



UTILIZACIÓN DEL STRESS WAVE EN LA EVALUACIÓN DE LA MADERA DE FREIJÓ (CORDIA GOELDIANA HUBER)

USE OF STRESS WAVE IN WOOD OF FREIJÓ (CORDIA GOELDIANA HUBER)

CAMPOS, Niliane^{1*}; GONÇALEZ, Joaquim Carlos ²; DEL MENEZZI, Cláudio Henrique ²; COSTA, Mírian ³; PINTO, Adrianna ³; VALE, Larissa ³

¹ Estudiante de maestría en ciencias forestales. Universidad de Brasilia. Brasilia, Brasil.

² Profesor Doctor en la Facultad de tecnología. Universidad de Brasilia. Brasilia, Brasil.

³ Departamento de Ingeniería forestal. Laboratorio de tecnología de madera. Brasilia, Brasil.

*Contacto: Niliane Pereira Campos, nilianecampos92@hotmail.com

CÓDIGO: 4620113

Resumen

Se objetivó con el presente trabajo correlacionar los módulos de elasticidad dinámica (MOEd) y el estático (MOE) de la madera freijó (*Cordia goeldiana* Huber), utilizando para el ensayo no destructivo el aparato de la Metriguard Stress Wave Timer. Se han confeccionado 14 cuerpos de prueba en las dimensiones 2 x 2 x 30 cm (tangencial, radial y longitudinal, respectivamente). Los ensayos convencionales se realizaron conforme a la norma ASTM D143 / 09, con la obtención MOE. La estadística utilizada fue la descriptiva, donde los valores máximos y mínimo y desviación estándar fueron obtenidos, así como la correlación de Pearson para evaluar la correspondencia entre las variables. Los valores del MOEd fueron mayores que el MOE, siendo 24.836,62 y 9.334,17 MPa respectivamente. El coeficiente de variación del MOEd (7,03%) fue menor que el coeficiente de variación del MOE estático (15,52%), indicando una menor variabilidad de los datos en el método no destructivo que en el método destructivo. La correlación entre la velocidad de propagación de onda (VEL) y el MOE fue de 0,0014, muy inferior a la correlación establecida entre la VEL y el MOEd de 0,7575. La correlación entre MOEd y MOE fue baja, indicando una baja asociación entre las variables; se recomienda evaluar una mayor cantidad de muestras.

Palabras-clave: evaluación no destructiva; módulo dinámico de elasticidad; propagación de ondas.



Abstract

Researchers have found strong relationships between stress wave and transverse vibration parameters (e.g., wave velocity and modulus of elasticity predicted using non-destructive measurements) with the static bending properties (e.g., modulus of elasticity from static bending tests) of wood. Therefore, the objective of this work was to correlate modulus of elasticity (MOE) of freijó wood (*Cordia goeldiana* Huber) obtained by destructive and a non-destructive method. Metriguard Stress Wave Timer was used to measure wave propagation velocity in 14 samples with dimensions of 2x2x30 cm (radial, tangential and longitudinal respectively). To evaluate the sensitivity of the ultrasonic method, the specimens were submitted to conventional destructive static bending test according to ASTM D143/09 with determination of modulus of elasticity. Descriptive statistics were used to describe the basic features of the data, including maximum and minimum values, standard deviation and Pearson correlation, to measure the linear correlation between the variables. The dynamic MOE (MOEd) of 24.836,6 MPa, obtained by the ultrasonic method, was higher than the MOE obtained from conventional tests, 9.334,1 MPa. The non-destructive method presented a lower coefficient of variation in comparison to the conventional tests (7,03% and 15,52% respectively), expressing less variability of the non-destructive data. The Pearson correlation established between MOEd and wave propagation velocity was 0,7575, revealing a strong correlation between them. There was not a significant relationship between MOEd and MOE. It is recommended the use of greater number of samples.

Keywords: non-destructive evaluation; dynamic modulus of elasticity; waves of propagation.



1. INTRODUCCIÓN

La caracterización de la madera (en sus diversas formas) se realiza tradicionalmente mediante ensayos destructivos. Sin embargo, con el avance de la tecnología y los estudios aplicados a esta área, se desarrollaron algunas técnicas basadas en métodos no destructivos para estimar las propiedades físicas y mecánicas, sin cambiar las características estructurales y el uso final de la madera (PELLERIN & ROSS, 2002; BUCUR, 2006; MELO & DEL MENEZZI, 2016; GAFF et al., 2017). Além de não inutilizar o produto, outro grande diferencial dos ensaios não destrutivos, se comparado à caracterização destrutiva, é a rapidez na obtenção da informação almejada (STANGERLIN et al., 2010).

Según Ross (1999), las propiedades vibracionales, los rayos X, el análisis químico y la transmisión de ondas sonoras son algunas de las diversas tecnologías de evaluación de la madera no destructivas.

Se objetivó con el presente trabajo correlacionar los módulos de elasticidad dinámica (MOEd) y el estático (MOE) de la madera freijó (*Cordia goeldiana* Huber), utilizando para el ensayo no destructivo el aparato de la Metriguard Stress Wave Timer.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio y recogida de material

La investigación se desarrolló en el laboratorio de tecnología de la madera del departamento de Ingeniería Forestal de la Universidad de Brasilia - Campus Darcy Ribeiro. Se hicieron catorce especímenes en dimensiones de 2 x 2 x 30 cm (tangencial, radial y longitudinal, respectivamente). Los ensayos convencionales se realizaron de acuerdo con COPANT 30: 1 -006/72 (Figura 1).

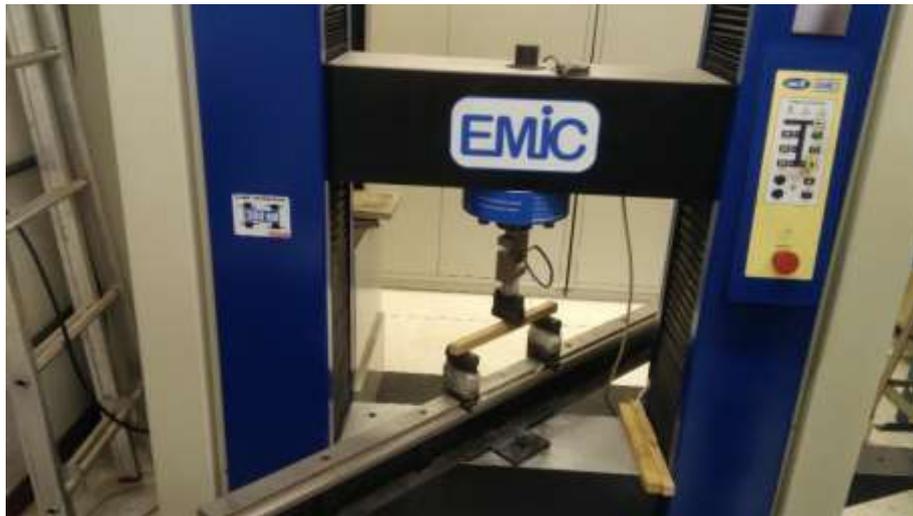
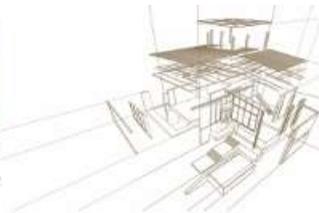


Figura 1. Máquina de prueba universal EMIC DL 30kM, utilizada en la prueba de flexión estática.

2.2. Pruebas no destructivas (*Stress wave*)

Para este ensayo se usó el aparato Stress Wave Timer modelo 239A (Metriguard Inc.). El dispositivo mide el tiempo de propagación de la onda de voltaje en toda la muestra, a través de dos transductores con acelerómetros, uno es un emisor de péndulo y el otro un receptor plano y un reloj registrador da velocidad de onda (Figura 2).

Para cada muestra, el volumen (cm^3) se determinó midiendo la longitud (cm), el ancho (cm) y el grosor (cm) con un calibrador digital. Posteriormente, se determinó la masa (g) de cada muestra en una escala digital, modelo Marconi AS 2000, con una precisión de 0,01 g. Las muestras se fijaron al dispositivo mediante abrazaderas de palanca.

El péndulo unido a la pinza inicial indujo la onda de voltaje que atravesó toda la muestra hasta llegar al otro acelerómetro (Figura 2).

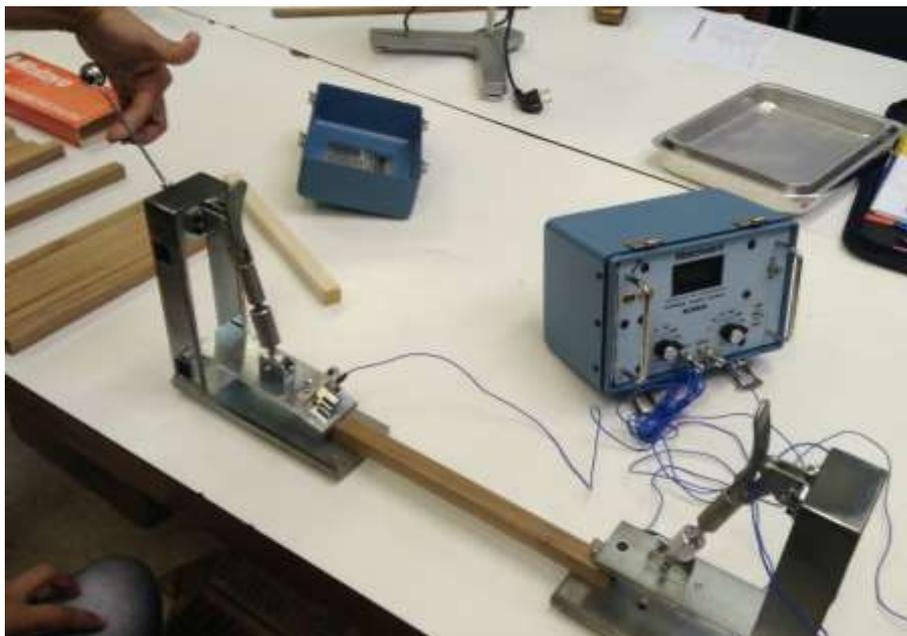




Figura 2. *Stress Wave Timer* modelo 239A (Metriguard Inc.).

En cada muestra se tomaron tres lecturas del tiempo de propagación de onda obteniendo un valor promedio para el mismo (CALDERON. 2012. Para determinar la velocidad, se usó la Ecuación 1:

$$V = \frac{L}{t \times 10^{-6}} \quad (1)$$

Donde:

V = velocidad de propagación de la onda de voltaje (m/s); L = distancia recorrida por la onda de voltaje (m); t = tiempo de tránsito de la onda de voltaje (μs).

Para los módulos de prueba de módulo elástico dinámico (MOEds) se usó un espacio de 28 cm de longitud para la flexión estática, de acuerdo con el estándar COPANT 555. El tiempo utilizado para el cálculo fue el promedio obtenido en las tres lecturas del dispositivo. El módulo dinámico de elasticidad se obtuvo por la ecuación 2:

$$MOEds = V^2 D_{12\%} \frac{1}{g} \quad (2)$$

Donde:

MOEds = módulo dinámico de elasticidad (N/mm²);

V = velocidad de propagación de la onda de voltaje (m/s); D_{12%} = densidad a 12% de humedad (kg/m³); y g = aceleración por gravedad (9.804 m/s²).

2.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

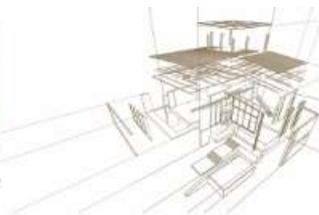
La estadística utilizada fueron descriptivas: máxima, mínima, desviación estándar y coeficiente de variación. La correlación de Pearson también se realizó para evaluar la correspondencia entre las variables.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La velocidad obtenida a través de *Stress Wave* analizando madera Freijó fue de entre 4.110.95 y 4.756.03 m/s⁻¹.

Tabla 1. Valores de velocidad media, Módulo de Elasticidad Dinámica, Módulo de Elasticidad Estática, obtenidos a través del equipo *Stress Wave*.

Stress Wave			
	VEL (m/s⁻¹)	MOEd (MPa)	MOE (MPa)



Media	4484.909	24836.627	9334.170
Mínimo	4110.958	21409.764	7432.350
Máximo	4756.039	27144.282	11552.658
DP	193.736	1747.395	1448.646
CV	4.319	7.035	15.519

VEL = Velocidad de propagación de la onda de voltaje. MOEd= Elástico dinámico constante *Stress Wave*. MOE = Módulo de elasticidad. DP = Desviación estandar y CV = Coeficiente de variación.

Los valores MOE dinámicos de la onda de tensión fueron más altos que los MOE estáticos.

El coeficiente de variación de MOEds dinámicos fue menor que el coeficiente de variación de MOE (flexión estática). Tal comportamiento da un resultado positivo al manifestar menos variabilidad del método no destructivo en comparación con el destructivo.

La correlación de Pearson establecida entre la prueba de la onda de estrés y la flexión estática muestra una fuerte correlación entre la velocidad de propagación de la onda (VEL) y ser de 0.7575 m / s. Iwakiri y col. (2013) encontraron una fuerte correlación entre Vel X MOEds de 0.8389 m / s al estimar el módulo elástico dinámico de *Tectona grandis* utilizando métodos de onda acústica.

La correlación entre la velocidad de propagación de la onda (VEL) y el módulo de elasticidad estática (MOE) fue de 0.0014 m / s, siendo muy baja. La correlación entre el módulo dinámico de elasticidad (MOEds) y MOE (flexión estática) no fue significativa.

La regresión lineal entre el MOEd y el MOE obtenidos por la prueba de flexión estática no fue significativa, con $R^2 = 0.0004$, lo que puede explicarse por la baja cantidad de muestras evaluadas.

Tabla 2. Correlación de Pearson entre la onda de tensión y la flexión estática para madera freijó (*Cordia goeldiana*).

	Dens. kg/m ³	VEL (m/s)	MOEds (MPa)	MOE (MPa)
Dens.	1			
VEL	0.2199	1		
MOEds	0.8031	0.7575	1	



MOE	0.0505	0.0014	0.0222 NS	1
-----	--------	--------	-----------	---

VEL= velocidad de propagación de olas; MOEds= constante elástica dinàmica *Stress Wave*; MOE= módulo de elasticidad.

4. CONSIDERACIONES FINALES

Con base en los datos experimentales, se observa que el método no destructivo que utiliza *Stress Wave* es eficiente para determinar el módulo de elasticidad de varias maderas.

El hecho de que la correlación entre el módulo dinámico de elasticidad (MOEds) y el MOE (flexión estática) no fuera significativo puede estar relacionado con la baja representatividad de las muestras.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bucur. V. (2006). **Acoustics of wood**. 2. ed. Basileía: Birkhäuser. 393 p.

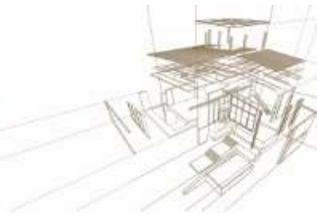
CALDERON. C. M. A. (2012). **O segmento moveleiro na região do Alto Juruá – AC: Perfil e uso de tecnologias alternativas para a caracterização das principais espécies madeireiras**. 158p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Departamento de Engenharia Florestal. Universidade de Brasília. Brasília. 2012.

Gaff. M. et al. (2016). Bending characteristics of hardwood lamellae in the elastic region. **Composites Part B: Engineering**. v. 116. n. 1. p. 61- 75. 2017. DOI: j.compositesb. 12.058.

IWAKIRI. S.; MATOS. J. L. M.; TRIANOSKI. R.; PRATA. J. G.; ROCHA. V. Y.; IWAKIRI. V. T. (2013). Estimativa do módulo de elasticidade dinâmico nas diferentes posições do tronco das árvores de *Tectona grandis* utilizando método de ondas acústicas. **Scientia Forestalis**. Piracicaba. v. 41. n. 100. p. 523-532.

Melo. R. R. & Del Menezzi. C. S. (2016). Estimativas das propriedades físico-mecânicas de compostos LVL confeccionados com Paricá por meio de ultrassom. **Ciência Florestal**. v. 26. n. 1. p. 263-272.. DOI:10.5902/1980509821118.

Pellerin. R. F. & Ross. J. R. (2002). **Nondestructive evaluation of wood**. Madison: Forest Products Laboratory. 210 p.



4º CONGRESO
LATINOAMERICANO
DE ESTRUCTURAS
DE MADERAS

ROSS. R.J. (1999).Using sound to evaluate stading timber: review. **Forest products journal**. p. 43-44.

Stangerlin. D. M. et al. (2010).Estimativa do módulo de elasticidade em painéis aglomerados por meio de emissão de ondas ultra-sonoras. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**. v. 5. n. 3. p. 17-22.