



## Aplicação da técnica de vibração por impulso para estimativa do módulo de elasticidade em madeiras

Thawane Rodrigues Brito<sup>1</sup>; Evelize Aparecida Amaral<sup>1</sup>; Luana Maria dos Santos<sup>1</sup>; Nayara Tamires da Silva Carvalho<sup>1</sup>; José Reinaldo Moreira da Silva<sup>1</sup>; Edy Eime Pereira Baraúna<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira / Universidade Federal de Lavras; <sup>2</sup> Instituto de Ciência Agrárias / Universidade Federal de Minas Gerais

**Resumo:** O conhecimento das propriedades mecânicas da madeira é de fundamental importância, principalmente quando destinada a fins estruturais. A técnica de excitação por impulso trata-se de método não destrutivo que tem sido aplicado com sucesso para estimar as propriedades mecânicas dos materiais. Dessa forma, objetivou-se aplicar essa técnica para estimar o módulo de elasticidade em madeiras com diferentes densidades. Corpos de prova de *Eucalyptus* sp. e *Cedrella* sp. isentos de defeitos foram utilizados. O equipamento Sonelastic foi utilizado para determinação do módulo de elasticidade. Os valores médios do módulo de elasticidade para as madeiras de *Eucalyptus* sp. e *Cedrella* sp. foram de 22,75 GPa e 5,90 GPa, respectivamente. Os materiais analisados apresentaram baixa variabilidade em seus valores de módulo de elasticidade. O *Eucalyptus* sp. apresentou maior densidade e consequentemente maior resistência mecânica em relação a *Cedrella* sp.

**Palavras-chave:** Propriedade mecânica, Método não destrutivo, Sonelastic.

### Impulse vibration technique for estimating the modulus of elasticity in timbers

**Abstract:** Knowledge of the mechanical properties of wood is of fundamental importance, especially when it is intended for structural purposes. The impulse excitation technique is a non-destructive method that has been successfully applied to estimate the mechanical properties of the materials. Thus, it was aimed to apply this technique to estimate the modulus of elasticity in woods of different densities. Samples of *Eucalyptus* sp. and *Cedrella* sp. free of defects were used. The Sonelastic equipment was used to determine the modulus of elasticity. The mean values of the modulus of elasticity for *Eucalyptus* sp. and *Cedrella* sp. were 22.75 GPa and 5.90 GPa, respectively. The analyzed materials presented low variability in their modulus of elasticity values. *Eucalyptus* sp. presented higher density and consequently greater mechanical resistance in relation to *Cedrella* sp.

**Keywords:** Mechanical property, Non-destructive method, Sonelastic.



## 1. INTRODUÇÃO

A madeira pode ser definida como material heterogêneo, anisotrópico e higroscópico, sendo considerada material complexo e muito versátil quanto a sua utilização. Por apresentar alta resistência em relação à sua massa, foi um dos primeiros materiais utilizados para fins estruturais. Suas propriedades mecânicas são responsáveis por indicar sua capacidade de resistir a esforços e são geralmente aferidas pela sua resistência e rigidez contra forças externas (Leite et al., 2012).

Segundo Rubini & Moraes (2012), a madeira apresenta resistência a diferentes tipos de esforços mecânicos, cujo grau de intensidade varia entre espécies, e sua maior ou menor resistência define a sua melhor forma de utilização. As propriedades mecânicas definem o comportamento do material quando submetido à aplicação de forças e sua capacidade de resistir está associada às propriedades físicas, químicas e anatômicas.

A propriedade elástica dos materiais é caracterizada abaixo de determinado limite de esforços, acima desse limite ocorrerão deformações plásticas, até a ruptura. O material sólido é chamado elástico quando a deformação produzida durante a aplicação de uma carga abaixo do limite proporcional é completamente recuperada após a retirada da carga, além do limite proporcional, as deformações plásticas sofridas pelo material são irreversíveis.

Os métodos de ensaios não destrutivos permitem avaliar as características do material sem alterar sua capacidade de uso final, e surgiram da necessidade da indústria de caracterizar os materiais durante seu processamento, principalmente materiais estruturais. Esses métodos são capazes de oferecer respostas rápidas e correlações lineares elevadas, e o custo dos equipamentos necessários aos ensaios tem se tornado mais acessível (Segundinho et al., 2012). Devido à rapidez e eficiência das análises e também as possibilidades de pesquisas, a aplicação dessas técnicas não destrutivas se estendeu para as mais variadas áreas (Almeida et al., 2016).

Dentre os métodos não destrutivos de caracterização dos materiais, tem-se a técnica que analisa a vibração transversal dos materiais, na qual, a frequência natural em que vibra o material é relacionada com a rigidez. O Sonelastic é um equipamento que utiliza o princípio de excitação por impulso. O corpo de prova sofre impacto de curta duração, cujas frequências naturais da vibração trazem resposta acústica. As frequências de vibração de cada material analisado são relacionadas com o módulo de elasticidade. Essa vibração ocorre de forma longitudinal, na direção do movimento da onda sonora.

O método de excitação por impulso é amplamente utilizado para diversos materiais isotrópicos, entretanto, o uso para materiais anisotrópicos como a madeira ainda é escasso. Sendo

assim, objetivou-se aplicar a técnica de excitação por impulso para estimar o módulo de elasticidade longitudinal em madeiras com diferentes densidades.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Aquisição e preparo do material

Os materiais utilizados neste estudo foram *Eucalyptus* sp. e *Cedrella* sp. com densidades aparentes a 12% iguais a  $1,03 \text{ g.cm}^{-3}$  e  $0,30 \text{ g.cm}^{-3}$ , respectivamente. Corpos de prova nas dimensões de  $2,0 \times 2,0 \times 30,0 \text{ cm}$  (radial x tangencial x axial) foram confeccionados utilizando-se serra circular. Para evitar a influência dos defeitos da madeira nos resultados da análise, foram selecionados apenas corpos de prova isentos de defeitos. No total foram selecionados 64 corpos de prova, 32 para cada espécie. A determinação da massa e a medição das arestas de cada corpo de prova foram realizadas por meio de balança analítica e paquímetro digital, respectivamente.

### 2.2 Determinação do módulo de elasticidade

A determinação do módulo de elasticidade foi realizada por meio da técnica de excitação por impulso, utilizando o equipamento de ensaio Sonelastic. Para isso, os valores de massa e as dimensões dos corpos de prova foram inseridos no software do Sonelastic para gerar os valores de módulo de elasticidade. Os corpos de prova foram posicionados um a um no suporte ajustável para barras do equipamento, a distância de  $0,224L$  de cada extremidade, sendo  $L$  o comprimento do corpo de prova (ATCP Engenharia Física). Estas posições correspondem às linhas nodais do material referentes ao modo de vibração fundamental flexional. Em seguida, os corpos de prova receberam o impulso mecânico de excitação, e a onda sonora produzida e propagada pelo material foi então captada por um microfone que funciona como captador direcional.

Os corpos de prova foram ensaiados em modo de vibração flexional obtendo assim a relação do módulo dinâmico de elasticidade. As informações obtidas passaram por uma central de processamento e, por meio do software do Sonelastic foram determinadas as constantes elásticas.

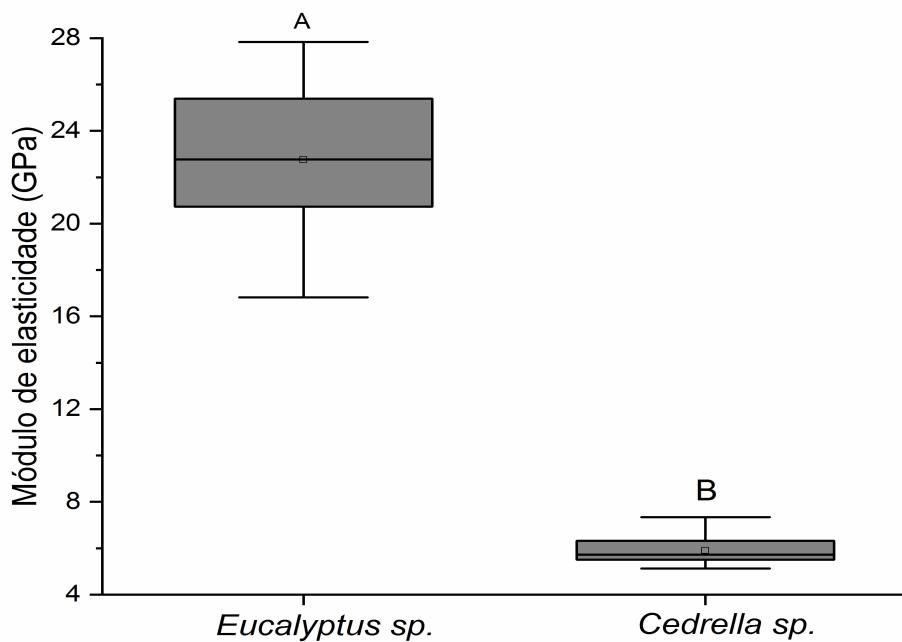
## 3. RESULTADOS

A Tabela 1 exibe os valores de módulo de elasticidade obtidos de forma direta pelo método acústico (Sonelastic) para as espécies de *Eucalyptus* sp. e *Cedrella* sp.

**Tabela 1.** Módulo de elasticidade da madeira de *Eucalyptus* sp. e *Cedrela* sp. determinados no Sonelastic.

Módulo de elasticidade	Espécies	
	<i>Eucalyptus</i> sp.	<i>Cedrella</i> sp.
Valor mínimo (GPa)	16,82	5,13
Valor máximo (GPa)	27,84	7,34
Média (GPa)	22,75	5,90
Coeficiente de variação (%)	13,30	9,20

O gráfico com os valores de módulo de elasticidade para os materiais analisados é apresentado na Figura 1.



**Figura 1.** Módulo de elasticidade (A) *Eucalyptus* sp. e (B) *Cedrela* sp.

#### 4. DISCUSSÃO

Observando os coeficientes de variação calculados, ambos os materiais analisados apresentaram baixa variabilidade em seus valores de módulo de elasticidade. Considerando os valores médios de módulo de elasticidade encontrados na norma NBR 7190 (ABNT, 1997) para *Eucalyptus* spp. e *Cedrela* spp., por meio de ensaio destrutivo realizado em laboratório, observou-se que o valor médio do módulo de elasticidade da madeira de *Eucalyptus* sp. encontrado neste trabalho (22,75 GPa) foi superior ao valor médio descrito pela norma (16,78 GPa), enquanto que o



valor médio de *Cedrela* sp. obtido neste estudo (5,90 GPa) foi inferior ao valor médio apresentado pela norma (8,95 GPa).

Por ser um dos principais fatores que afetam a resistência mecânica da madeira, a densidade pode ter sido a responsável pela diferença entre os valores de módulo de elasticidade das madeiras deste estudo e da norma citada, uma vez que a densidade aparente média do *Eucalyptus* sp. estudado (1,03 g.cm<sup>-3</sup>) foi maior que a densidade aparente média do *Eucalyptus* spp. citado pela norma (0,91 g.cm<sup>-3</sup>). Já para a *Cedrela* sp. estudada, a densidade aparente média (0,30 g.cm<sup>-3</sup>) foi menor que a densidade aparente média da *Cedrela* spp. citada pela mesma norma (0,50 g.cm<sup>-3</sup>). Além disso, a utilização neste trabalho de método de ensaio diferente do método utilizado pela norma também pode ter influenciado nos resultados. Ao se relacionar a densidade da madeira com sua resistência mecânica, os resultados deste estudo corroboram com os dados apresentados pela norma, demonstrando que quanto maior a densidade, maior a resistência mecânica da madeira.

## 5. CONCLUSÕES

Pode concluir-se com a realização deste trabalho que:

- Ambos os materiais analisados apresentaram baixa variabilidade em seus valores de módulo de elasticidade.
- A diferença entre os valores médios de módulo de elasticidade encontrados neste trabalho e os valores encontrados na norma pode estar relacionada à densidade dos materiais e à técnica utilizada.
- O *Eucalyptus* sp. apresentou maior densidade e consequentemente maior resistência mecânica em relação a *Cedrela* sp. corroborando com os dados apresentados pela norma.

## 6. AGRADECIMENTOS

Às instituições de fomento FAPEMIG, CNPQ, CAPES e ao Departamento de Ciência e Tecnologia da Madeira da UFLA pelo auxílio à pesquisa.

## 7. REFERÊNCIAS

ACTP Engenharia Física. Manual de instalação e operação: Software Sonelastic® 3.0. São Paulo; 2015.

Almeida DH, Ferro FS, Icimoto FH, Takeshita S, Modes KS, Almeida TH, Christoforo AL, Lahr FAR. Determinação da rigidez de *Pinus elliottii* em diferentes teores de umidade por meio de ensaios mecânicos não destrutivos. Scientia Forestalis 2016, 44 (110): 303-309.



Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR-7190: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro; 1997.

Leite ERS, Hein PRG, Souza TM, Rabelo GF. Estimation of the dynamic elastic properties of wood from *Copaifera langsdorffii* Desf using resonance analysis. Cerne 2012, 18 (1): 41-47.

Rubini L, Moraes PD. Aderência à madeira de polímeros reforçados com fibras de carbono sob temperaturas elevadas. Floresta e Ambiente 2012, 19 (2): 236-242.

Segundinho PGA, Cossolino LC, Pereira AHA, Calil Junior C. Aplicação do método de ensaio das frequências naturais de vibração para obtenção do módulo de elasticidade de peças estruturais de madeira. Revista Árvore 2012, 36 (6): 1155-1161.

