

Estimativas de constantes elásticas de madeiras brasileiras com a utilização de propagação de ondas de excitação

Bruno Sangali Arantes¹; Alice Soares Brito ²; Pedro Gutemberg de Alcântara Segundinho¹;
Rejane Costa Alves^{1*}.

¹ Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Jerônimo Monteiro/ES, Brasil. * e-mail do autor correspondente: Rejanealves.ufes@gmail.com

² Instituto Federal do Norte de Minas Gerais, Campus Salinas, Salinas/MG, Brasil

Resumo: Ratificando com o crescente e importante apelo pela preservação ecológica, bem como com a ampliação de estudos sobre madeiras tropicais, o objetivo do trabalho foi determinar as constantes elásticas de três espécies de madeiras tropicais utilizando o aparelho não destrutivo sonelastic. Estudaram-se três espécies de madeira: *Pinus sp.* (pinus), *Brosimum paraense* Huber (pau-brasil) e *Ocotea sp.* (louro-preto). Confeccionaram-se os corpos de prova com base nas especificações do manual do aparelho. A partir do ensaio não destrutivo foi possível determinar os valores de frequência natural, assim como as constantes elásticas das três espécies estudadas. O método não destrutivo estudado mostrou ser eficiente a fim de estimar os valores de módulo de elasticidade flexional e torcional. As madeiras de maiores densidades apresentaram maiores valores de módulo de elasticidade longitudinal e transversal, mas fatores inerentes as madeiras, como a anatomia, também se mostraram como fatores de influência nos resultados obtidos.

Palavras chaves: Madeiras tropicais; Ensaio não destrutivo, Sonelastic.

Estimates of elastic constants of Brazilian Wood using propagation of excitation waves.

Abstract: Ratifying the growing and important call for preservation, as well as the capacity for tropical wood studies, and the goal of ecological studies of tropical species using the non-destructive sonelastic device. Three wood species were studied: *Pinus sp.* (pine), *Brosimum paraense* Huber (redwood) and *Ocotea sp.* (black laurel). The specimens were made based on the specifications in the device's manual. From the test, it was not possible to determine the natural frequency values as well as the elastic constant of the three species analyzed. The non-destructive method studied proved to be efficient for estimating the values of flexibility and torsional modulus. As the woods with higher density present higher longitudinal and transversal elasticity values, but

equally important, as the woods can also be considered as influencing factors in the results.

Keywords: Tropical woods; Non-destructive testing, Sonelastic .

1. INTRODUÇÃO

O estudo com madeiras comerciais que não se enquadram na lista de espécies em extinção se faz necessária, uma vez que, o conhecimento por espécies “menos nobres” podem reduzir a pressão por espécies muito exploradas e por consequência não contribuindo para a escassez de espécies tropicais. No Brasil, as madeiras foram caracterizadas em sua maioria quanto às propriedades físicas e mecânicas convencionais, no entanto poucos são os estudos que determinam suas matrizes de constantes elásticas, sendo de grande importância já que as mesmas são utilizadas nas modelagens matemáticas para prever comportamento estrutural das estruturas de madeira.

A devastação das florestas fez surgir à preocupação com a utilização de madeiras corretamente caracterizadas e, por consequência, tem sido necessário desenvolver métodos e análises mais rápidos e que gerem menos perdas [1]. Nesse contexto, têm-se introduzido os métodos não destrutivos para avaliação desses materiais.

Com a tomada de consciência ecológica, os métodos não destrutivos de avaliação de madeira têm sido amplamente utilizados no mundo. Os autores [2,3] utilizaram o princípio de propagação da onda para estimar algumas propriedades da madeira. Os ensaios não destrutivos são realizados em matérias para verificar a existência ou não de descontinuidade ou defeitos, através de princípios físicos definidos, sem alterar suas características físicas, químicas, mecânicas ou dimensionais, de forma a não interferir em seu uso posterior [4].

A técnica de propagação de ondas de excitação por impulso consiste na determinação dos módulos elásticos de um material a partir das frequências naturais de vibração de um corpo de prova. Estas frequências são excitadas por meio de um impacto mecânico de curta duração, seguido da captação da resposta acústica por um sensor, em seguida um tratamento matemático é feito no sinal para a obtenção do espectro de frequências, e a partir disso, são calculados os módulos elásticos dinâmicos através de equações previstas em norma [5].

O objetivo do atual trabalho foi determinar os valores de constantes elásticas de três espécies de madeiras tropicais, realizando ensaios não destrutivos e considerando-as material ortotrópico.

2. MATERIAL E MÉTODOS

As análises foram realizadas nos laboratórios do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Ao todo foram estudadas três espécies de madeiras (exóticas e nativas) disponíveis no Departamento. Os estudos com o objetivo de especificar a densidade aparente das madeiras foram realizados no Laboratório de Qualidade da Madeira do DCFM/UFES para todos os corpos de prova ensaiados para propagação de ondas de excitação, com auxílio de paquímetros, balanças e estufas. Os cálculos de densidade aparente foram determinados de acordo com a [6], e suas correções realizadas utilizando a [7] e a [8].

2.1 Propagação de ondas de excitação

As amostras foram caracterizadas com relação aos modos de vibração flexional e torcional. Para isso, utilizou-se um suporte ajustável para barras, um pulsador, um captador acústico e um software específico, no presente trabalho utilizaram-se o Sonelastic (Figura 1).

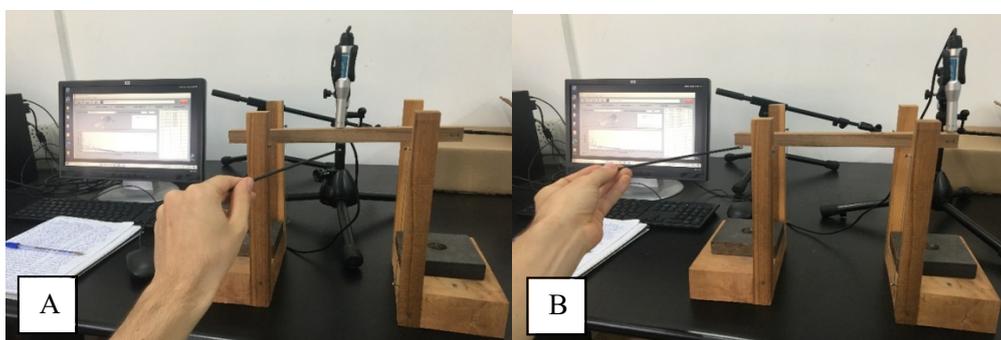


Figura 1: Ensaio utilizando o método de propagação de ondas de excitação para a obtenção do modo de vibração flexional (A) e torcional (B)

Confeccionou-se 60 corpos de prova para cada espécie, e os mesmos foram ensaiados com o método de excitação de ondas na direção flexional e torcional. Determinaram-se as dimensões dos CPs acordo com o manual do equipamento [5]. Em seguida, marcou-se os Cps com traços distantes $0,224L$ e $0,32L$ de cada extremidade, sendo L representa o comprimento do CP. Estas posições corresponderam às linhas nodais do CP, referentes ao modo de vibração flexional e torcional, respectivamente, para as geometrias de barras retangulares.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios encontrados referentes a densidade aparente das espécies estudadas foram de $533,35 \text{ kg/m}^3$, $985,16 \text{ kg/m}^3$, $968,50 \text{ kg/m}^3$ para as espécies de pinus, pau Brasil e louro preto, respectivamente. Apesar de os valores médios das densidades aparentes determinadas para as amostras de louro preto e pau Brasil se mostrarem estatisticamente semelhantes, o comportamento

desta propriedade para a espécie de louro preto se mostrou mais heterogêneas, com maior desvio padrão (Tabela 1). Os valores médios de densidade aparente determinados no presente trabalho para as espécies de louro preto e pau brasil foram mais altos que o da literatura (Tabela 1), justifica-se tal afirmação pela relação do lenhos inicial e tardio, largura dos anéis de crescimento, local de crescimento das espécies, entre outros fatores que afetam a densidade da madeira [9].

Tratando-se das frequências naturais estudadas, notou-se que não houve relação direta entre a densidade aparente e as frequências naturais determinadas pelo ensaio acústico flexional e torcional, visto que apesar da relação direta entre frequência natural e densidade ter permanecido para as madeiras de pau brasil e pinus, o mesmo não ocorreu para a madeira de louro preto (Tabela 1). Observando que as frequências naturais podem ser influenciadas por fatores inerentes as espécies.

Em relação aos valores calculados de módulo de elasticidade dinâmico (E_{din}) e módulo de elasticidade transversal (G_{din}), os mesmos obtiveram uma tendência a ter relação direta com a densidade aparente, ou seja, quanto maiores os valores de densidade aparente, maiores os valores das constantes elásticas (Tabela 1).

Tabela 1 - Valores médios da densidade aparente, frequência flexional e torcional, módulo de elasticidade dinâmico e módulo de deformação transversal resultantes do ensaio realizados para as três espécies estudadas

| | Louro Preto | Pau Brasil | Pinus |
|--------------------------------|---|---|---|
| D.aparente [kg/m^3] | 968,50A 104,57 (967,19; 969,80) | 985,16A 31,13 (983,85; 986,47) | 533,65 B 74,29* (532,38; 534,91)** |
| Freq. Flexional [Hz] | 518,48 C 29,78 (517,14; 519,81) | 794, 25 A 57,60 (792,93; 795,57) | 566,11 B 162,73 (564,80; 567, 42) |
| Freq.Torcional [Hz] | 1388,85 B 81,32 (1387,52; 1390,18) | 2133,02 A 180,33 (2131,70; 2134,34) | 2123,12 A 620,05 (2121,80; 2124,45) |
| E_{din} [GPa] | 12,19 B 2,32 (10,88; 13,50) | 27,43 A 2,64 (26,11; 28,75) | 7,37 C 2,03 (6,10; 8,63) |
| G_{din} [GPa] | 2,50 B 0,30 (1,18; 3,80) | 3,19 A 1,35 (1,87; 4,51) | 1,57 C 0,36 (0,30; 2,83) |

*dp= desvio padrão. **95% CI significa intervalo de confiança de 95%

4. CONCLUSÕES

Corroborando com o aumento do seu uso na literatura, apesar da técnica de excitação de onda se mostrar um método não destrutivo eficiente para conhecer os comportamentos físico-mecânico das madeiras tropicais brasileiras, há a necessidade de mais estudos na área.

Os valores determinados para as frequências naturais flexionais e torcionais sofreram influência não apenas da densidade aparente, mas também de fatores inerentes as madeiras, como por exemplo, a anatomia. Já as madeiras de maiores densidades apresentaram maiores valores de módulo de elasticidade longitudinal e transversal (E_{din} e G_{din}), sendo o inverso verdadeiro.

5. REFERÊNCIAS

[1] ALVES, R. C. Determinação das constantes elásticas da madeira considerando a sua ortotropia. 2017. Tese (Programa de Pós-graduação em Engenharia de Estruturas), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

[2] ALVES, R. C.; MANTILLA, J. N. R.; BREMER, C. F.; CARRASCO, E. V. M. Application of Acoustic Tomography and Ultrasonic Waves to Estimate Stiffness Constants of Muiracatiara Brazilian Wood. *Bioresources* (Raleigh, N.C) , v. 10, p. 1845-1856, 2014.

[3] VÁZQUEZ, C.; GONÇALVES, R.; BERTOLDO, C.; BAÑO, V.; VEGA, A.; CRESPO, J.; GUAITA, M. Determination of the mechanical properties of *Castanea sativa* Mill. Using ultrasonic wave propagation and comparison with static compression and bending methods. *Wood SciTechnol*, 2015. DOI 10.1007/s00226-015- 0719-7.

[4] CANDIAN, Livia Matheus. ESTUDO DO POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE RECICLADO PARA USO EM ELEMENTOS ESTRUTURAIS. 2007. 153 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

[5] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. Standard Test Method for Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus, and Poisson's Ratio by Impulse Excitation of Vibration. ASTM designation E1876 – 09, 2006.

[6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.

[7] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. Standard test method of for specific gravity of wood based materials. ASTM designation D 2395, 1998.

[8] ISO 3130. **Wood determination of moisture content for physical and mechanical tests.** International Organization for Standardization, Switzerland. 1975.

[9] MORESCHI, J.C. Propriedades da madeira, 4ª edição, Curitiba, 2012.