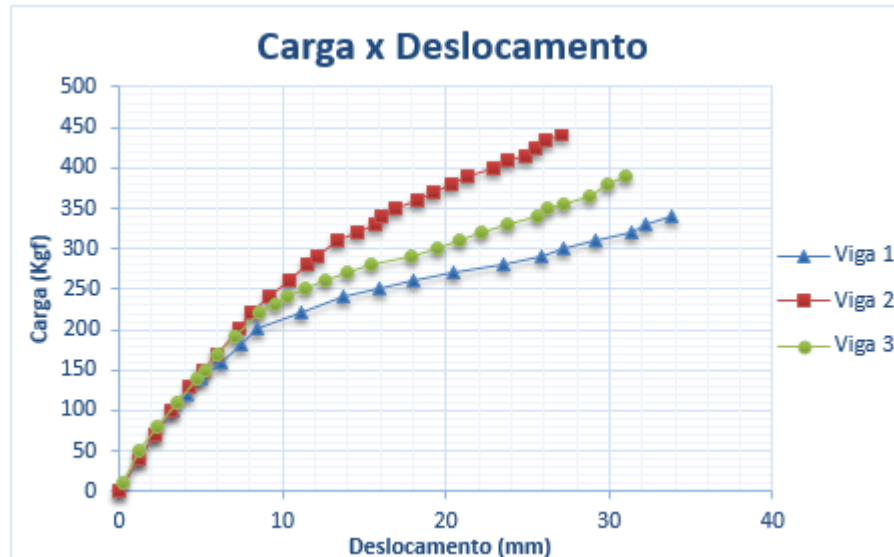
Fonte: Autor (2014).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA

Nos ensaios de flexão das vigas de BLC verificou-se que a metodologia de ensaio e leitura de dados mostrou-se adequada. Para as análises das vigas ensaiadas foram construídos gráficos carga x deslocamento (Figura 3) e o deslocamento central foi o deslocamento mensurado no meio do vão pelo LVDT. Os dados apresentados a seguir foram obtidos dos ensaios realizados no Laboratório Experimental de Estruturas (LEE) do IParque – UNESC.

Figura 3 – Gráfico Carga x Deslocamento



Fonte: Autor (2014).

Observou-se no ensaio de flexão estática que os corpos-de-prova romperam na linha de cola, indicando a ineficiência do adesivo utilizado. Foi verificado que, à medida que a força foi sendo aplicada, até atingir um limite máximo, as fibras começaram a deformar-se, ocorrendo o rompimento da viga. Na Tabela 1, concatenam-se os principais dados das vigas ensaiadas: cargas de ruptura, deslocamentos centrais verticais correspondentes e forma de ruptura.

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

Vigas	Carga Máxima (kN)	Deslocamento Vertical (cm)	Modo de ruptura
V1	3,92	3,38	Ruptura na emenda da ripa inferior devido ao descolamento dela e cisalhamento das taliscas
V2	4,90	2,70	Ruptura na ripa inferior sem descolamento da talisca, cisalhamento das taliscas
V3	4,31	3,10	Ruptura no meio da viga sem descolamento da talisca, não ocorreu cisalhamento na peça.
Média	$4,38 \pm 0,49$	$3,06 \pm 0,34$	

Fonte: Autor (2014)

Segundo o modo de ruptura e determinação da resistência à flexão, a ruptura se deu por tração, iniciando nas fibras inferiores. A viga V1 apresentou módulo de ruptura de 14,77 MPa (Figura 4), salienta-se que foi utilizada uma quantidade maior de ripas com menor comprimento para a confecção desta viga, comparado com a confecção das outras, que utilizaram uma quantidade menor de taliscas, porém mais compridas. Para as mesmas condições de ruptura, a viga V2 e V3 obtiveram um módulo de ruptura no valor de 18,38 MPa (Figura 5) e 16,90 MPa (Figura 6), respectivamente.

Figura 4 – Ruptura da viga 1



a) Ruptura da viga 1
Fonte: Autor (2014).



b) Detalhe ruptura da viga 1

Figura 5 – Ruptura da viga 2



a) Ruptura da viga 2
Fonte: Autor (2014).



b) Detalhe ruptura da viga 2

Figura 6 – Ruptura da viga 3



a) Ruptura da viga 3
Fonte: Autor (2014).



b) Detalhe ruptura da viga 3

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

O módulo de elasticidade (MOE) e o módulo de ruptura (MOR) apresentaram valores médios da ordem de 11,20 GPa e 16,57 MPa, respectivamente. O valor de MOR encontrado, provavelmente está relacionado à falta de pressão de colagem dos blocos. Uma maior pressão reduz espaços vazios e densifica o material conferindo-lhe maior resistência mecânica. Para comparações dos resultados, foi pesquisado dados na literatura de autores que utilizaram diferentes espécies de bambu, adesivo e valores de pressão no momento da colagem, para a confecção dos laminados de bambu.

O valor médio do módulo de elasticidade (MOE) foi próximo daquele obtido por GONÇALVES et al. (2002), da ordem de 11,80 GPa. Esse valor é bastante superior ao módulo de elasticidade encontrado por OLIVEIRA & PAEZ (2006), que ficou em torno de 6,00 GPa. RIVERO (2002) também encontrou valores reduzidos, em torno de 5,71 GPa, como pode ser verificado na Tabela 2.

Tabela 2 - Comparação de MOE

	BLC <i>D. giganteus</i> (MPa)	BLC <i>Phyllostachys</i> (MPa)	BLC <i>B. Vulgaris</i> (MPa)
CARRASCO et al (1995)	17949	X	X
GONÇALVES (2002)	X	11800	X
WETHYAVIVORN et al (2002)	3000 a 4000	X	X
RIVERO (2003)	5713	X	X
OLIVEIRA & PAEZ (2006)	6000	X	X
LAPO (2007)	18400	X	X
PAES et al (2009)	43000 a 96000	X	X
MAGNUS (2014)	X	X	11200

Fonte: Autor (2014)

O valor de resistência à flexão se mostrou muito abaixo dos principais autores relacionados à BLC. Corpos-de-prova de *Dendrocalamus giganteus* confeccionados por RIVERO (2003), com adesivo resorcinol-formaldeído, obteve um valor médio de módulo de ruptura (MOR) de 69,16 MPa, OLIVEIRA & PAEZ (2006), por sua vez, forneceram um valor médio de 89,3 MPa, já LIMA et al. (2014), nos corpos-de-prova com emendas obteve valor de 70,5 MPa enquanto que nos sem emendas, a média final foi 95,1MPa. WETHGAVIVORN et al. (2002), com o bambu *Phyllostachys sp*, encontrou valores da ordem de 94 MPa.

Para RIVERO (2003) os corpos-de-prova com bambu *D. giganteus*, utilizando-se o adesivo ureia-formaldeído, forneceu a maior média para o MOR, de 72,57 MPa, sendo seguido pelo *B. vulgaris*, com o mesmo adesivo, com média de 71,04 MPa.

Os laminados confeccionados com a mesma espécie de bambu e com o adesivo à base de PVA, forneceram melhores resultados para OLIVEIRA & PAEZ (2006) que obtiveram um valor médio do módulo de ruptura de 89,67 MPa. PAES et al. (2002) obteve valor médio de 88,89 MPa. Já para LIMA et al. (2014), o resultado foi inferior ao obtido com o adesivo resorcinol-formaldeído, com média, de 37,9 MPa, para os protótipos que apresentavam emendas, contra 29,64 MPa para os que não apresentavam.

O bambu laminado colado poderia ser enquadrado na categoria de madeira leve, porém apresentando um elevado módulo de ruptura, da ordem de 94 MPa, similar ao de várias madeiras densas brasileiras. Na Tabela 3 é apresentado um comparativo entre os resultados obtidos de autores sobre BLC com valores de madeiras maciças folhosas de reflorestamento.

Tabela 3 – Comparativo entre BLC e madeiras de reflorestamento

BLC	F _{c,o} (MPa)	E (MPa)	Tipos de madeira	F _{c,o} (MPa)	E (MPa)
CARRASCO et al (1995)	X	17494	Cedro Amargo	39	9839
WETHYAVIVORN et al (2002)	94,0	3000 a 4000	Cedro Doce	31,5	8058
RIVERO (2003)	72,0	5713	Eucalipto Citriadora	62	18421
OLIVEIRA & PAEZ (2006)	89,7	6000	Eucalipto Grandis	40,3	12813
LAPO (2007)	121,4	18400	Eucalipto Saligna	46,8	14933
PAES et al (2009)	88,9	4300 a 9600	Pinus Elliotti	48,0	8846
Lima et al (2014)	95,1	X			
MAGNUS (2014)	16,6	11200			

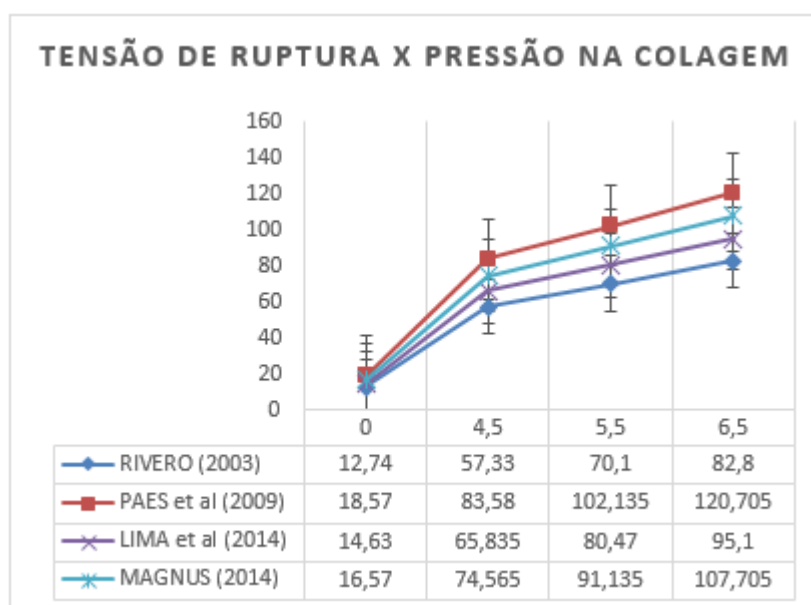
Fonte: Autor (2014).

Acredita-se que os principais fatores intervenientes nas variações encontradas no MOR poderiam ser devido a espessura das taliscas, quantidade de taliscas empregadas, tipo do adesivo, método de aplicação do adesivo, pressão utilizada no sistema de colagem e emendas. Com os dados obtidos do trabalho de RIVERO (2003), percebemos que o bambu *D. giganteus*, usualmente utilizado nos trabalhos relacionados a bambu por fornecer taliscas mais espessas, obteve resultados inferiores ao *B. vulgaris*, que tem as paredes dos colmos com espessura inferior.

A aplicação do adesivo e a quantidade usada por cm^2 são muito parecidos nos diversos trabalhos aqui relatados, já o tipo de adesivo variou muito em relação ao resultado final, como o PVA que com PAES et al. (2009) obteve resultado de 88,89 MPa e em contrapartida LIMA et al (2014) encontrou valores de 37,9 MPa. Quanto as emendas, LIMA et al (2014) demonstrou que elas aumentavam a resistência à flexão quando utilizadas com adesivo a base de PVA e tinham o efeito inverso quando usadas com resorcinol-formaldeído.

Para definição da influência da pressão no momento da colagem foi feito uma estimativa dos resultados de quatro autores relacionando seus resultados com o valor da prensagem inicial. Os resultados são apresentados na Figura 7.

Figura 7 – Comparativo MOR x Pressão aplicada na colagem



Fonte: Autor (2014).

5. CONCLUSÕES

O estudo comparativo entre os diferentes autores de bambu laminado colado e madeiras demonstraram que o BLC mostrou-se bastante eficiente, podendo, em determinadas situações, tornar-se competitivo com as madeiras de reflorestamento.



Constatou-se que a falta de pressão no momento da colagem influenciou diretamente no esforço ao qual o material foi submetido. Torna-se recomendável que nas emendas as lâminas sejam prensadas por partes, para que seja mantida a uniformidade e a resistência do material.

Outro fator que pode ter influenciado significativamente na capacidade de resistência da viga é referente aos apoios utilizados, do tipo classe 1. Para tanto, sugere-se a utilização de apoios engastados para a realização do ensaio.

A falta de critérios para o dimensionamento de estruturas de bambu laminado colado, corroboram que, tão importante quanto à determinação das propriedades mecânicas, é a elaboração de normas específicas, no sentido de oferecer respaldo técnico e aferir mais segurança à elaboração dos projetos estruturais.

O emprego das lâminas de bambus da espécie *Bambusa vulgaris* em sistemas construtivos abertos e voltados para pré-fabricação de elementos estruturais, é plenamente viável. Espera-se que os resultados obtidos impulsionem novas investigações, no sentido de buscar tecnologias construtivas que estimulem ainda mais o uso do bambu no Brasil.



6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

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

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de Madeira**. 6. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2003. 224 p.

RIVERO L. A. **Laminado colado e contraplacado de bambu**. 2003. 67f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) –Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP, 2003.

LIMA, D. M. de. **Bambu Laminado Colado (*Dendrocalamus giganteus*) Aplicado à Treliça Plana Tipo Howe e à Viga Retangular**. Recife, 2013. 234 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

CARRASCO, E. V.M. **Resistência, Elasticidade e distribuição de tensões nas vigas retas de madeira laminada colada (MLC)**. São Carlos. 1989. Tese de Doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

AZZINI, A.; e BERARDO. A. L. **Métodos práticos para utilização do bambu**. Gráfica da Unicamp,. Campinas,SP, 14.pp, 2001.

CARRASCO, E. V. M.; MOREIRA, L. E.; XAVIER, P V. **Bambu laminado e colado**. In: XV ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA. EBRAMEM. 1995. Belo Horizonte, MG. Anais, v. II, 13 pp.

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



LIMA, D. M. de; AMORIM, M. M.; LIMA JÚNIOR, H. C.; BARBOSA, N. P.; WILRICH, F. L. **Avaliação do comportamento de vigas de bambu laminado colado submetidas à flexão.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 15-27, jan./mar. 2014.

WETHYGAVIVORN, B.; INPON, I.; KULSUWAN, M. **Behavior of the glue-laminated bamboo composite.** In: Proceedings of the Nocmat/3 – Vietnam 2002, International Conference on Non-Conventional Materials and Technologies. Published by Construction, publishing house, march, 2002, p. 446-451.

LIMA JÚNIOR, H. C. et al. **Vigas de Concreto Reforçadas com Bambu *Dendrocalamus giganteus*: análise experimental.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 642-651, 2005

OLIVEIRA, A.K.F.; PAES, J.B. **Caracterização físico-mecânica de laminado colado de bambu (*Dendrocalamus giganteus*) para revestimento de pisos.** In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE MATERIAIS E TECNOLOGIAS NÃO-CONVENCIONAIS NA CONSTRUÇÃO ECOLÓGICA E SUSTENTÁVEL, 2006, Salvador. Anais... Salvador: Brasil NOCMAT, 2006.

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

MESQUITA, L. P.; CZARNIESKI, C. J.; FILHO, A. C. B.; WILLRICH, F. L.; LIMA JÚNIOR, H. C.; BARBOSA, N. P. **Determinação da tensão de aderência do bambu-concreto;** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental; v.10, n.2, p.505–516; Campina Grande, PB, DEAg/UFCG, 2006.