

CLASSIFICAÇÃO NÃO-DESTRUTIVA DE MADEIRA DA ESPÉCIE *GOUPIA GLABRA* UTILIZANDO AS TÉCNICAS DE ULTRA-SOM E VIBRAÇÃO TRANSVERSAL

Marcela Candian (1); Almir Sales (2); Viviane de Salles Cardin (3)

(1) Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal de São Carlos, Brasil – e-mail:
marcela_candian@yahoo.com.br

(2) Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal de São Carlos, Brasil – e-mail:
almir@ufscar.br

(3) Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal de São Carlos, Brasil – e-mail:
vicardin@yahoo.com.br

RESUMO

Proposta: A classificação de peças estruturais de madeira pode ser realizada por meio da utilização de técnicas não-destrutivas. Dentre as técnicas de avaliação não-destrutiva empregadas para a classificação da madeira, podem se destacar as técnicas de ultra-som e de vibração transversal. O objetivo específico deste trabalho foi verificar a acuracidade das técnicas de vibração transversal e ultra-som comparativamente aos valores obtidos em ensaios estáticos. **Método de pesquisa/Abordagens:** Na metodologia experimental foram estudadas peças de dimensão estrutural da espécie *Goupia glabra*, as quais foram classificadas mecanicamente utilizando as técnicas de ultra-som e de vibração transversal, para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico. Também foram realizados ensaios de flexão estática para determinação do módulo de elasticidade estático, para comparação com os dados já obtidos de módulo de elasticidade dinâmico. **Resultados:** Os valores obtidos de coeficiente de determinação para a técnica de ultra-som ($R^2 = 0,88$) e para a técnica de vibração transversal ($R^2 = 0,89$) são bastante significativos, demonstrando que as técnicas de ultra-som e de vibração transversal são importantes ferramentas para inferência não-destrutiva do módulo de elasticidade da madeira. **Contribuições/Originalidade:** Estimular e fomentar a cultura de classificação de madeira para estruturas no meio técnico, da mesma forma que outros materiais como o concreto e o aço. Busca ainda favorecer a utilização e disseminação de madeira classificada.

Palavras-chave: classificação não-destrutiva, madeira, ultra-som, vibração transversal.

ABSTRACT

Proposal: The classification of structural pieces wooden can be carried through by means of the use of nondestructive techniques. Amongst the used techniques of nondestructive evaluation for the classification of the wood, the techniques of ultrasound and transverse vibration can be distinguished. The specific objective of this work was to ascertain the accuracy of the ultrasonic and transverse vibration techniques in comparison with the values obtained from static tests on structural lumber. **Methods:** The experimental methodology involved studies on pieces of structural dimensions of the species *Goupia glabra*, a Brazilian hardwood, which were classified mechanically using the nondestructive ultrasonic and transverse vibration techniques to determine the dynamic modulus of elasticity (E_d). Concomitantly to the nondestructive tests, static bending tests were conducted to determine the static modulus of elasticity (MOE) and compare it with the values of dynamic modulus of elasticity. **Findings:** The values of the coefficient of determination for the ultrasonic technique ($R^2 = 0.88$) and for the transverse vibration technique ($R^2 = 0.89$) obtained for the species *Goupia glabra* were significant, demonstrating that the ultrasonic and transverse vibration techniques are important tools for the nondestructive inference of the modulus of elasticity of timber. **Originality/value:** To stimulate and to foment the culture of wooden classification for structures in the way technician, in the same way that other materials as the concrete and the steel. Search still to favor the use and wooden dissemination classified.

Keywords: nondestructive classification; wood; ultrasound, transverse vibration.

1 INTRODUÇÃO

A madeira é um material orgânico, de origem vegetal, sendo uma matéria-prima inesgotável, pois se encontra em contínua formação sob a forma de árvores, em florestas naturais ou florestas artificiais resultantes de reflorestamento. Por ser um material natural, apresenta uma grande variabilidade em suas propriedades mecânicas. Devido a esta variabilidade, o seu aproveitamento adequado pode ser alcançado com a classificação de todas as peças de madeira.

A madeira tem suas propriedades atualmente avaliadas pelo emprego de métodos destrutivos, que utilizam corpos-de-prova para a avaliação. Uma amostragem incorreta pode acarretar resultados não coerentes, e em alguns casos o corpo-de-prova pode não ser representativo de um lote de madeira.

Uma melhor avaliação pode ser realizada utilizando-se de métodos não-destrutivos, pois esta avaliação permite a avaliação no próprio elemento, sem a necessidade de extração de corpos-de-prova. A avaliação não-destrutiva é definida como sendo a ciência de identificar as propriedades físicas e mecânicas de uma peça de determinado material sem alterar suas capacidades de uso final.

Os ensaios não-destrutivos são aqueles realizados em materiais para verificar a existência ou não de descontinuidades ou defeitos, por meio de princípios físicos definidos, sem alterar suas características físicas, químicas, mecânicas ou dimensionais e sem interferir em seu uso posterior (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSAIOS NÃO-DESTRUTIVOS, 2006).

Existem atualmente diversas técnicas de avaliação não-destrutiva que são empregadas para a classificação da madeira, dentre as quais podem-se destacar: classificação visual, ultra-som, MSR (*Machine Stress Rate*), ondas de tensão e vibração transversal.

O ultra-som é uma técnica não-destrutiva baseada em propagação de ondas, apresentando muitas aplicações, desde a própria árvore até peças estruturais. A determinação das propriedades mecânicas da madeira usando propagação de ondas ultra-sônicas é baseada na relação entre a velocidade do som, o módulo de elasticidade e a densidade.

A técnica não-destrutiva por meio de ultra-som apresenta diversificada finalidade, permitindo desde a determinação da existência de nós, presença de ataque de microorganismos ou insetos, direcionamento das fibras, decomposição, passando pela avaliação de elementos estruturais de madeira em uso, até a estimativa de alguns parâmetros como o módulo de elasticidade (GORNIAK e MATOS, 2000).

A avaliação não-destrutiva com o emprego de vibração transversal é baseada na relação existente entre a rigidez e a frequência natural de vibração (CARREIRA *et al.*, 2004).

A técnica de vibração transversal foi um dos primeiros métodos não-destrutivos investigados para a determinação do módulo de elasticidade da madeira. Apesar de sua concepção simples, e a despeito dos grandes avanços obtidos nessa área com outros métodos, o método revela-se como de grande potencial de aplicação, sobretudo pela precisão do modelo matemático a ele associado e pela possibilidade de sua aplicação em peças de dimensões estruturais (*in-grade testing*) (BALLARIN *et al.*, 2002).

Este trabalho ao realizar um estudo sobre classificação com emprego de técnicas não-destrutivas, busca estimular e fomentar a cultura de classificação de madeira para estruturas no meio técnico, da mesma forma que outros materiais como o concreto e o aço. Com isso, será possível favorecer a utilização e disseminação de madeira classificada, além de aumentar a conformidade desse material em níveis compatíveis com a sua utilização em estruturas de madeira.

2 OBJETIVO

O objetivo deste artigo é verificar a acuracidade das técnicas não-destrutivas de ultra-som e vibração transversal para inferência do módulo de elasticidade da madeira.

3 METODOLOGIA

Neste trabalho foram empregadas 30 peças de dimensões estruturais aproximadas de 5,0 cm x 11,0 cm x 300 cm da espécie *Goupia glabra*, as quais foram classificadas mecanicamente utilizando as técnicas de ultra-som e vibração transversal, para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico (E_d). Simultaneamente aos ensaios com ultra-som e vibração transversal foram realizados ensaios de flexão estática (MOE). O teor de umidade encontrado nas peças foi em torno de 12%, não sendo necessário corrigir as propriedades mecânicas em função da umidade.

A classificação mecânica utilizando a técnica de ultra-som foi realizada utilizando o equipamento Sylvatest com transdutores de 22 kHz. Em cada peça foram realizadas três leituras de tempo em microssegundos, e a partir destas realizou-se a média das leituras. Com o tempo médio, foi determinada a velocidade, e a partir desta, utilizando a eq. 1 foi possível determinar o módulo de elasticidade dinâmico ($E_{d, us}$).

$$E_{d, us} = \rho \times v^2 \quad (\text{eq. 1})$$

Onde:

$E_{d, us}$ é o módulo de elasticidade dinâmico (10^{-6} MPa);

ρ é a densidade da madeira (kg/m^3);

v é a velocidade da onda longitudinal (m/s).



Figura 1 - Ensaio de ultra-som.

Para a realização do ensaio de vibração transversal foi empregado o equipamento Transverse Vibration E-Computer da Metriguard. As peças de madeira foram dispostas biapoíadas e aplicou-se um impacto no centro da peça. A partir da vibração da peça foram fornecidos pelo equipamento os valores de frequência e peso. A partir destes valores, juntamente com as dimensões das peças e com o valor do vão empregado foi possível determinar a partir da eq. 2 o valor do módulo de elasticidade dinâmico ($E_{d, vt}$).

$$E_{d, vt} = \frac{fr^2 x W x L^3}{2,46 x I x g} \quad (\text{eq. 2})$$

Sendo:

fr = frequência de ressonância (Hz);

W = massa da viga (Kg);
L = vão da peça (m);
I = momento de inércia da seção transversal (cm⁴);
g = aceleração da gravidade (9,8 m/s²).



Figura 2 - Ensaio de vibração transversal.

Simultaneamente aos ensaios de ultra-som e vibração transversal foram realizados ensaios de flexão estática (MOE) para obtenção de correlações entre os valores do módulo de elasticidade obtidos. As peças foram dispostas na posição de menor inércia, e foram submetidas a um carregamento na região central, sendo realizadas seis leituras de deslocamento. O MOE à flexão em relação ao eixo de menor inércia foi determinado utilizando-se a eq. 3.

$$MOE = \frac{\Delta F x L^3}{48 x \Delta v x I} \quad (\text{eq. 3})$$

Sendo:

MOE = Módulo de elasticidade (MPa);

$\Delta F = (F_2 - F_1)$, Incremento de carga (N);

L = Vão da prancha (mm);

$\Delta v = (v_2 - v_1)$, Incremento de deslocamento (mm);

I = Momento de inércia da seção transversal (mm⁴).

Na Figura 3 é possível visualizar o ensaio de flexão estática.

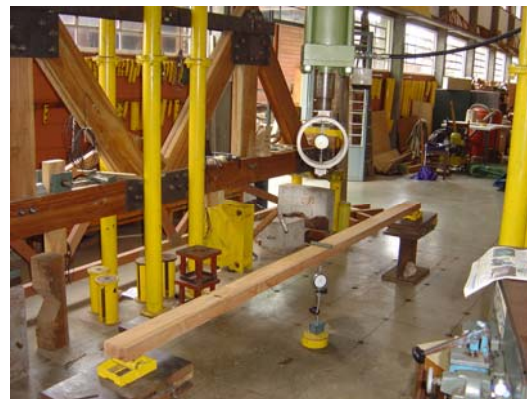


Figura 3 - Ensaio de flexão estática.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste item estão analisados os resultados obtidos na realização dos ensaios com a espécie *Goupia glabra*, utilizando as técnicas de ultra-som e vibração transversal, os quais foram comparados com resultados obtidos no ensaio de flexão estática para verificação da acuracidade das técnicas não-destrutivas em estudo.

4.1 Teste de normalidade para os dados obtidos de módulo de elasticidade (estático e dinâmico)

Para a espécie em estudo aplicou-se para os dados obtidos de módulo de elasticidade (estático e dinâmico) o método de Kolmogorov-Smirnov para verificar se estes apresentavam uma distribuição normal, permitindo assim validar estatisticamente as relações obtidas.

O teste consiste em comparar a variável de teste (D), que corresponde a maior diferença observada entre a função de distribuição acumulada do modelo e da amostra, com o valor de D crítico tabelado. A seguir são apresentados os resultados obtidos para a técnica de ultra-som, vibração transversal e para a flexão estática, para a espécie em estudo.

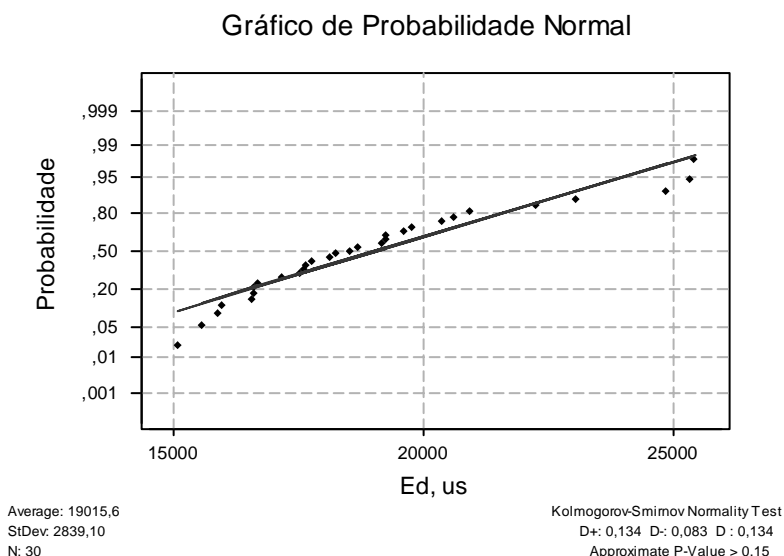


Gráfico 1 - Gráfico do teste de Kolmogorov-Smirnov para a espécie *Goupia glabra* – Ultra-som.

Para os dados obtidos com a técnica de ultra-som verifica-se pelo Gráfico 1, que o valor obtido para a variável de teste D corresponde a 0,134. Para 30 vigas ($n = 30$), o valor crítico ao nível $\alpha = 5\%$ de significância é 0,242. Nota-se que 0,134 é inferior a 0,242, logo pode-se aceitar a hipótese de normalidade.

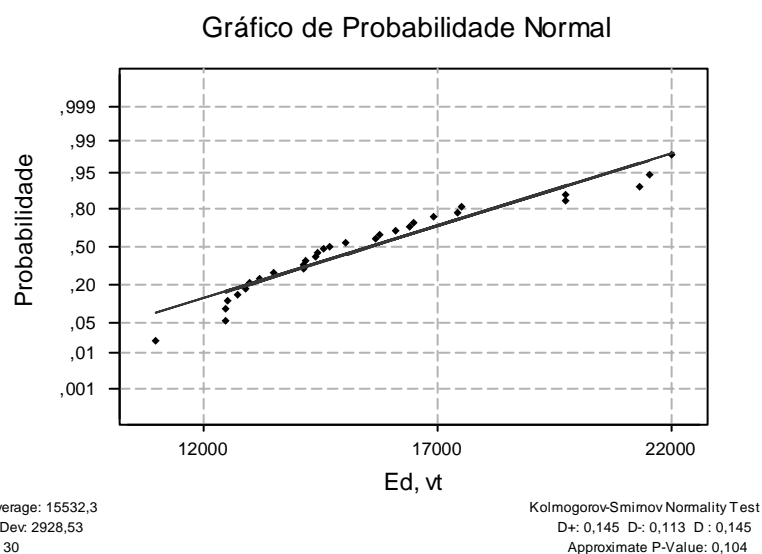


Gráfico 2 - Gráfico do teste de Kolmogorov-Smirnov para a espécie *Goupia glabra* – Vibração transversal.

Para os dados obtidos com a técnica de vibração verifica-se pelo Gráfico 2, que o valor obtido para a variável de teste D corresponde a 0,145. Para 30 vigas ($n = 30$), o valor crítico ao nível $\alpha = 5\%$ de significância é 0,242. Nota-se que 0,145 é inferior a 0,242, logo pode-se aceitar a hipótese de normalidade.

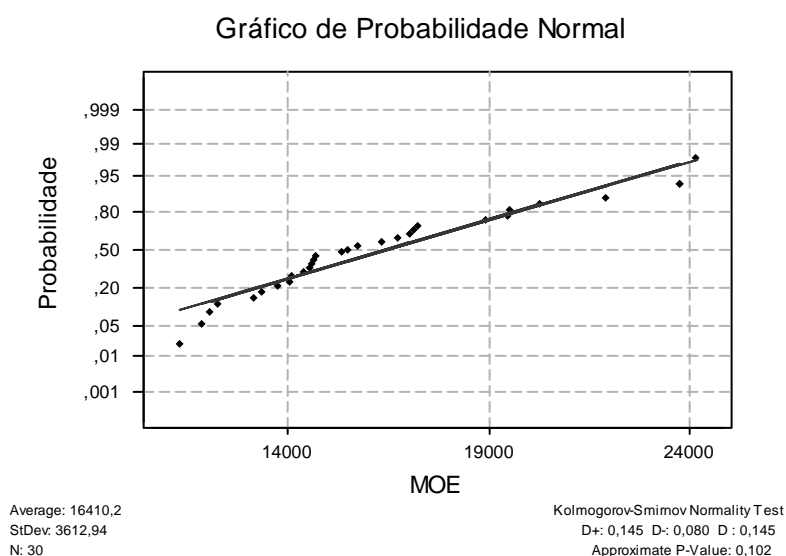


Gráfico 3 - Gráfico do teste de Kolmogorov-Smirnov para a espécie *Goupia glabra* – Flexão estática.

Para os dados obtidos com a flexão estática verifica-se pelo Gráfico 3, que o valor obtido para a variável de teste D corresponde a 0,145. Para 30 vigas ($n = 30$), o valor crítico ao nível $\alpha = 5\%$ de significância é 0,242. Nota-se que 0,145 é inferior a 0,242, logo pode-se aceitar a hipótese de normalidade.

4.2 Correlação entre o módulo de elasticidade longitudinal e o módulo de elasticidade dinâmico obtido com a técnica de ultra-som

Na Tabela 1 estão apresentados os valores referentes à densidade, à velocidade ultra-sônica na direção longitudinal, ao módulo de elasticidade dinâmico obtido com a técnica de ultra-som e também ao

módulo de elasticidade longitudinal, para as peças em estudo.

Tabela 1 - Valores máximos, mínimos e médios e coeficientes de variação.

Espécie		$\rho_{ap,12\%}$ (kg/m ³)	V_{LL} (m/s)	$E_{d,us}$ (MPa)	MOE (MPa)
<i>Goupia glabra</i>	Valor máximo	1031,5	5501	28274	24161
	Valor mínimo	816,2	4491	18212	11323
	Média	954,1	4828	22309	16410
	CV (%)	5,0	5,9	13,0	22,0

Com os pares de valores dos módulos de elasticidade dinâmico e longitudinal, obtidos para cada uma das peças, realizou-se a regressão linear, apresentado no Gráfico 4.

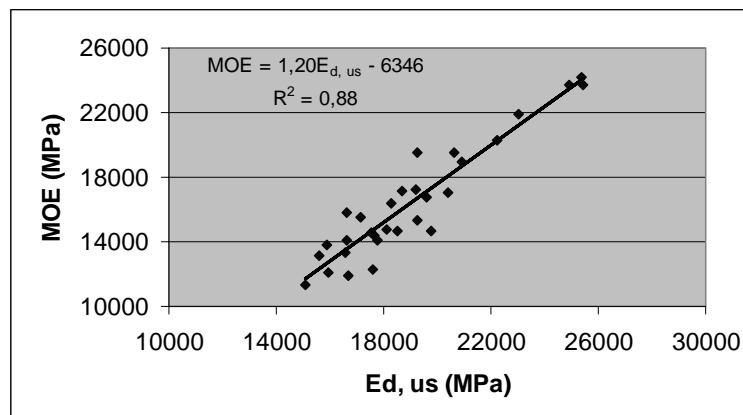


Gráfico 4 - MOE versus $E_{d,us}$ – *Goupia glabra*.

O coeficiente de determinação $R^2 = 0,88$ obtido para a espécie *Goupia glabra* é significativo, estando compatível com os valores usualmente encontrados em outras pesquisas. Diversas pesquisas demonstram a viabilidade do método de ultra-som, por meio de correlações entre os módulos de elasticidade obtidos em ensaios destrutivos e em ensaios não-destrutivos com emprego da técnica de ultra-som. Os valores de coeficiente de determinação (R^2) encontram-se no intervalo de 0,57 a 0,89 (ROSS e PELLERIN, 1994), (ROSS e PELLERIN, 1991), (BARTHOLOMEU, 2001), (NOGUEIRA, 2003) e (OLIVEIRA, 2005).

Dando continuidade ao procedimento estatístico, foram elaborados os quadros de análise de variância para a espécie em estudo, para avaliação dos níveis de significância dos parâmetros envolvidos. Os quadros de análise de variância permitiram verificar a dependência linear ao nível de 5% de significância, e o comportamento dos principais indicadores estimados nas análises desenvolvidas: F, t, R^2 e t_{dados} .

Com estes coeficientes foi possível verificar o quanto da variação de cada uma das variáveis de estudo poderia ser explicado pela variável resposta (MOE).

Tabela 2 - Quadro de análise de variância (MOE em função de $E_{d,us}$).

Espécie	Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F_{dados}	$F_{1,28;5\%}$
<i>Goupia glabra</i>	Devido à regressão	334765829	1	334765829	214,1	4,2
	Residual	43780931	28	1563605		
	Total	378546760	29			

A análise de variância desenvolvida permite comparar os dados de MOE e $E_{d,us}$, ao nível de 5% de

significância. Pela Tabela 2 é possível verificar que os valores da variável de teste F_{dados} foram superiores aos valores críticos $F_{1,28;5\%}$ para a espécie em estudo, assim é rejeitada a hipótese nula H_0 , logo é possível afirmar a existência de dependência linear ao nível de $\alpha = 5\%$. Seguindo-se o procedimento estatístico, foi elaborada a Tabela 3 que apresenta os coeficientes de regressão para a espécie em estudo.

Tabela 3 - Coeficientes de regressão (MOE em função de $E_{d, \text{us}}$).

Espécie	Variável	Coefficiente	t_{dados}	$t_{28;5\%}$
<i>Goupia glabra</i>	Constante	-6346	-4,04	1,701
	$E_{d, \text{us}}$	1,19671	14,63	1,701
	n = 29 $R^2 = 88\%$			

O coeficiente obtido é significativo e permite verificar o quanto da variação do MOE pode ser explicada por $E_{d, \text{us}}$. Com essas duas análises desenvolvidas foi possível a construção da Tabela 4 que sintetiza a significância do modelo.

Tabela 4 - Regressões entre o MOE e $E_{d, \text{us}}$.

Espécie	Equação de regressão	R^2	Significância
<i>Goupia glabra</i>	$\text{MOE} = 1,20E_{d, \text{us}} - 6346$	0,88	Altamente significativa

A relação obtida pode ser considerada como altamente significativa.

4.3 Correlação entre o módulo de elasticidade longitudinal e o módulo de elasticidade dinâmico obtido com a técnica de vibração transversal

Na Tabela 5 estão apresentados os valores referentes ao módulo de elasticidade dinâmico obtido com a técnica de vibração transversal e também ao módulo de elasticidade longitudinal obtido para as peças em estudo.

Tabela 5 - Valores máximos, mínimos e médios de módulo de elasticidade dinâmico e longitudinal e coeficientes de variação.

Espécie		$E_{d, \text{vt}}$ (MPa)	MOE (MPa)
<i>Goupia glabra</i>	Valor máximo	22019	24161
	Valor mínimo	10952	11323
	Média	15532	16410
	CV (%)	18,9	22,0

Com os pares de valores dos módulos de elasticidade dinâmico e longitudinal, obtidos para cada uma das peças, realizou-se a regressão linear, apresentado no Gráfico 5.

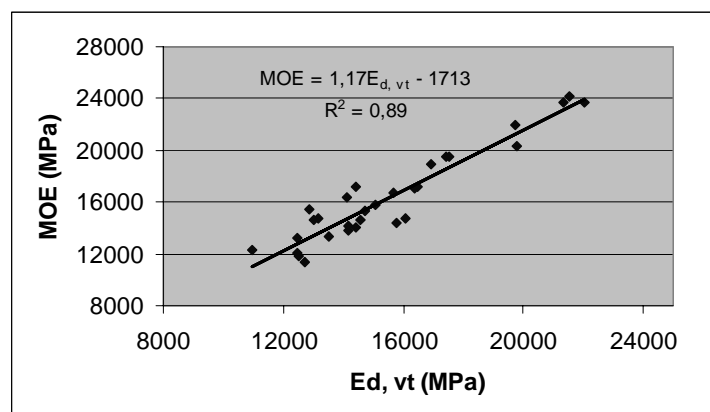


Gráfico 5 - MOE versus $E_{d, \text{vt}}$ – *Goupia glabra*.

O valor de coeficiente de determinação $R^2 = 0,89$ obtido para a espécie *Goupia glabra* está compatível com os valores obtidos em outras pesquisas, sendo considerado satisfatório. Diversas pesquisas têm demonstrado a viabilidade do método de vibração transversal na avaliação do módulo de elasticidade da madeira, por meio de correlações entre os módulos de elasticidade obtidos em ensaios destrutivos e em ensaios não-destrutivos. Os valores de coeficiente de determinação (R^2) encontram-se no intervalo de 0,53 a 0,99 (CALIL JR. E MINÁ, 2003), (BURDZIK e NKWERA, 2002), (BALLARIN et al., 2002), (CARREIRA et al., 2004), (ROSS e PELLERIN, 1991) e (BARTHOLOMEU et al., 2004).

Dando continuidade ao procedimento estatístico, elaborou-se para os dados de MOE e $E_{d, vt}$ da mesma forma que foi realizado anteriormente para os dados de MOE e $E_{d, us}$, os quadros de análise de variância para a espécie em estudo, para avaliação dos níveis de significância dos parâmetros envolvidos. Os quadros de análise de variância permitiram verificar a dependência linear ao nível de 5% de significância, e o comportamento dos principais indicadores estimados nas análises desenvolvidas: F, t, R^2 e t_{dados} . A partir do coeficiente, foi possível verificar o quanto da variação de cada uma das variáveis de estudo poderia ser explicado pela variável resposta.

Tabela 6 - Quadro de análise de variância (MOE em função de $E_{d, vt}$).

Espécie	Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F _{dados}	F _{1,28;5%}
<i>Goupia glabra</i>	Devido à regressão	338590888	1	338590888	237,3	4,2
	Residual	39955873	28	1426995		
	Total	378546761	29			

A análise de variância desenvolvida permite comparar os dados de MOE e $E_{d, vt}$, ao nível de 5% de significância. Pela Tabela 6 é possível verificar que o valor da variável de teste F_{dados} foi superior ao valor crítico $F_{1,28;5\%}$ para a espécie em estudo, assim é rejeitada a hipótese nula H_0 , logo é possível afirmar a existência de dependência linear ao nível de $\alpha = 5\%$.

Seguindo-se o procedimento estatístico, foi elaborada a Tabela 7 que apresenta o coeficiente de regressão para a espécie em estudo.

Tabela 7 - Coeficientes de regressão (MOE em função de $E_{d, vt}$).

Espécie	Variável	Coefficiente	t_{dados}	$t_{28;5\%}$
<i>Goupia glabra</i>	Constante	-1713	-1,43	1,701
	$E_{d, vt}$	1,16678	15,4	1,701
	n = 29 $R^2 = 89,4\%$			

O coeficiente obtido é significativo e permite verificar o quanto da variação do MOE pode ser explicado por $E_{d, vt}$. Com essas duas análises desenvolvidas foi possível a construção da Tabela 8 que sintetiza a significância dos modelos.

Tabela 8 - Regressões entre o MOE e $E_{d, vt}$.

Espécie	Equação de regressão	R^2	Significância
<i>Goupia glabra</i>	MOE=1,17 $E_{d, vt}$ -1713	0,89	Altamente significativa

A relação obtida pode ser considerada altamente significativa.

5 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos e discussões realizadas foi possível obter as seguintes conclusões:

- Os valores obtidos de coeficientes de determinação (R^2) para a espécie em estudo permitiram verificar a acuracidade das técnicas de ultra-som e vibração transversal,

mostrando que ambas são ferramentas válidas e bastante confiáveis para a inferência não-destrutiva do módulo de elasticidade de peças estruturais de madeira;

- O coeficiente de determinação ($R^2 = 0,89$) obtido com a técnica de vibração transversal foi superior ao valor obtido com a técnica de ultra-som ($R^2 = 0,88$). Todavia nota-se uma grande proximidade entre eles, permitindo verificar que ambas as técnicas podem ser utilizadas no recebimento e classificação de peças estruturais de madeira, com a vantagem adicional de permitir o exame individual das peças.

6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSAIOS NÃO-DESTRUTIVOS – ABENDE. Disponível em: <http://www.abende.org.br/ensaios_ao_destrutivos.html> Acesso em: 12 julho, 2006.

BALLARIN, A. W.; TARGA, L. A.; PALMA, H. A. **Ensaio não-destrutivo de vibração transversal na avaliação do módulo de elasticidade de madeiras de reflorestamento**. In: VIII Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. Uberlândia, 2002.

BARTHOLOMEU, A. **Classificação de peças estruturais de madeira através do ultra-som**. Campinas, 73 p. Tese (Doutorado) – UNICAMP, 2001.

BARTHOLOMEU, A.; GONÇALVES, R.; GUIMARÃES, I., CAMARGO, J. I. **Metodologia simplificada para o ensaio de vibração transversal em vigas estruturais de Angelim arôba**. IX Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, Cuiabá, 2004.

BURDZIK, Walter M.G.; NKWERA, Primus D. **Transverse vibration tests for prediction of stiffness and strength properties of full size *Eucalyptus grandis***. Forest Products Journal, vol. 52, no. 6, 63-67, 2002.

CALIL JR., C.; MINÁ, A. J. S. **Vibração transversal: Um método eficiente para classificação de peças estruturais de madeira**. In: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.7, n.2, p.335-338, 2003.

CARREIRA, M. R.; DIAS, A.A.; CHEUNG, A. B.; CALIL Jr, C. **Classificação estrutural de *Pinus sp* por vibração transversal**. IX Encontro Brasileiro em madeiras e em estruturas de madeira. Cuiabá, 2004.

GORNIK, E.; MATOS, J. L. M. **Métodos não destrutivos para determinação e avaliação de propriedades da madeira**. VII ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA EM ESTRUTURA DE MADEIRA. Anais do VII Encontro Brasileiro em Estrutura de Madeira, São Carlos, 2000.

NOGUEIRA, M. **Determinação de módulos de elasticidade à compressão de madeira de *Pinus taeda* L. com o uso de ultra-som**. Botucatu, Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, 2003.

OLIVEIRA, F. G. R. **Contribuição ao estabelecimento de parâmetros para ensaios não-destrutivos em madeira serrada por meio de ondas de ultra-som**. São Carlos, Tese (Doutorado) – EESC, USP, 2005.

ROSS, R. J.; PELLERIN, R. F. **NDE of green material with stress waves: preliminary results using dimension lumber**. Forest Products Journal. v. 41, n. 6, p. 57-59, 1991.

ROSS, R.J.; PELLERIN, R.F. **Nondestructive testing for assessing wood members in structures**. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. (General Technical Report FPL-GTR 70), 1994.

7 AGRADecIMENTOS

À FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo), à UFSCar (Universidade Federal de São Carlos), ao MCT/CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e ao Laboratório de Madeira e Estruturas de Madeira (LaMEM/USP).