

PROPAGAÇÃO INDIRETA E SEMIDIRETA DE ONDAS ULTRASSONORAS NA ESTIMATIVA DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA

Diego Martins Stangerlin¹, Pedro Henrique Gonzalez de Cademartori², Darci Alberto Gatto³,
Leandro Calegari⁴, Rafael Rodolfo de Melo⁵, Magnos Alan Vivian⁶, Karina Soares Modes⁷

Resumo: O presente estudo objetivou avaliar o uso do módulo de elasticidade dinâmico obtido por meio de dois métodos de propagação de ondas ultrassônicas como parâmetro na estimativa das propriedades mecânicas de flexão estática (módulos de elasticidade e de ruptura) da madeira de *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. Para tanto, utilizou-se um equipamento de ultrassom dotado de transdutores de pontos secos com frequência de aproximadamente 45 kHz. A velocidade ultrassônica foi mensurada em corpos de prova com dimensões de 2,5 x 2,5 x 41 cm por meio dos métodos de propagação indireto e semidireto. A acurácia do método ultrassônico foi avaliada a partir de testes destrutivos de flexão estática, com determinação dos módulos de elasticidade e de ruptura. Os resultados evidenciaram que apesar das diferenças entre os valores de módulo de elasticidade dinâmico e estático, o uso do ultrassom, ao empregar tanto o método indireto quanto o método semidireto, pode ser uma ferramenta útil para estimativa da propriedade mecânica. No entanto, com relação à estimativa do módulo de ruptura, não foram verificados bons resultados ao utilizar ensaios de ultrassom.

Palavras-chave: ultrassom; transdutores de pontos secos; ensaios não-destrutivos; módulo de elasticidade; módulo de ruptura.

¹ Engenheiro Florestal, M.Sc., Professor Assistente do Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais (ICAA), Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) - Campus de Sinop. Avenida Alexandre Ferronato, 1200, Setor Industrial, CEP: 78550-000 - Sinop, MT, <stangerlin@ufmt.br>.

² Engenheiro Industrial Madeireiro, Mestrando (Bolsista CAPES) pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Pelotas (UFPel). Pelotas, RS, <pedrocademartori@gmail.com>.

³ Engenheiro Florestal, Dr., Professor Adjunto do Curso de Engenharia Industrial Madeireira, UFPel. Pelotas, RS, <darciatto@yahoo.com>.

⁴ Engenheiro Florestal, Dr., Professor Adjunto da Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) - Campus de Patos. Patos, PB, <calegari@cstr.ufcg.edu.br>.

⁵ Engenheiro Florestal, M.Sc., Professor Assistente do Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Piauí (UFPI) - Campus Professora Cinobelina Elvas. Bom Jesus, PI, <rrmelo2@yahoo.com.br>.

⁶ Engenheiro Florestal, M.Sc., Doutorando em Recursos Florestais, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ). Piracicaba, SP, <magnosalan@yahoo.com.br>.

⁷ Engenheira Florestal, M.Sc., Professora Assistente do Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Rondônia (UNIR) - Campus de Rolim de Moura. Rolim de Moura, RO, <ksmodes@gmail.com>.

INDIRECT AND SEMIDIRECT METHODS OF WAVE PROPAGATION ULTRASOUND IN ESTIMATIVE MECHANICAL PROPERTIES OF WOOD

Abstract: This study aimed to evaluate use of dynamic elasticity modulus obtained by two methods of ultrasound wave propagation as a parameter in the estimative of mechanical properties of static bending (elasticity and rupture modulus) of *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub wood. For this, was used an ultrasonic equipment with point-contact transducers and 45 kHz frequency. The ultrasonic velocity was measured in specimens with 2.5 x 2.5 x 41 cm through semi-direct and indirect propagation methods. The accuracy of ultrasound method was evaluated from destructive tests of static bending with determination of elasticity and rupture modulus. The results showed that despite differences between the values of dynamic and static elasticity modulus, the use of ultrasound, both the indirect method as the semidirect method, can be used to estimate the mechanical property. However, with respect to the estimation of rupture modulus were not observed good results with use ultrasound tests.

Keywords: ultrasonic equipment; point-contact transducers; non-destructive tests; modulus of elasticity; modulus of rupture.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, em razão de suas boas propriedades físicas e mecânicas, a madeira vem sendo empregada para os mais variados fins e, com a possibilidade de escassez dos recursos minerais não-renováveis, é provável que a mesma, futuramente, seja a principal fonte de matéria-prima para a construção civil, fabricação de móveis e casas. No entanto, o conhecimento das propriedades tecnológicas da madeira é uma importante base para a utilização racional desse material, a fim de atender normas de segurança e durabilidade.

As avaliações de natureza destrutiva são, em geral, os principais métodos utilizados para o conhecimento das propriedades tecnológicas da madeira, apesar desta ser, geralmente, onerosa em razão do tempo consumido com a confecção dos corpos de prova e custo do material. Por sua vez, as avaliações de natureza não-destrutiva, também permitem a obtenção de informações precisas e amplas, medindo-se um maior número de amostras. Segundo Wang et al. (2007) e Teles et al. (2011), significativos esforços vem sendo direcionados para o desenvolvimento de uma tecnologia consistente de avaliação não-destrutiva capaz de predizer com eficácia as propriedades intrínsecas da madeira.

Com base nos princípios da propagação de ondas mecânicas, a técnica de emissão de ondas de ultrassom, atualmente, aparece como um dos métodos mais aplicados e promissores, em razão da facilidade de operação e custo relativamente baixo na aquisição e operação do equipamento, quando comparado aos equipamentos utilizados em ensaios destrutivos.

Conforme Calegari (2006) os processos envolvidos na propagação de ondas de ultrassom são relativamente simples. De maneira resumida, um circuito eletrônico emite pulsos elétricos conduzidos por cabos coaxiais e convertidos em ondas elásticas pelo cristal piezoelétrico, localizado nos transdutores. As vibrações mecânicas se deslocam pelo material, que atenua o sinal emitido pelo gerador. O sinal retardado é recuperado por outro cristal piezoelétrico, sendo então amplificadas e transformadas em pulsos elétricos novamente, permitindo a medição do tempo de propagação. A partir da distância e do tempo de percurso da onda sonora se calcula a velocidade da mesma.

O método ultrassonoros se baseia na análise da propagação e sua relação entre a resposta ao ultrassom e às constantes elásticas da madeira. De modo simplificado, a velocidade de propagação das ondas sonoras em um sólido é função da raiz quadrada da razão entre o módulo de elasticidade e da massa específica desse material (TSOUMIS, 1991).

Diversos fatores podem influenciar a propagação de ondas na madeira, tais como teor de umidade, propriedades anatômicas (espécie), físicas (massa específica), morfológicas (tipos de lenhos e ângulo da grã), presença de defeitos (nós e rachaduras), condições do meio (temperatura e umidade relativa), características dos transdutores, tipos de ondas e métodos de propagação (BUCUR; BÖNHKE, 1994; KAWAMOTO; WILLIAMS, 2002; CARRASCO; AZEVEDO JÚNIOR, 2003; OLIVEIRA et al., 2005).

Conforme a Figura 1, três métodos de propagação das ondas ultrassônicas podem ser empregados, dependendo do posicionamento dos transdutores, para avaliação das propriedades intrínsecas da madeira: direto, indireto e semidireto (NESVISJSKI, 2000; EVANGELISTA, 2002).

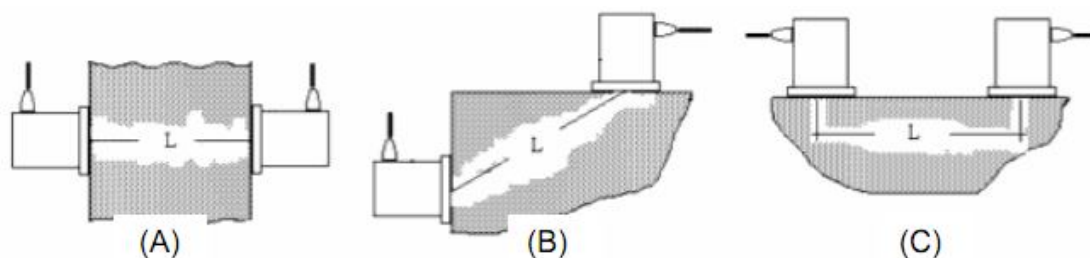


Figura 1. Métodos de disposição dos transdutores: direto (A), indireto (B) e semidireto (C), sendo L= distância entre os transdutores. Fonte: adaptado de Nesvisjski (2000).

Figure 1. Methods of disposal of transducers: direct (A), indirect (B) and semi-direct (C), where L = distance between transducers. Source: adapted from Nesvisjski (2000).

Segundo Calegari (2006) os métodos de transmissão indireta e semidireta, apesar de não serem os empregados tradicionalmente, são importantes, pois nem sempre é possível o acesso a superfícies opostas do material em teste (transmissão direta).

Desse modo, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o uso do módulo de elasticidade dinâmico obtido por meio de dois métodos de propagação de ondas ultrassônicas como parâmetro na estimativa das propriedades mecânicas de flexão estática (módulos de elasticidade e de ruptura) da madeira de *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização do presente estudo foi utilizada madeira de *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. (canafístula), abatida de plantios homogêneos com 10 de anos de idade, instalados na Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária – Florestas (FEPAGRO FLORESTAS), município de Santa Maria, RS. Foram selecionadas, de modo aleatório, seis árvores de bom fuste, grã reta e diâmetro a altura do peito (DAP) entre 20 e 30 cm, das quais foram retiradas toras de 1 m de comprimento cada.

Com auxílio de uma serra de fita, as toras foram desdobradas em tábuas de 2,5 cm de espessura. Posteriormente, de cada tábua, foram retirados sarrafos com 2,5 cm de largura, a partir dos quais, por meio de seccionamento transversal, foram confeccionados os corpos de prova para realização dos ensaios, destrutivo e não-destrutivo, com as seguintes dimensões: 2,5 x 2,5 x 41 cm (espessura, largura e comprimento). Selecionaram-se 20 corpos de prova, tendo-se o cuidado de descartar o material que apresentava defeitos, como inclinação acentuada da grã, presença de nós e/ou medula.

Antecedendo os ensaios, destrutivo e não-destrutivo, os corpos de prova foram acondicionados em câmara climatizada (20° C de temperatura e 65 % de umidade relativa) até

o momento em que os mesmos apresentaram um teor de umidade de equilíbrio equivalente a 12%.

Para a realização dos ensaios não-destrutivos foi utilizado equipamento de ultrassom dotado de transdutores de pontos secos com frequência de aproximadamente 45 kHz, que medem diretamente o tempo de propagação das ondas em microssegundos (μs).

Realizaram-se duas leituras do tempo de propagação das ondas para cada método de propagação, semidireto e indireto, sendo a distância do trecho percorrido pela onda pré-fixado em 35 cm. A partir da razão entre a média das leituras do tempo de propagação e a distância do trecho percorrido pela onda calculou-se a velocidade de propagação das ondas. E por fim, determinou-se o módulo de elasticidade dinâmico (E_d) por meio do produto entre a velocidade de propagação e a massa específica da madeira (Equação 1).

$$E_d = V^2 * ME \quad (\text{Equação 1})$$

Em que: E_d = Módulo de elasticidade dinâmico (MPa); V = Velocidade de propagação da onda (m.s^{-1}); ME = Massa específica da madeira a 12% de umidade (kg.m^{-3}).

Para avaliar a acurácia e a sensibilidade do método ultrassonor, os corpos de prova foram submetidos a ensaios destrutivos de flexão estática, com posterior obtenção dos módulos de elasticidade e de ruptura, utilizando-se uma máquina universal de ensaio, atendendo-se, no geral, às prescrições da norma American Society for Testing and Materials - ASTM D143-94 (1994).

Os resultados foram interpretados, com o auxílio de testes de médias (LSD de Fisher, $p > 0,05$) e análise de regressão linear, em que a variável independente foi o módulo de elasticidade dinâmico obtido em ensaio de ultrassom e a variável dependente, a propriedade mecânica de elasticidade ou de ruptura obtida em ensaio convencional de flexão estática.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios das velocidades de propagação das ondas diferiram significativamente entre os métodos, sendo o valor obtido pelo método semidireto cerca de 1,08 vezes maior que o indireto (Tabela 1).

Ao comparar as velocidades de propagação das ondas obtidas pelos dois métodos alternativos com os resultados descritos na literatura para o método direto, tradicionalmente empregado, verificam-se diferenças em termos de magnitude. Segundo diversos

pesquisadores (BALLARIN; NOGUEIRA, 2005; CARRASCO; AZEVEDO JÚNIOR, 2003; PUCCINI, 2002; SIMPSON, 1998; GONÇALEZ et al., 2001) a velocidade de propagação das ondas, pelo método direto, situa-se entre 4000 e 6000 m.s⁻¹.

Stangerlin et al. (2010a) ao avaliar a mesma espécie submetida a ensaios de ultrassom pelo método direto cita valores de, aproximadamente, 2900 a 3700 m.s⁻¹. No estudo mencionado, tais diferenças, segundo os autores, estavam intrínsecas às propriedades morfológicas e anatômicas da madeira, visto que o material era exclusivamente oriundo de florestas jovens. No caso do presente estudo, a discrepância em relação aos valores verificados na literatura está relacionada ao tipo de onda que pode ser gerado ao empregar diferentes métodos de propagação (BUCUR, 2006).

Tabela 1. Valores de velocidade e módulo de elasticidade dinâmico para os métodos semidireto e indireto de propagação de onda ultrassônica.

Table 1. Values of speed and dynamic elasticity modulus for semi-direct and indirect methods of ultrasonic wave propagation.

	Semidireto	Indireto
Vsom (m.s ⁻¹)	2434,46 ^A (246,01)	2253,07 ^B (265,13)
Ed (MPa)	4175,39 ^A (1081,84)	3583,28 ^A (870,17)

Em que: Vsom= velocidade de propagação da onda ultrassônica; Ed= módulo de elasticidade dinâmico; Valores entre parênteses relativos ao desvio padrão. Médias seguidas por uma mesma letra, não diferem estatisticamente entre si (LSD Fisher, p > 0,05).

De acordo com Oliveira et al. (2005), os principais tipos de ondas que podem ser gerados na madeira ao empregar ensaios não-destrutivos de ultrassom são as de volume e as de superfície. Dentre as ondas de volume encontram-se: ondas transversais, as quais a vibração das partículas ocorre na direção perpendicular ao de propagação; ondas longitudinais, cujas partículas do meio em que se propagam vibram na mesma direção de propagação da onda nesse meio. Por sua vez, as ondas de superfície podem ser do tipo “Rayleigh”, “Love” e “Lamb”. A principal característica é apresentarem movimento elíptico e ocorrerem, exclusivamente, na superfície dos sólidos. Calegari et al. (2008) e Stangerlin et al. (2010b) citam que de modo geral as ondas de superfície apresentam valores de velocidade de propagação de, aproximadamente, metade dos observados em ondas longitudinais.

Outro ponto que pode ser levantado é quanto ao tipo de transdutor empregado. Segundo Nesvijski (2003) os transdutores de ponto seco, dependendo do modo em que são dispostos no material sólido, podem gerar ondas sem direção definida de propagação, o que

faz com que sua velocidade seja inferior quando comparada as ondas geradas por transdutores de faces planas, tradicionalmente empregados.

Com relação aos valores médios dos módulos de elasticidade, verifica-se que os obtidos pelo método ultrassonoro (Tabela 1) foram, aproximadamente, 1,37 (método semidireto) e 1,60 (método indireto) vezes inferiores ao comparar a madeira de canafístula ensaiada destrutivamente (Tabela 2).

Tabela 2. Valores de massa específica, módulo de elasticidade e módulo de ruptura obtidos por ensaios destrutivos.

Table 2. Values of density, elasticity and rupture modulus obtained by destructive tests.

	ME (g.cm ⁻³)	MOE (MPa)	MOR (MPa)
Média	0,71	5738,81	77,38
DP	0,05	1096,60	9,40

Em que: ME= massa específica da madeira a 12% de umidade; MOE= módulo de elasticidade estático; MOR= módulo de ruptura; DP= desvio padrão.

Na caracterização do comportamento mecânico da madeira sólida, comumente, são verificados valores de módulo de elasticidade dinâmico de, aproximadamente, 1,06 a 1,60 vezes superiores ao módulo de elasticidade estático, devido a sua natureza viscoelástica (STANGERLIN et al., 2010a). Tal comportamento oposto, no presente estudo, ao relatado na literatura se deve ao posicionamento dos transdutores, o qual influencia na velocidade de propagação das ondas ultrassonoras e, conseqüentemente, no valor inferido para o módulo de elasticidade dinâmico (GRUNDSTRÖM, 1998).

Na Tabela 3, pode-se verificar que, por meio dos parâmetros de regressão (maior coeficiente de determinação ajustado, menor erro padrão de estimativa e maior valor de F calculado), o melhor ajuste de predição do módulo de elasticidade e de ruptura à flexão estática em função do método ultrassonoro foi ao considerar o método semidireto de propagação de ondas. Independente do método de propagação, Feio (2006) afirma que o emprego do ultrassom possibilita uma estimativa satisfatória das propriedades mecânicas da madeira.

Ao avaliar, em separado, cada método de propagação, verifica-se que os melhores ajustes de modelos foram verificados para a estimativa do módulo de elasticidade. Halabe et al. (1995), Oliveira et al. (2003) e Miná et al. (2004) afirmam que esse comportamento se deve ao fato de que a tensão induzida na madeira durante os ensaios dinâmicos é pequena, ou seja, as medições dinâmicas são baseadas nas propriedades mecânicas apenas no limite

elástico. O módulo de ruptura acontece em maior tensão e depois do limite elástico resultando, conseqüentemente, em predições menos eficazes por meio dos ensaios não-destrutivos.

Tabela 3. Equações ajustadas para a estimativa do módulo de elasticidade e de ruptura à flexão estática em função do módulo de elasticidade dinâmico obtido com os métodos semidireto e indireto de propagação de ondas.

Table 3. Statistical models to estimative of the elasticity and rupture modulus in static bending as a function of the dynamic elasticity modulus obtained with semi-direct and indirect methods of wave propagation.

Método de propagação	Equação de regressão	R^2_{aj}	S_{yx}	$F_{calc.}$
Semidireto	MOE= 0,8454*(Ed) + 2209,04	0,61	681,24	32,83**
Indireto	MOE= 0,8724*(Ed) + 2612,67	0,45	811,89	17,49**
Semidireto	MOR = 0,0051*(Ed) + 55,93	0,28	7,96	8,88*
Indireto	MOR= 0,0058*(Ed) + 56,72	0,25	8,15	7,58*

Em que: R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; S_{yx} = erro padrão da estimativa; F_{calc} = valor de F calculado; **= significativo a 1% de probabilidade; *= significativo a 5% de probabilidade; MOE= módulo de elasticidade estático; MOR= módulo de ruptura; Ed= módulo de elasticidade dinâmico.

4 CONCLUSÕES

Com base nos resultados, pode-se concluir que:

- A velocidade de propagação das ondas obtida pelo método semidireto foi superior ao método indireto, representando, conseqüentemente, um maior módulo de elasticidade dinâmico.
- Apesar das diferenças entre os valores de módulo de elasticidade dinâmico e estático, o uso do ultrassom, ao empregar tanto o método indireto quanto o método semidireto, pode ser empregado para estimativa da propriedade mecânica de flexão estática.
- Com relação à estimativa do módulo de ruptura não foram verificados bons resultados ao empregar ensaios de ultrassom.

6 REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **ASTM D-143:** Standard methods of testing small clear specimens of timber. Annual Book of ASTM Standards, v.4.10, p.24-65, 1994.

- BALLARIN, A. W.; NOGUEIRA, M. Determinação do módulo de elasticidade da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* por ultra-som. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.1, p.19-28, 2005.
- BUCUR, V. **Acoustics of wood**. 2ed. Basileia: Birkhäuser, 2006. 393p.
- BUCUR, V.; BÖHNKE, I. Factors affecting ultrasonic measurements in solid wood. **Ultrasonics**, v.32, n.5, p.385-390, 1994.
- CALEGARI, L. **Uso da onda ultra-sônica como meio de controle do processo de secagem da madeira**. 2006. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, 2006.
- CALEGARI, L.; STANGERLIN, D. M.; SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R.; GATTO, D. A.; CARMO, P. I. O.; SILVA FILHO, L. C. P. Avaliação de alguns fatores influentes na velocidade ultra-sônica na madeira. **Floresta**, Curitiba, v.38, n.4, p.607-615, 2008.
- CARRASCO, E. V. M.; AZEVEDO JÚNIOR, A. P. Avaliação não destrutiva de propriedades mecânicas de madeiras através de ultra-som – fundamentos físicos e resultados experimentais. **Cerne**, Lavras, v.9, n.2, p.178-191, 2003.
- EVANGELISTA, A. C. J. **Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não-destrutivos**. 2002. 219f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2002.
- FEIO, A. **Inspection and diagnosis of historical timber structures: NDT correlations and structural behaviour**. 2006. 219f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade do Minho, 2006.
- GONÇALEZ, J. C.; VALLE, A. T.; COSTA, A. F. Estimativas das constantes elásticas da madeira por meio de ondas ultra-sonoras (ultra-som). **Cerne**, Lavras, v.7, n.2, p.81-92, 2001.
- GRUNDSTRÖM, F. **Non-destructive testing of particleboard with ultra sound and eigen frequency methods**. 1998. 58f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Luleå Tekniska Universitet, 1998.
- HALABE, U. B.; BIDIGALU, G. M.; GANGARAO, H. V. S.; ROSS, R. J. Nondestructive evaluation of green wood using stress wave and transverse vibration techniques. **Materials Evaluation**, v.55, n.9, p.1013-1018, 1995.
- KAWAMOTO, S.; WILLIAMS, R. S. Acoustic emission and acoustic-ultrasonic techniques for wood and wood-based composites - A review. **General Technical Report FPL-GTR-134**. Madison, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2002. 16p.
- MINÁ, A. J. S.; OLIVEIRA, F. G. R.; CALIL Jr., C.; DIAS, A. A.; SALES, A. Avaliação não destrutiva de postes de madeira por meio de ultra-som. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.1, n.65, p.188-189, 2004.

NESVIJSKI, E. G. **On design of ultrasonic transducers and accuracy of velocity measurements.** In: The e-Journal of Nondestructive Testing, v.5, n.2, Berlin: NDT.net, 2000. Disponível em: <<http://www.ndt.net/article/v05n02/nesvi/nesvi.htm>>. Acesso em: 04/05/2011.

NESVIJSKI, E. G. **Dry point contact transducers: design for new applications.** In: The e-Journal of Nondestructive Testing, v.9, n.9, Berlin: NDT.net, 2003. Disponível em: <<http://www.ndt.net/article/v08n09/nesvi/nesvi.htm>>. Acesso em: 04/05/2011.

OLIVEIRA, F. G. R.; CANDIAN, M.; LUCCHETTE, F. F.; CALIL Jr., C.; SALES, A. Avaliação de propriedades mecânicas de madeira por meio de ultra-som. In: PAN AMERICAN CONFERENCE FOR NONDESTRUCTIVE TESTING, 3., 2003, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Pan American Conference for Nondestructive Testing, 2003. 5p.

OLIVEIRA, F. G. R.; CANDIAN, M.; LUCCHETTE, F.F.; SALGON, J.L.; SALES, A. Moisture content effect on ultrasonic velocity in *Goupia glabra*. **Materials Research**, São Carlos, v.8, n.1, p.11-14, 2005.

PUCCINI, C. T. **Avaliação de aspectos de qualidade da madeira utilizando o ultra-som.** 2002. 139f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Campinas, 2002.

SIMPSON, W. T. Relationship between speed of sound and moisture content of red oak and hard maple during drying. **Wood and Fiber Science**, Madison, v.30, n.4, p.405-413, 1998.

STANGERLIN, D. M.; GATTO, D. A.; MELO, R. R.; CALEGARI, L.; VIVIAN, M. A.; CASTELO, P. A. R.; BELTRAME, R. Uso do ultrassom para estimativa das propriedades mecânicas da madeira de *Peltophorum dubium*. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v.1, n.2, p. 44-53, 2010a.

STANGERLIN, D. M.; GONÇALEZ, J. C.; GONÇALVES, R.; SANTINI, E. J.; CALEGARI, L.; GATTO, D. A.; MELO, R. R. Avaliação de tipos de ondas geradas por dois modelos de transdutores para determinação do módulo de elasticidade dinâmico. **Floresta**, Curitiba, v.40, n.4, p.691-700, 2010b.

TELES, R. F.; DEL MENEZZI, C. S.; SOUZA, F.; SOUZA, M. R. Nondestructive evaluation of a tropical hardwood: interrelationship between methods and physical-acoustical variables. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v.2, n.1, p. 1-14, 2011.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties and utilization.** New York: Van Nostrand Reinhold. 1991. 494p.

WANG, X.; CARTER, P.; ROSS, R. J.; BRASHAW. Acoustic assessment of wood quality of raw forest materials – a path to increased profitability. **Forest Products Journal**, Madison, v.57, n.5, p.6-14, 2007.