

## MÓDULOS DE ELASTICIDADE DA MADEIRA DE *Pinus taeda* POR ENSAIOS DESTRUTIVO E NÃO DESTRUTIVO

Matheus Zanghelini Teixeira<sup>1\*</sup>; Talitha Oliveira Rosa<sup>2</sup>; Rodrigo Figueiredo Terezo<sup>1</sup>; Leonardo Kellet Coelho<sup>1</sup>; Alessandro Bayestorff da Cunha<sup>1</sup>; Camila Alves Corrêa<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Florestal, Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Lages/SC, Brasil.

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba/PR, Brasil.

\* e-mail do autor correspondente: [matheus\\_zt@hotmail.com](mailto:matheus_zt@hotmail.com)

**Resumo:** Necessita-se seguir normativas e realizar ensaios para garantir a segurança e a qualidade da madeira como elemento estrutural. Sendo assim, o objetivo do trabalho foi determinar e comparar o módulo de elasticidade longitudinal à flexão estática (MOE) da madeira de *Pinus taeda* por ensaios destrutivo e não destrutivo, além de avaliar a influência da classificação visual no desempenho mecânico das peças. Para tanto, ensaiou-se 22 tábuas advindas de uma plantação localizada em Campo Belo do Sul, SC, Brasil. A classificação visual seguiu as especificações da ASTM D245, os ensaios não destrutivos realizados foram baseados na ASTM D4761 e os ensaios destrutivos na EN 408. O alto Coeficiente de Correlação de Pearson e o resultado do “Teste t” mostraram que não há diferença significativa entre os valores de MOE pelo método destrutivo e não destrutivo. Já a classificação visual não apresentou diferença significativa no desempenho mecânico das peças.

**Palavras-chave:** Madeira serrada; Classe Visual Estrutural; Ensaios de flexão.

## ELASTICITY MODULES OF *Pinus taeda* WOOD BY DESTRUCTIVE AND NON-DESTRUCTIVE TESTS

**Abstract:** It's necessary to follow regulations and carry out tests to guarantee the safety and quality of wood as a structural element. Therefore, the objective of this work was to determine and compare the longitudinal modulus of elasticity to static bending (MOE) of *Pinus taeda* wood by destructive and non-destructive tests, in addition to evaluating the influence of visual classification on the mechanical performance of the pieces. For this purpose, 22 boards from a plantation located in Campo Belo do Sul, SC, Brazil were tested. The visual classification followed the specifications of ASTM D245, the non-destructive tests performed were based on ASTM D4761 and the destructive tests on EN 408. The high Pearson Correlation Coefficient and the result of the “t Test” showed that there is no significant difference between MOE values by destructive and non-destructive method. The visual classification showed no significant difference in the mechanical

performance of the parts.

**Keywords:** Lumber; Structural Visual Class; Bending Tests.

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país que se destaca mundialmente na produtividade de plantios florestais, sendo que no ano de 2020 teve uma área total de 9,55 milhões de hectares de árvores plantadas, sendo 18% composta apenas por cultivo de pinus [1]. Na construção civil, a madeira aliada com tecnologia surge como uma forma de construir mais consciente e sustentável.

Para o projeto e dimensionamento de estruturas, é necessário seguir normativas e realizar testes para garantir a segurança e a qualidade da madeira como elemento estrutural. Uma das formas de avaliar a qualidade da madeira é por meio da classificação visual estrutural. A norma ASTM D245 [2] define critérios e princípios básicos da classificação visual de qualquer peça de madeira em relação à resistência à flexão. Bons resultados foram conseguidos por [3] ao utilizar as regras da ASTM D245 para fazer a classificação visual de *Pinus sp* produzidos no Brasil e recomendam o método por ser barato e eficaz. Outra forma de avaliar a madeira é por meio da classificação mecânica, a qual é feita levando em consideração fatores como o módulo de elasticidade (MOE), que é determinado através de ensaio de flexão de forma destrutiva e/ou não destrutiva.

A norma EN 408 [4] estabelece diretrizes para determinar o MOE por ensaio destrutivo em corpos de provas isentos de defeitos visuais, porém, para fazer os corpos de prova, precisa-se de máquinas específicas, o que torna esse método oneroso. Contudo, é de suma importância a caracterização desses pequenos corpos de prova, principalmente para quando se tem uma limitada quantidade de material disponível e até para poder comparar com estudos já existentes. Já a ASTM D4761 [5] determina o MOE em peças estruturais sem que haja ruptura, permitindo reutilizar o material testado e fazer o ensaio em ambiente não laboratorial, além de possibilitar valores de MOE aproximados comparados com o ensaio destrutivo.

O objetivo do trabalho foi determinar e comparar o módulo de elasticidade longitudinal à flexão estática (MOE) da madeira de *Pinus taeda* por ensaios destrutivo e não destrutivo, além de avaliar a influência da classificação visual no desempenho mecânico das peças.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Amostragem

Ensaiou-se 22 tábuas advindas de toras de *Pinus taeda* de uma plantação localizada em Campo Belo do Sul/SC, Brasil, e fornecida por uma serraria localizada em Capão Alto/SC. Realizou-se o sistema de

serragem com dimensões de 25 x 150 x 3.060 mm e 25 x 100 x 3.060 mm (espessura, largura e comprimento) e a secagem em estufa, com programa total de 70 horas, objetivando um teor de umidade final de 10%, o qual foi estabelecido pela própria serraria. Posteriormente, a madeira foi transportada para o Laboratório de Materiais da UDESC, no Centro de Ciências Agroveterinárias, localizado em Lages/SC.

## 2.2 Classificação Visual

A classificação visual seguiu as especificações da ASTM D245 [2], fazendo a medição dos nós nos planos radial e tangencial e identificando a classe visual da madeira a partir da proporção de área que os nós ocupam na seção transversal da peça. As classes visuais são divididas em: Classe Estrutural Especial (SE) – que possui menos defeitos; Classe Estrutural N° 1 (S1); Classe Estrutural N° 2 (S2); Classe Estrutural N° 3 (S3) – que possui mais defeitos, mas que ainda é considerada como estrutural. Já as NS são as que não são consideradas como estruturais.

## 2.3 Teste Não Destrutivo

O ensaio não destrutivo realizado foi baseado na norma ASTM D4761[4]. Definiu-se a carga máxima de 90 N com ensaios preliminares em 5 peças para assegurar que o deslocamento a ser medido nas peças esteja sempre nos limites elásticos. O vão entre apoios foi de 220 cm e o deslocamento foi determinado utilizando um transdutor indutivo (WA<sup>®</sup> 50 mm) acoplado a um sistema de aquisição de dados (Quantum-X<sup>®</sup>) e um software (Catman Easy<sup>®</sup>) da HBM<sup>®</sup>. Ao término da primeira medição de cada peça, repetiu-se o procedimento para o verso da peça de madeira, obtendo uma segunda medição. E então o MOE foi calculado com o deslocamento médio.

## 2.4 Teste Destrutivo

O ensaio de flexão estática destrutivo em quatro pontos foi realizado de acordo com as recomendações da EN 408 [5]. Para o ensaio, foram confeccionados corpos de prova isentos de defeitos, cujas dimensões eram de 30 mm de largura x 25 mm de espessura e 605 mm de comprimento. Uma máquina universal EMIC (DL 300kN) foi utilizada para o ensaio, o vão entre apoios foi de 525 mm e a distância de aplicação da carga entre apoios foi de 150 mm. A velocidade do teste foi de 4,5 mm/min. Além disso, mediu-se o teor de umidade dos corpos de prova com um higrômetro de agulha Digisystem, modelo DL 2000, conforme recomendado pela EN 384 [6]. Obteve-se um teor médio de umidade de  $12,6 \pm 1,1\%$  e os valores de MOE foram corrigidos para 12% de umidade com base na massa seca.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os dados da Tabela 1, obtidos pelo *software* RStudio, pode-se observar que a magnitude das medidas de posição e dispersão são semelhantes, pois mesmo os MOE sendo

determinados por métodos diferentes, ambos se referem à madeira no sentido longitudinal. Vale destacar também que os altos coeficientes de variação (CV) demonstram que os dois testes analisados possuem variabilidade.

Tabela 1: Estatística descritiva dos Módulos de Elasticidade (MOE) pelos ensaios destrutivo e não destrutivo.

	MOE Não Destrutivo (MPa)	MOE Destrutivo (MPa)
<b>Média</b>	7413,68	7886,65
<b>Desvio Padrão</b>	1551,86	1311,60
<b>Coefficiente de Variação (%)</b>	20,93	16,63
<b>Erro Padrão</b>	330,86	279,63

O teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov apresentou distribuição normal em ambos os métodos (Figura 2 - A). Já o Coeficiente de Correlação de Pearson entre os MOE dos dois ensaios resultou em 0,74, o que significa que a correlação é forte. O teste de hipóteses “t” mostrou que o  $t_{\text{tabelado}}$  (2,018) foi maior que o  $t_{\text{calculado}}$  (1,092), ou seja, não há diferença significativa entre os valores de MOE pelo método destrutivo e pelo não destrutivo. O ideal é que esses ensaios estejam correlacionados, para assim garantir um bom resultado independentemente do método escolhido. Estudos comparando métodos destrutivos utilizando o método do transdutor de deslocamento com métodos não destrutivos não foram encontrados, porém o método do transdutor é indicado para determinar as propriedades mecânicas com boa precisão [7].

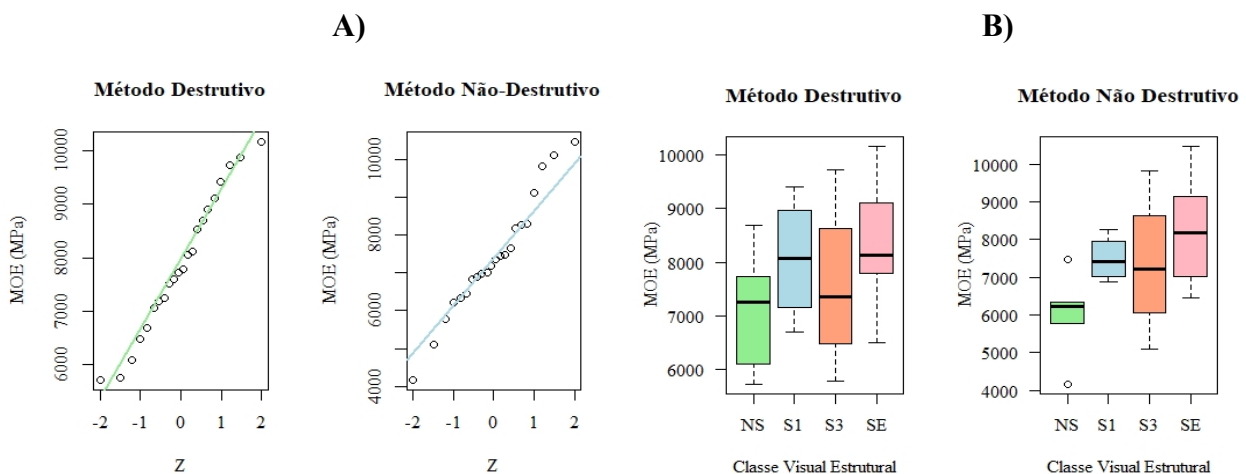


Figura 2: A) Gráficos de Quantis Normais dos testes; B) *Boxplots* dos MOE separados pela Classe Visual

Para verificar a influência das Classes Visuais nos MOE, fez-se os *Boxplots* (Figura 2 - B). Aparentemente, a presença de defeitos na madeira influencia nos MOE, pois é perceptível a variabilidade através do intervalo interquartilico e os valores da mediana mais altos para SE e S1, e mais baixos para NS e S3. Entretanto, verificou-se que a diferença não é significativa

estatisticamente, pois a Análise de Variância (ANOVA) de Welch, a um nível de significância de 5%, resultou em “valor-p” de 0,402 e 0,107 para o método destrutivo e para o não destrutivo, respectivamente.

[8] avaliaram a influência da classificação visual de lâminas de *Cryptomeria japonica* no desempenho mecânico para uso em elementos estruturais em madeira laminada colada (MLC) e concluíram que a presença de defeitos nas lamelas não diminuiu a resistência do MLC. Como nesse estudo foram ensaiados peças e corpos de prova de madeira serrada, a igualdade entre as classes no método não destrutivo pode ter ocorrido devido à baixa amostragem e alto coeficiente de variação.

Já pelo método destrutivo, o CV não foi tão alto, mas faz sentido não ter diferença entre as classes, pois nesse ensaio os corpos de prova não possuíam defeitos visuais. Contudo, a pequena variação existente, mesmo que não significativa estatisticamente, pode ser devido a outras características da madeira, como densidade, número de anéis por polegadas e até a própria variação radial (lenho juvenil e lenho adulto) [9].

#### 4. CONCLUSÕES

Existe um alto coeficiente de correlação entre o módulo de elasticidade do método destrutivo e não destrutivo, o que sugere que as duas técnicas podem ser utilizadas como uma alternativa confiável para a avaliação da rigidez à flexão. Já a classificação visual não apresentou diferença significativa no desempenho mecânico das peças.

#### 5. REFERÊNCIAS

- [1] Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ). Relatório Anual 2021. 178p. São Paulo, 2021.
- [2] American Society of Testing and Materials. ASTM D245: Standard Practice for Establishing Structural Grades and Related Allowable Properties for Visually Graded Lumber. West Conshohocken, 2006. 16 p.
- [3] Carreira, M. R.; Dias, A. A. Classificação visual de coníferas: análise da aplicação do método norte-americano às espécies de *Pinus sp* plantadas no Brasil. Scientia Forestalis, n. 67, p.78-87, 2005.
- [4] Euroean Standard (EN). EN 408: Timber structures. Structural timber and glued laminated timber: determination of some physical and mechanical properties. Brussels, 2012, 38 p.
- [5] American Society for Testing and Materials (ASTM). ASTM D4761: Mechanical properties of lumber and wood-Base structural material. Philadelphia: ASTM; 2013.
- [6] European Standard (EN). EN 384: Structural timber – determination of characteristic values of mechanical properties and density. Brussels, 2004, 15 p.

- [7] Rosa, T. O.; Terezo, R. F.; Rios, P. D.; Sampietro, J. A.; Rosa, G. O. *Schizolobium Parahyba* var. *Amazonicum* Glulam classified by non-destructive tests. *Floresta e Ambiente*. 2019; 26(2): e20171202.
- [8] Rosa, T. O.; Vieira, H. C.; Terezo, R. F.; Cunha, A. B; Sampaio, C. A. de P., Waltrick, D. B.; Zangalli, C.; Rosa, G. O. Classificação visual e mecânica da espécie *Cryptomeria japônica* D. Don para utilização em madeira laminada colada. *Ciência Florestal*, p.451–462, 2020.
- [9] Vidaurre, G. G.; Lombardi, L. R.; Oliveira, J. T. S.; Arantes, M. D. C. Lenho juvenil e adulto e as propriedades da madeira. *FLORAM – Revista. Floresta e Ambiente* 2011; 18(4): 469-480.