

CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA DE MAÇARANDUBA (*Manilkara* sp.) POR MÉTODOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS

Rafael Amorim Rosa¹, Lélcio Caiado Abreu França², Pedro Gutemberg de Alcântara
Segundinho³, Vinicius Munaldi Lube⁴, Juarez Benigno Paes⁵

Resumo: Este trabalho teve como objetivos caracterizar a madeira de maçaranduba por meio de métodos destrutivos e não destrutivos, e relacionar o módulo de elasticidade e o módulo de ruptura obtidos por meio das técnicas de vibração transversal, *stress wave* e flexão estática. Para isto, foram determinadas a densidade aparente, teor de umidade, resistência à compressão paralela às fibras e resistência ao cisalhamento paralelo às fibras da madeira. Além disso, foram empregados os métodos de vibração transversal e *stress wave*. Os métodos não destrutivos de vibração transversal e *stress wave* obtiveram boa estimativa do módulo de elasticidade estático. No entanto, não foram capazes de estimar o módulo de ruptura da madeira. Por meio do método da vibração transversal, foi obtido o maior coeficiente de determinação e o menor erro de estimativa. Com base nos resultados obtidos, a madeira de maçaranduba é classificada como de uso estrutural.

Palavras-chave: vibração transversal; *stress wave*; flexão estática.

CHARACTERIZATION OF BULLET WOOD (*Manilkara* sp.) BY DESTRUCTIVE AND NONDESTRUCTIVE METHODS

Abstract: This work aimed to characterize bullet wood using destructive and nondestructive methods and to relate its wood with the modulus of elasticity and the modulus of rupture through the transversal vibration, stress wave and static bending techniques. Apparent specific gravity, moisture content, compressive strength parallel to the grain and shear strength parallel to the grain of the wood were determined. Moreover, transversal vibration and stress wave methods were used. The nondestructive methods of transversal vibration and stress wave

¹Engenheiro Industrial Madeireiro, Mestre em Ciências Florestais, Universidade Federal do Espírito Santo. <rafaelrosa.001@gmail.com>.

²Engenheiro Industrial Madeireiro, Mestrando em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. <leliocaf@gmail.com>.

³Engenheiro Civil, Professor Doutor, Universidade Federal do Espírito Santo. <p_gutemberg2001@yahoo.com.br>.

⁴Engenheiro Industrial Madeireiro, Mestrando em Ciências Florestais, University of British Columbia. <vinicius@woodblog.com.br>.

⁵Engenheiro Florestal, Professor Doutor, Universidade Federal do Espírito Santo. <jbp2@uol.com.br>.

presented good estimation of the modulus of elasticity at static bending. Nevertheless, these techniques were not able to estimate the modulus of rupture of the wood. The transversal vibration method showed the highest coefficient of determination and the less error of estimate. Based on the results obtained, the bullet wood is classified for structural use.

Keywords: transverse vibration; stress wave; static bending.

1 INTRODUÇÃO

A madeira de *Manilkara* sp., popularmente conhecida como maçaranduba ou paraju, é uma das mais empregadas em estruturas de madeira (NAHUZ et al., 2013), principalmente, nas regiões Centro Oeste, Sudeste e Sul do Brasil. Conforme o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA (2005), a madeira de maçaranduba é pesada, dura e em relação a durabilidade natural é resistente ao ataque de fungos apodrecedores e cupins subterrâneos. Apresenta moderada resistência aos cupins de madeira seca e baixa resistência aos xilófagos marinhos.

A utilização de técnicas de avaliação não destrutiva para avaliar as propriedades da madeira é uma questão importante para a indústria madeireira. Essa avaliação é por definição, a ciência da identificação de propriedades físicas e mecânicas de uma peça de material sem alterar suas capacidades de aplicação final (ROSS et al., 1998). Somada a isto, Wang et al. (2008) afirmaram que a avaliação não destrutiva pode ser usada industrialmente para melhorar o processo de controle de qualidade por meio da maior uniformidade de matérias-primas e seus subprodutos.

Os métodos não destrutivos possuem a vantagem de usarem equipamentos portáteis, os dados são obtidos em pouco tempo, não há necessidade de usinagem de corpos de prova e, conseqüentemente, evita-se a produção de resíduos. Nos últimos anos, uma crescente quantidade de pesquisas tem sido realizada para investigar a viabilidade da utilização de testes não destrutivos para avaliar a qualidade da madeira (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, encontra-se um método comumente conhecido como *stress wave*, ou ondas de tensão.

Diante da variedade de espécies, da variabilidade do material, da contínua mudança das condições de fornecimento da madeira de maçaranduba e da necessidade de informações de forma mais rápida a respeito das propriedades mecânicas de lotes de madeira, há a necessidade

de uma classificação mais rápida de tais propriedades. Sendo a avaliação por meio de técnicas não destrutivas empregada de modo eficiente para a caracterização físico-mecânica de vários materiais.

Este trabalho teve como objetivos caracterizar a madeira de maçaranduba por meio de métodos destrutivos e não destrutivos, e relacionar o módulo de elasticidade pela utilização das técnicas de vibração transversal, *stress wave* e flexão estática.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A madeira de maçaranduba (*Manilkara* sp.), procedente da região Norte do Brasil, utilizada no estudo foi proveniente das sobras (aparas) de várias peças destinadas à construção da estrutura de telhado de dois laboratórios, com área total de 1.600 m², pertencentes ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira (DCFM) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), localizado no município de Jerônimo Monteiro, no Estado do Espírito Santo.

Para os ensaios físicos de densidade aparente e teor de umidade (base seca) foram utilizadas 24 corpos de prova, enquanto que para os ensaios mecânicos destrutivos de resistência à compressão paralela às fibras e ao cisalhamento paralelo às fibras, utilizaram-se 12 corpos de prova para cada ensaio. Para estas caracterizações, seguiram-se as recomendações da Norma Brasileira Regulamentadora - NBR 7190 da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (1997).

Já para os ensaios não destrutivos, foram empregados os métodos de vibração transversal e *stress wave*. Foram ensaiados 13 corpos de prova com dimensões de 2,5 x 2,5 x 76,0 cm (radial x tangencial x longitudinal), os quais, depois de submetidos aos métodos não destrutivos, foram testados em ensaio de flexão estática de acordo com a NBR 7190 da ABNT (1997) e American Society for Testing and Materials - ASTM D198 (ASTM, 2008a). Os resultados obtidos para cada ensaio foram comparados por meio de correlação simples, com 5% de probabilidade de erro.

2.1 Ensaio de vibração transversal

No ensaio de vibração transversal, adotou-se a condição de contorno da barra livre-livre, conhecida internacionalmente como *free-free bar*, que segundo Chui et al. (1999) e Carreira et al. (2012), é o método não destrutivo mais confiável para a caracterização mecânica de vigas. Este método consiste em sustentar os corpos de prova sobre fios de elastômero ligados

a duas hastes de madeira. Os corpos de prova devem ser apoiados nos pontos nodais de modo a vibrar na direção transversal, que se encontra a $0,224 \times L$, sendo L o comprimento do corpo de prova.

Com o uso de um microfone, foram captadas as vibrações dos impactos gerados por um martelo, o qual deve possuir massa inferior aos corpos de prova. O impacto foi realizado na direção perpendicular às fibras do corpo de prova, e o microfone posicionado também nesta direção, mas em outra extremidade do corpo de prova e na direção oposta ao local do impacto causado pelo martelo (Figura 1).

As vibrações foram captadas e transformadas em frequências pelo programa *Fast Fourier Vibration Analyzer*, que utiliza a transformada rápida de Fourier (FFT) para passar do domínio do tempo para a frequência. O módulo de elasticidade dinâmico transversal foi obtido de acordo com a ASTM E1876 (2007) e ASTM C215 (ASTM, 2008b) (Equação 1).

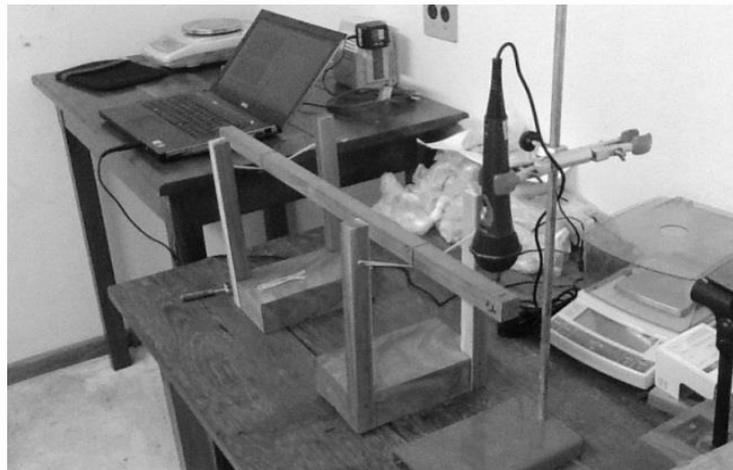


Figura 1. Aparato para o teste de vibração transversal.

Figure 1. Apparatus for the transversal vibration test.

$$E_{vt} = \left(\frac{2f_1}{\gamma_1 \pi} \right)^2 \frac{mL^3}{I} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que: E_{vt} = Módulo de elasticidade dinâmico obtido pelo método de vibração transversal (MPa); f_1 = Frequência do primeiro harmônico (Hz); $\gamma_1 = (n+0,5)^2$, n é o número do modo harmônico; M = Massa do corpo de prova (kg); L = Comprimento do corpo de prova (m); e I = Momento de inércia (m^4).

2.2 Ensaio de *stress wave*

Para a aplicação deste método foi utilizado o equipamento *stress wave timer* que fornece o tempo que a onda de tensão leva para percorrer o comprimento do corpo de prova. A partir deste tempo, calculou-se o módulo de elasticidade dinâmico (Equação 2).

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

Em que: E_{sw} = Módulo de elasticidade dinâmico pelo *stress wave timer* (MPa); L = Comprimento do corpo de prova (m); t = Tempo de propagação da onda (s); D = Densidade do corpo de prova ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$); e g = Aceleração da gravidade ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$).

2.3 Ensaio de flexão estática

Um corpo de prova foi ensaiado até o seu rompimento com o intuito de verificar a força no momento da ruptura (F_R). Para os demais corpos de prova, uma força concentrada de 10% de F_R ($F_1=100$ N) foi aplicada no meio do seu comprimento, gerando o primeiro deslocamento vertical (Δ_1). A força foi aumentada para 50% de F_R ($F_2=196$ N), gerando outro deslocamento vertical (Δ_2). Como a razão L/h , sendo L o vão entre apoios e h a altura de corpo de prova.

Para todos os corpos de prova, a razão L/h foi maior do que 20, e o módulo de elasticidade pela reta secante (E_{sec}) foi calculado ao desconsiderar o efeito do cisalhamento, de acordo com a ASTM D198 (ASTM, 2008a) (Equação 3).

$$E_{sec} = \frac{(F_2 - F_1)S^3}{4(\Delta_2 - \Delta_1)bh^3} \quad (\text{Equação 3})$$

Em que: E_{sec} = Módulo de elasticidade (MPa); F = Força concentrada (N); S = Vão livre (m); Δ = Deslocamento vertical (mm); b = Largura da seção transversal (m); e h = Altura da seção transversal (m).

No ensaio de flexão estática, a taxa de carregamento foi de $10 \text{ MPa}\cdot\text{min}^{-1}$ com dois ciclos de carga e descarga, conforme recomendado pela NBR 7190 da ABNT (1997). Foi utilizada uma máquina universal de ensaios com capacidade de 10 ton e sistema automático de aquisição de dados.

2.5 Análise estatística

A densidade aparente, teor de umidade, resistência à compressão e ao cisalhamento paralelo às fibras da madeira de maçaranduba foram avaliados por meio de análise descritiva.

Para verificar a diferença entre as médias dos módulos de elasticidade obtidos pelos métodos não destrutivos e destrutivos (ABNT, 1997; ASTM, 2008a), foi empregado um delineamento inteiramente casualizado, e os tratamentos, quando significativos pela análise de variância (teste de F), tiveram suas médias comparadas pelo teste de Tukey a 95% de intervalo de confiança.

Além disso, também foi empregada a análise de regressão linear (correlação de Pearson) para comparar os valores dos módulos de elasticidade obtidos pelos métodos de ensaio destrutivo (ABNT, 1997; ASTM, 2008a) e não destrutivos, pela utilização do modelo linear $Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + e_i$; em que: Y_i = Variável dependente, obtida pelo método destrutivo conforme NBR 7190 da ABNT (1997); β_0 = Termo constante (ponto de interseção da reta); β_1 = Inclinação da reta; X_1 = Variável independente (método não destrutivo); e e_i = Erro de estimativa.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os valores contidos na Tabela 1, a madeira de maçaranduba obteve densidade aparente de $1,03 \text{ g.m}^{-3}$ à umidade de 16,42%. O valor obtido para a densidade aparente foi próximo ao encontrado por Souza et al. (2002) e IBAMA (2005), de 1,00 e 1,07 g.cm^{-3} , respectivamente, e inferior ao citado pela NBR 7190 da ABNT (1997) que foi de 1,14 g.cm^{-3} . Todos os valores são para densidade aparente obtida a 12% de umidade.

Tabela 1. Densidade aparente, umidade, resistência à compressão e ao cisalhamento paralelo às fibras da madeira de maçaranduba.

Table 1. Apparent specific gravity, moisture, compression parallel to the grain and shear strength parallel to the grain of bullet wood.

Maçaranduba	Densidade Aparente (g.m^{-3})	Teor de Umidade (%)	Compressão Paralela às Fibras (MPa)	Cisalhamento Paralelo às Fibras (MPa)
Média	1,03	16,42	98,07	23,27
Coefficiente de Variação (%)	1,45	4,18	3,49	9,90

Os valores encontrados para as propriedades mecânicas foram superiores aos citados pela NBR 7190 da ABNT (1997) e por Souza et al. (2002) que foram de 82,90 e 64,80 MPa

(de compressão paralela às fibras), e de 14,90 e 16,3 MPa (cisalhamento paralelo às fibras), respectivamente. A diferença entre os valores obtidos e os encontrados na literatura pode estar relacionada à posição de obtenção dos corpos de prova no tronco, à espécie estudada e à idade das árvores.

Em conformidade com os valores obtidos, a madeira ensaiada se enquadra na classe de resistência C60 de acordo com a NBR 7190 da ABNT (1997), que define valores mínimos de resistência à compressão paralela às fibras de 60 MPa, módulo de elasticidade médio a compressão paralela às fibras de $24,5 \times 10^3$ MPa e densidade aparente de $1,0 \text{ g.cm}^{-3}$ a 12% de umidade.

Nota-se na Tabela 2 que a madeira de maçaranduba estudada possui valores de módulo de elasticidade (MOE) maiores que a maioria das madeiras disponíveis no mercado para uso estrutural, como por exemplo, peroba rosa (*Aspidosperma polyneuron*), com 9×10^3 MPa, angelim pedra (*Hymenolobium* sp.), com 11×10^3 MPa, bacuri (*Platonia insignis*) e cedrinho (*Erismia uncinatum*), com 12×10^3 MPa, de acordo com Zenid (2009), para a madeira a 12% de umidade.

Os valores encontrados para a madeira ensaiada são superiores ao citado para a madeira de maçaranduba (*Manilkara amazônica*), por Souza et al. (2002), que foi de $13,8 \times 10^3$ MPa a 12% de umidade. A diferença entre o módulo de elasticidade estático obtido e aquele citado na literatura pode estar relacionada à posição de obtenção dos corpos de prova no tronco, à espécie estudada e à idade das árvores.

Tabela 2. Módulo de elasticidade da madeira de maçaranduba para os testes destrutivos e não destrutivos.

Table 2. Modulus of elasticity of bullet wood for destructive and nondestructive tests.

Maçaranduba	E_{est} (10^3 MPa)	E_{sec} (10^3 MPa)	E_{vt} (10^3 MPa)	E_{sw} (10^3 MPa)
Média	19,99 ab	18,91b	21,42 a	21,14 a
Coefficiente de Variação (%)	8,85	8,89	7,98	12,21

E_{est} ; E_{sec} ; E_{vt} e E_{sw} = Módulos de elasticidade pelo ensaio estático; NBR 7190 da ABNT (1997); reta secante; ASTM D198 (ASTM, 2008a); vibração transversal e *stress wave*, respectivamente. Médias seguidas por uma mesma letra, na horizontal, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p \geq 0,05$).

Observa-se na Tabela 2 que os métodos não destrutivos de vibração transversal e *stress wave* mostraram, em média, valores maiores para o MOE ($21,42$ e $21,14 \times 10^3$ MPa, respectivamente) em relação ao da reta secante ($18,91 \times 10^3$ MPa), obtido conforme ASTM D198 (ASTM, 2008a) e semelhante ao obtido no ensaio de flexão estática, calculado segundo

a metodologia da NBR 7190 da ABNT (1997). Portanto, os métodos não destrutivos foram eficientes em estimar o módulo de elasticidade da madeira de maçaranduba. Cabe ressaltar que para o método do *stress wave* foi obtida maior variação dos resultados (12,21%), quando comparado aos demais métodos testados.

De acordo com a Tabela 3, todos os modelos de regressão foram significativos em nível de 95% de probabilidade pelo teste F. Dessa maneira, as equações de cada método podem ser utilizadas para calcular o módulo de elasticidade estático estimado (\hat{E}). Nota-se que o modelo ajustado para o método de vibração transversal foi o que mostrou o maior coeficiente de determinação ($R^2 = 0,84$) e o menor erro ao estimar o \hat{E} , de 3,67%. A estimativa pela designação da ASTM D198 (ASTM, 2008a) foi a que teve o menor $R^2 = 0,71$ e o maior erro, de 4,96% em relação à NBR 7190 da ABNT (1997).

Os resultados foram semelhantes aos obtidos por Targa et al. (2005), que aplicaram o método da vibração transversal para a determinação do MOE da madeira de três espécies de eucalipto e obtiveram resultados que revelaram boa correlação entre o método não destrutivo e o destrutivo realizado conforme a NBR 7190 da ABNT (1997), com coeficiente de determinação (R^2) de 0,81.

Tabela 3. Equações de regressão linear para estimar o módulo de elasticidade para cada método testado.

Table 3. Linear regression equation to estimate the modulus of elasticity for each tested method.

Métodos	Equações Ajustadas	R^2	F_{cal}	\overline{Syx} (%)
Reta secante ¹	$\hat{E} = 3190,4991 + 0,8879.E_{sec}$	0,71	27,23*	4,96
Vibração transversal	$\hat{E} = -363,78975 + 0,9498.E_{vt}$	0,84	58,83*	3,67
<i>Stress wave</i>	$\hat{E} = 6924,6649 + 0,6179.E_{sw}$	0,81	47,73*	4,00

R^2 = coeficiente de correlação; F_{cal} = F calculado; \overline{Syx} (%) = erro de estimativa; ¹ ASTM D198 (ASTM, 2008a); * Significativo pelo teste de F ($p \leq 0,05$).

Carreira et al. (2012) investigaram a aplicação das técnicas vibração longitudinal e transversal na avaliação do MOE à flexão de vigas de teca (*Tectona grandis*), proveniente de reflorestamento e da espécie tropical guajará (*Micropholis venulosa*), e verificaram boa correlação com o método da NBR 7190 da ABNT (1997).

Candian; Sales (2009) verificaram a precisão das técnicas de vibração transversal e ultrassom comparativamente aos valores obtidos em ensaios estáticos para o *Corymbia citriodora*. Os valores obtidos de coeficiente de determinação para as técnicas de ultrassom, $R^2 = 0,76$ e vibração transversal simplesmente apoiada, $R^2 = 0,80$ foram significativos,

mostrando que estas técnicas são importantes ferramentas para a inferência do MOE da madeira.

Observa-se que as equações ajustadas para cada ensaio (Tabela 4) foram não significativas pelo teste F em nível de 95% de nível de confiança. Portanto, os modelos não podem ser utilizados para estimar o MOR, o que também pode ser comprovado pelo baixo R² mostrado por cada um dos métodos testados.

Tabela 4. Equações de regressão linear para estimar o módulo de ruptura em função de cada método testado.

Table 4. Linear regression equations adjusted to estimate the rupture modulus for each tested method.

Métodos	Equações Ajustadas	R ²	F _{cal}
Reta secante ¹	$\overline{MOR} = 1038,5367 + 0,0245.E_{sec}$	0,11	1,39 ^{ns}
Vibração Transversal	$\overline{MOR} = 822,0615 + 0,0317.E_{vt}$	0,19	2,66 ^{ns}
<i>Stress wave</i>	$\overline{MOR} = 1237,1681 + 0,0125.E_{sw}$	0,07	0,82 ^{ns}

R² = coeficiente de correlação; F_{cal} = F calculado; \overline{Syx} (%) = erro de estimativa; ¹ ASTM D198 (ASTM, 2008a); ^{ns} Não significativo pelo teste de F (p ≤ 0,05).

4 CONCLUSÕES

Com base nos valores obtidos pela caracterização físico-mecânica, a madeira de maçaranduba foi classificada como de uso estrutural na classe de resistência C60, conforme a normatização técnica.

Os métodos não destrutivos de vibração transversal e *stress wave* obtiveram boa estimativa do módulo de elasticidade estático. No entanto, não foram capazes de estimar o módulo de ruptura da madeira.

A melhor estimativa do módulo de elasticidade estático foi obtido pelo método de vibração transversal, por ter obtido o maior coeficiente de determinação e o menor erro de estimativa.

5 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7190**: projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.107p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **D198**: standard test methods of static tests of lumber in structural sizes. Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, 2008a. 20p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **C215**: standard test method for fundamental transverse, longitudinal and torsional frequencies of concrete specimens. Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, 2008b. 7p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **E1876**: standard test method for dynamic Young's modulus, shear modulus and Poisson's ratio by impulse excitation of vibration. Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, 2007. 6p.

CANDIAN, M.; SALES, A. Aplicação das técnicas não-destrutivas de ultra-som, vibração transversal e ondas de tensão para avaliação de madeira. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.9, n.4, p. 83-98, 2009.

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

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

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Banco de dados de madeiras brasileiras**. 2005. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/lpf/madeira/default.htm>>. Acesso em: 30 maio 2012.

NAHUZ, M. A. R.; MIRANDA, M. J. A. C.; IELO, P. K. Y.; PIGOZZO, R. J. B.; YOJO, T. **Catálogo de madeiras brasileiras para construção civil**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2013. 103p. (Publicação IPT, 4371).

ROSA, R. A. **Bambu laminado colado como alternativa de matéria prima para o setor moveleiro**. 2013. 75f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2013.

ROSS, R. J.; BRADSHAW, B. K.; PELLERIN, R. F. Nondestructive evaluation of wood. **Forest Products Journal**, Madison, v.48, n.1, p. 14-19, 1998.

SOUZA, M. H.; MAGLIANO, M. M.; CAMARGOS, J. A. A.; SOUZA, M. R. **Madeiras tropicais brasileiras**. 2ed. Brasília: Edições IBAMA, 2002. 152p.

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.

WANG, S-Y; CHEN, J-H; TSAI, M-J; LIN, C-J; YANG, T-H. Grading of softwood lumber using non-destructive techniques. **Journal of Materials Processing Technology**, Philadelphia, v.8, p. 149-158, 2008.

ZENID G. J. **Madeira**: uso sustentável na construção civil. 2ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Pulo - IPT, 2009. 99p. (Publicação IPT, 3010).