



## DETERMINAÇÃO DA ELASTICIDADE DE PAINÉIS LIGNOCELULÓSICOS - DO TIPO OSSB – POR TESTE NÃO DESTRUTIVO

### ELASTICITY DETERMINATION OF LIGNOCELLULOSIC BOARDS – OSSB TYPE – BY NON-DESTRUCTIVE TEST

Silva, João Vítor Felipe <sup>(1)\*</sup>; Silva, Maria Fernanda Felipe <sup>(2)</sup>; Ferreira, Bruno Santos <sup>(3)</sup>;  
Campos, Cristiane Inácio de <sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> Mestrando em Eng. Mec. Departamento de Engenharia Mecânica. FEG-UNESP. Guaratinguetá-SP, Brasil

<sup>(2)</sup> Graduada em Eng. Ind. Madeireira. Campus Experimental de Itapeva. UNESP. Itapeva-SP, Brasil

<sup>(3)</sup> Dr. Eng. Mec. Campus Experimental de Itapeva. UNESP. Itapeva-SP, Brasil

<sup>(4)</sup> Dr.<sup>a</sup> Eng. Civil. Campus Experimental de Itapeva. UNESP. Itapeva-SP, Brasil

\* Contacto: [jvf.silva@unesp.br](mailto:jvf.silva@unesp.br)

CÓDIGO: 4458190

#### Resumen

O uso de técnicas não destrutivas na caracterização de compósitos a base de madeira e outros materiais lignocelulósicos tem se mostrado uma área de pesquisa de destaque nas últimas décadas, especialmente devido aos benefícios de se determinar propriedades do material sem que o mesmo perca sua possibilidade de aplicação. Este trabalho teve como objetivo avaliar o ajuste do modelo linear na correlação entre o módulo de elasticidade dinâmico ( $MOE_d$ ) e o módulo de elasticidade em flexão estática ( $MOE$ ) em painéis lignocelulósicos do tipo OSSB (*Oriented Structural Straw Board*) com diferentes teores de adesivo em sua composição. Os painéis OSSB foram produzidos com palha de soja e adesivo poliuretano a base de óleo de mamona em quatro teores (6%, 9%, 12% e 15%, com base no peso seco de palha). Os ensaios não destrutivos foram realizados com base na ASTM E1876-15 para determinar o  $MOE_d$  “fora do plano” utilizando o sistema SONELASTIC<sup>®</sup> (incluindo o suporte de amostras, o dispositivo de impacto e o microfone) e o ensaio de flexão estática de três pontos foi realizado em uma máquina universal de ensaios. Os resultados encontrados indicaram que o ajuste linear varia de acordo com o teor de adesivo na composição do painel e com o sentido de orientação da palha na camada externa do compósito. Os valores de  $R^2$  variaram entre 0,74 e 0,94 indicando que os painéis contendo 9% e 15% geram melhor ajuste.

*Palavras-chave: SONELASTIC<sup>®</sup>, Compósito lignocelulósico, Regressão linear, Correlação.*

#### Abstract

The use of non-destructive techniques in the characterization of wood-based composites and other lignocellulosic materials has been an area of research in the last decades, mainly due to the benefits of determining properties of the material without losing its possibility of later application. This work aimed to evaluate the fit of the linear model in the correlation between the dynamic modulus of elasticity ( $MOE_d$ ) and the modulus of elasticity in static bending ( $MOE$ ) of OSSB (*Oriented Structural Straw Board*) tested with different adhesive contents. The OSSBs were produced with soybean straw and castor oil in four adhesive proportions (6%, 9%, 12% and 15%, based on the dry mass of straw). The non-destructive tests were performed based on ASTM E1876-15 for the determination of the “out-of-plane”  $MOE_d$  using the SONELASTIC<sup>®</sup> system (including support for samples, impact instrument and microphone) and the static three-point bending tests were performed in a universal test machine. The results indicate that the linear adjustment varies according to the adhesive content in the panel composition and the direction of the straw in the outer layer of the composite.  $R^2$  values ranging from 0.79 to 0.94 indicate that 9% and 15% adhesive content gives the best curve fit.

*Keywords: SONELASTIC<sup>®</sup>, Lignocellulosic composite, Linear regression, Correlation.*



## 1. INTRODUCCIÓN

Entre las diversas formas de caracterización de los materiales compuestos lignocelulósicos se encuentran los métodos no destructivos (NDT). Según Gholizadeh (2016), NDT indica el proceso de evaluación e inspección de los materiales o componentes, para la caracterización sin alterar los atributos originales o dañar el objeto que se está probando.

Se han realizado estudios para caracterizar, por métodos no destructivos, maderas (Ribeiro et al. 2016; Carrasco et al., 2017; Yang et al. 2017) y compuestos a base de madera (Pizzol, Mantilla y Carrasco, 2017; Rosa et al. 2019). Sin embargo, pocos se han desarrollado para caracterizar compuestos lignocelulósicos que no sean de madera, como Oliveira et al. (2017) y Zhang et al. (2018), estudiaron tableros de partículas hechos de residuos de caña de azúcar.

Hay una fuerte tendencia en el uso de especies no madereras y residuos agrícolas como materia prima en la producción de paneles compuestos, siendo una alternativa ecológicamente favorable para el desarrollo tecnológico del sector (Bekhta, Korkut y Hiziroglu 2013; Silva et al. 2015).

El uso de residuos agrícolas como la paja en industrias como material renovable para la producción de productos de valor agregado ha despertado interés debido a la presencia de polímeros naturales, bajo costo, amplia disponibilidad y reducción de la contaminación ambiental (Akpinar et al. 2012).

Entre los tableros que utilizan paja se encuentra el OSSB (*Oriented Structural Straw Board*), que fue patentado por Alberta Research Council para su aplicación en la construcción, hecho de paja de trigo, cuyos beneficios son: la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> por parte de quema de paja, reduce la deforestación de árboles nativos y aumenta los ingresos para los agricultores mediante la venta de un subproducto de su cosecha (Tang 2018). La primera planta industrial OSSB ha estado en operación en China desde octubre de 2009 (Han et al. 2012).

Según EMBRAPA (Corporación Brasileña de Investigación Agropecuaria) (2019), la producción mundial de cereales alcanzó 362 millones de toneladas, de las cuales 123 millones fueron producidas por los Estados Unidos y 114 millones por Brasil, donde los estados que más producen son: Mato Grosso, Paraná y Rio Grande do Sul. Por lo tanto, existe la propuesta de producir paneles OSSB con residuos de paja de soja.

Otro problema es el adhesivo utilizado en la fabricación del compuesto. Para la producción a escala industrial del tablero OSSB, se usa resina de isocianato polimérico pMDI (diisocianato de difenilmetano) que cuesta aproximadamente diez veces más costosa que la resina de urea formaldehído (Han et al., 2012; Bekhta, Korkut y Hiziroglu 2013; Cheng, Han y Fang 2013). Otro tipo de resina que no contiene formaldehído en su composición es el adhesivo poliuretano producido con aceite de ricino, que tiene un alto rendimiento mecánico y abundancia en Brasil (Bertolini et al. 2014; Nascimento et al. 2015; Nasser 2016; Bianche et al. 2017). Se han desarrollado estudios que involucran la aplicación de adhesivo de PU a base de aceite de ricino a materiales compuestos a base de madera como Tang et al. (2008), Bertolini et al. (2014) y Bianche et al. (2017). Sin embargo, pocos estudios han analizado las propiedades de los compuestos producidos con este adhesivo y otros materiales lignocelulósicos.

A partir de lo anterior, este trabajo tuvo como objetivo evaluar las propiedades mecánicas de los paneles OSSB mediante el método no destructivo de excitación por impulsos y correlacionar estos resultados con los de la prueba de flexión estática destructiva convencional.



## 2. METODOLOGÍA

A seguir se describe cómo se fabricaron los tableros OSSB, cómo se realizaron los ensayos de flexión estática y no destructiva y el análisis estadístico de los resultados.

### 2.1. Fabricación de los tableros OSSB

Las materias primas utilizadas en este trabajo fueron la paja de soja (*Glycine Max L.*) y un adhesivo de poliuretano bi-componente a base de aceite de ricino. La paja de soja utilizada se refiere a la cosecha 2017/2018, en la ciudad Itapeva, en provincia de San Pablo y el adhesivo utilizado fue poliuretano bi-componente de aceite de ricino producido por la empresa KEHL® con un contenido de sólidos del 100%, siendo el componente A polioliol a base de aceite de ricino y componente B, el prepolímero que es un isocianato polifuncional.

La variable estudiada en este trabajo fue el contenido de adhesivo del tablero, y se definieron cuatro tratamientos cuyos porcentajes oscilaron entre 6% y 15%, según el peso de la paja seca. La masa total de los paneles fue constante ( $1565 \cdot 10^{-3}$  kg), y en total se produjeron tres tableros por tratamiento con dimensiones nominales de 42 cm x 42 cm x 15 mm y una densidad objetivo de  $650 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .

El procesamiento inicial de la paja se basó en el método descrito por Bach, Domier y Holowach (1999) y Silva et al. (2018), donde el material de campo debe cortarse y secarse antes de la producción de compuestos.

La preparación del adhesivo de poliuretano a base de aceite de ricino consistió en pesar y mezclar los dos componentes, polioliol y prepolímero, en una proporción de 1: 1.

La paja procesada ya seca también se pesó y luego se mezcló con el adhesivo dentro de un aglutinante de laboratorio. La resina se aplicó manualmente, ya que su viscosidad impidió el uso de la pistola de gravedad, y el procedimiento de rotación del equipo de mezcla duró 10 minutos.

El material adherido se dividió en tres partes, en proporciones en masa de 30: 40: 30, para las capas exterior e interior. La orientación del material en la caja de formación se realizó manualmente, donde la capa interna se dispuso de forma ortogonal en relación con las externas.

El colchón formado se sometió al procedimiento de prensado a temperatura ambiente en una prensa neumática durante 10 minutos y 0,4 MPa de presión. El proceso que siguió fue la prensa caliente, en una prensa hidráulica calentada, que se produjo en tres ciclos de 180 s con dos intervalos de alivio de presión de 3000 ms a 100 °C con una presión de 4 MPa, siguiendo las recomendaciones de Maloney (1993), Cheng, Han y Fang (2013) y Silva et al. (2016).

Los tableros producidos fueron controlados por el clima a 25 °C y 65% de humedad relativa durante al menos 72 h. Posteriormente, los especímenes de prueba fueron producidos para pruebas físicas y mecánicas, mediante corte circular con sierra, en las dimensiones recomendadas por la EN 310 (1993) para la caracterización de OSB en flexión estática y lijado de las superficies de las capas exteriores.

### 2.2. Ensayos no destructivos

El ensayo no destructivo se basó en ASTM E1876 (2015), a partir de la cual se determinó el módulo de elasticidad dinámica "fuera de plano" de los tableros OSSB producidos, paralelos y perpendiculares a dirección de las fibras de la capa exterior.



Se hicieron especímenes rectangulares de 350 mm por 50 mm, la dimensión más grande se tomó paralela y perpendicular a la dirección de la pajilla de la capa exterior de la placa. Cada espécimen tenía su masa, ancho, grosor y longitud determinados antes de las pruebas.

El sistema SONELASTIC® se utilizó para realizar el ensayo, donde cada espécime de prueba se apoyó en un soporte metálico rígido cerca del dispositivo de detección (micrófono) acoplado a una computadora (Figura 1). La excitación por impulso ocurrió con el impacto de una varilla polimérica flexible con punta de metal en la parte central superior de la espécime de prueba.

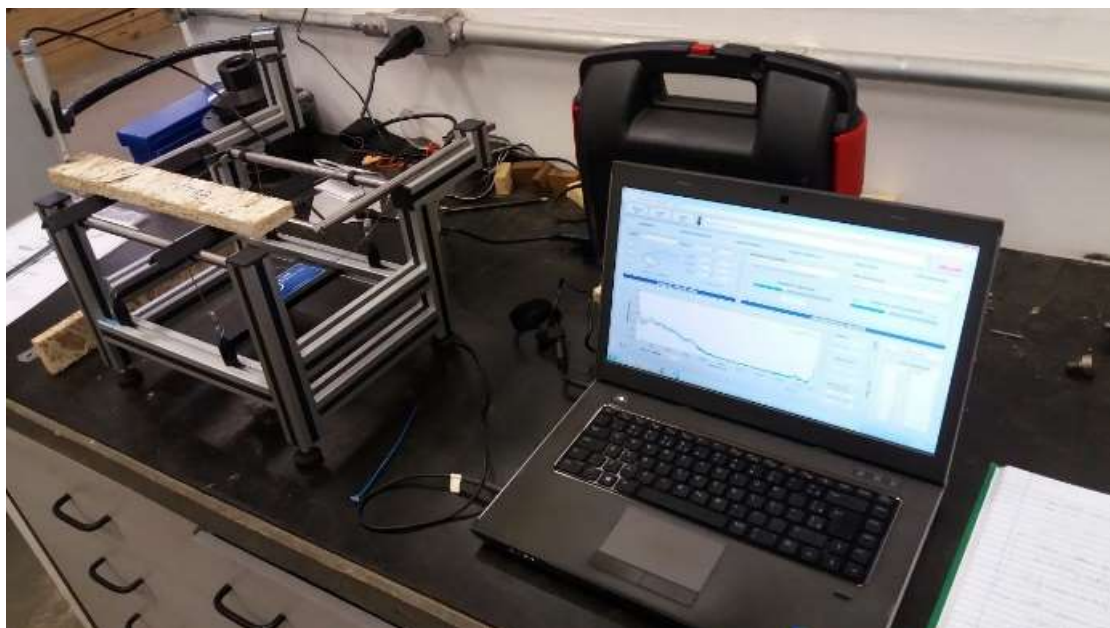


Figura 1: Equipamientos utilizados en el ensayo no destructivo de excitación por el impulso.

La adquisición de datos de la frecuencia de vibración natural de la muestra se realizó mediante el *software* ATPC Sonelastic 3.0. La frecuencia natural de vibración se determinó promediando cinco mediciones consecutivas cuya variación fue inferior al 1% de la medición anterior. El tiempo de adquisición utilizado fue de 0.683 segundos utilizando un filtro de detección estándar (hasta 20 kHz).

Las ecuaciones 1 y 2 presentan el cálculo del módulo dinámico de elasticidad.

$$MOE_d = 0,9465 \cdot \left( \frac{m \cdot f_f^2}{l_2} \right) \cdot \left( \frac{l_1^3}{t^3} \right) \cdot T_1, \quad (1)$$

donde:

- $MOE_d$  es el módulo de elasticidad dinámico “fuera de plano” (Pa),
- $m$  es la masa (kg),
- $f_f$  es la frecuencia de oscilación natural del espécime de prueba (Hz),
- $l_2$  es el ancho del espécime de prueba (m),
- $l_1$  es la longitud del espécime de prueba (m),
- $t$  es el espesor del espécime de prueba (m),
- $T_1$  es el factor de corrección para el modo de flexión fundamental (sin dimensiones).

$$T_1 = \left[ 1,000 + 6,585 \cdot \left( \frac{t}{l_1} \right)^2 \right], \quad (2)$$





### 2.3. Ensayos de flexión estática

Estos ensayos se basaron en la norma EN 310 (1993), que se utiliza para caracterizar la rigidez y la resistencia a la flexión estática de los tableros a base de madera. Cada muestra se apoyó entre dos soportes cilíndricos de 300 mm, y la carga se aplicó con una cuchilla en el centro del tramo. La velocidad de carga fue tal que la rotura de la muestra ocurrió dentro de  $60 \pm 30$  s.

La Figura 2 muestra uno de los especímenes de prueba durante el ensayo de flexión estática en la máquina universal EMIC 300 kN - Laboratorio de Propiedades de Materiales de UNESP en el Campus Experimental de Itapeva.



Figura 2: Ensayo de flexión estática de un espécimen de prueba de tableros OSSB.

Los datos se ingresaron utilizando el software Tesc versión 3.04, a partir del cual se calcularon la elasticidad y la resistencia a la flexión para cada espécimen. La ecuación 3 presenta el cálculo del módulo de elasticidad.

$$MOE = \frac{l^3 \cdot (F_{40\%} - F_{10\%})}{4 \cdot l_2 \cdot t^3 \cdot (a_{40\%} - a_{10\%})} \quad (3)$$

donde:

- $MOE$  es el módulo de elasticidad en flexión estática (Pa),
- $l$  es la distancia entre apoyos (m),
- $(F_{40\%} - F_{10\%})$  es el incremento de la fuerza en el rango elástico de la curva de desplazamiento de la fuerza  $X$  cuyos porcentajes están en relación con la carga máxima (N),
- $(a_{40\%} - a_{10\%})$  es el incremento de la flecha en el centro de la distancia entre apoyos, debido al incremento de la fuerza  $(F_{40\%} - F_{10\%})$  (m).



## 2.4. Análisis estadística

Se realizó la regresión lineal de los resultados, correlacionando el Módulo de Elasticidad en función del Módulo de Elasticidad Dinámica de los tableros OSSB. Así, se determinaron la ecuación de la recta y el coeficiente de correlación ( $R^2$ ). Además, el análisis de varianza con los resultados de las pruebas no destructivas se realizó mediante la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).

## 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La Tabla 1 muestra los resultados medios de los ensayos de caracterización no destructiva, junto con la desviación estándar de los resultados y el análisis de la varianza. La Figura 3 muestra los gráficos de regresión lineal, que correlacionan el módulo elástico estático (MOE) en función del módulo elástico dinámico ( $MOE_d$ ).

*Tabla 1: Resultados de los ensayos no destructivos en tableros OSSB*

Tratamiento	$MOE_d$ paralelo ( $10^6$ Pa)	$MOE_d$ perpendicular ( $10^6$ Pa)
T6	1591a (224)	618a (98)
T9	2203ab (486)	733a (317)
T12	2854bc (562)	701a (167)
T15	3458c (439)	766a (187)

El módulo de elasticidad dinámico de los tableros OSSB en la dirección paralela de las placas fue significativamente mayor que en la dirección perpendicular, lo que indica la influencia de la orientación de la paja durante el proceso de fabricación.

El aumento en el contenido de adhesivo influyó significativamente en el módulo dinámico de elasticidad solo en dirección paralela a las fibras de la madera de la capa exterior, sin efecto en la dirección perpendicular.

Se realizó la correlación entre el módulo dinámico de elasticidad de las placas y el módulo de elasticidad en flexión estática (Figura 3). Los tratamientos T9 y T15 mostraron un alto coeficiente de correlación ( $R^2$ ), superior a 0,79, en ambas direcciones de orientación de la paja en la capa exterior. Los tratamientos T6, paralelos y T12, perpendiculares, presentaron el coeficiente de correlación más bajo, cercano a 0,5.

Yang et al. (2017) encontraron valores de  $R^2$  entre 0.66 y 0.80 en la correlación entre  $MOE_d$  y MOE, para madera de *Pinus elliottii*, utilizando el método de onda de estrés. Carrasco et al. (2017) encontraron valores de correlación entre 0.56 y 0.97 para las propiedades elásticas en compresión, tracción y corte en maderas de origen brasileña. En ambos casos, se observa la proximidad de los valores de  $R^2$  con los obtenidos en el presente estudio.

Pizzol, Mantilla y Carrasco (2017) encontraron  $R^2$  de 0.73 en tableros de madera contrachapada, empleados en formas de concreto. Los autores utilizaron el dispositivo Sonelastic® para la caracterización, lo que indica que el nivel de correlación encontrado es cercano al de los paneles a base de madera.

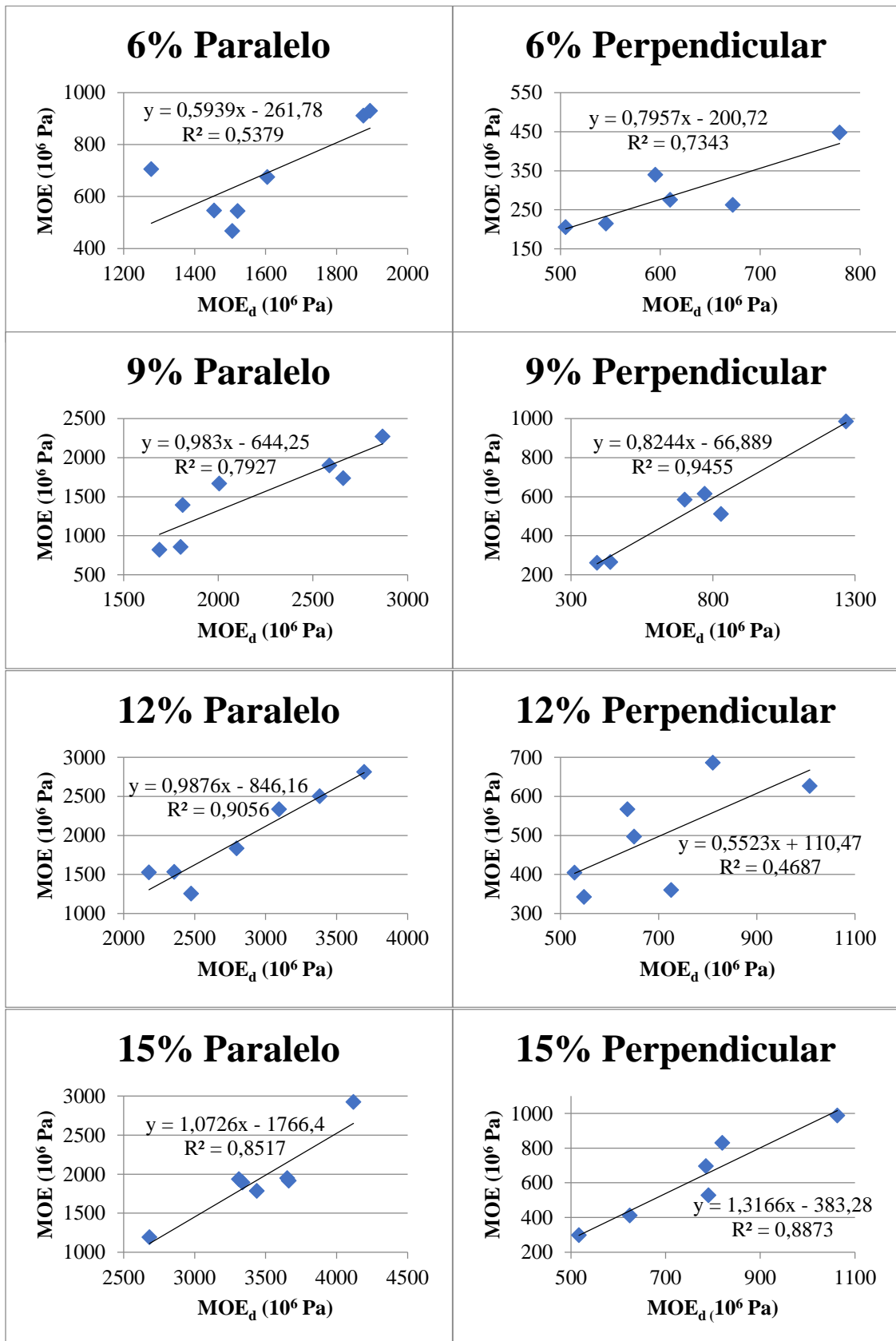


Figura 3: Resultados de la analice de correlación para todos los tratamientos.



#### 4. CONCLUSIONES

Los resultados indicaron que el ajuste lineal varía según el contenido de adhesivo en la composición del panel y la dirección de la orientación de la paja en la capa exterior del compuesto. Las muestras orientadas en la dirección perpendicular no mostraron diferencias, independientemente del contenido de adhesivo utilizado en la fabricación.

Los valores de  $R^2$  oscilaron entre 0,74 y 0,94, lo que indica que los tableros que contienen 9% y 15% generan un mejor ajuste. Los resultados obtenidos fueron similares a los encontrados en otros estudios con piezas de madera y tableros a base de madera.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a: la Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), por otorgar ayuda financiera a JVFS para el desarrollo de su proyecto de maestría, del 01/05/2018 al 29/02/2020, en referencia al proceso No. 2018 / 00801-7; la Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Código de Financiamento 001; y al Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), No. 131765 / 2018-3. Los autores también están agradecidos por la donación de paja de soja por parte del agrónomo Erick Hertel Almeida.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akpınar, O., Sabancı, S., Levent, O. and Sayaslan, A. (2012). Evaluation of antioxidant activity of dilute acid hydrolysate of wheat straw during xylose production. *Ind. Crop Prod.*, v. 40, p. 39-44.
- American Society for Testing and Materials (2015). Standard Test Method for Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus, and Poisson's Ratio by Impulse Excitation of Vibration. ASTM E1876-15. West Conshohocken.
- Bach, L., Domier, K.W. and Holowach, R. (1999). Method of fabricating a straw panel, board, or beam. CA n° 5,932,038, Alberta Research Council, CA.
- Bekhta, P., Korkut, S. and Hiziroglu, S. (2013). Effect of pretreatment of raw material on properties of particleboard panels made from wheat straw. *Bioresources*, v. 8, n. 3, p. 4766-4774.
- Bertolini, M.S., Nascimento, M.F., Christoforo, A.L. and Lahr, F.A.R. (2014). Painéis de partículas provenientes de rejeitos de *Pinus sp.* tratado com preservante CCA e resina derivada de biomassa. *Revista Árvore*, v. 38, n. 2, p. 339-346.
- Bianche, J.J., Reixeira, A.P.M., Ladeira, J.P.S., Carneiro, A.C.O., Castro, R.V.O. and Della Lucia, R.M. (2017). Cisalhamento na linha de cola de *Eucalyptus sp.* colado com diferentes adesivos e diferentes gramaturas. *Floresta e Ambiente*, v. 24, p. 1-9.
- British Standards Institution (1993). Wood-based panels - determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength. EN 310-93. Brussels.
- Carrasco, E.V.M., Vargas, C.B., Souza, M.F. and Mantilla, J.N.R. (2017). Evaluation of mechanical characteristics of wood by means of impulse excitation. *Revista Matéria*, e-11936.
- Cheng, W., Han, G. and Fang, D. (2013). Oriented Structural Boards from Split Wheat Straw: Effects of Straw Length, Panel Density, and Resin Content. *Bioresources*, v. 8, n. 3, p. 4497-4504.
- Embrapa (2019). Soja em números (safra 2018/2019). Technical Report, EMBRAPA, BR.





- Gholizadeh, S. (2016). A review of non-destructive testing methods of composite materials. Proceeding of XV Portuguese Conference on Fracture, Paço de Arcos, Portugal, February.
- Han, G., Cheng, W., Manning, M. and Eloy, P. (2012). Performance of zinc borate-treated oriented structural straw board against mold fungi, decay fungi, and termites – a preliminary trial. *Bioresources*, v. 7, n. 3, p. 2986-2995.
- Maloney, T.M. (1993). *Modern particleboard & dry-process fiberboard*. Miller Freeman, San Francisco, CA, USA.
- Nascimento, M.F., Bertolini, M.S., Panzera, T.H., Christoforo, A.L. and Lahr, F.A.R. (2015). Painéis OSB fabricados com madeiras da caatinga do nordeste do Brasil. *Ambiente Construído*, v. 15, n. 1, p. 41-48.
- Nasser, S.M. (2016). Painéis de partículas de bambu e casca de amendoim com adesivo à base de mamona. MSc. Thesis, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Bauru, SP.
- Oliveira, S.L., Mendes, R.F., Mendes, L.M., Narciso, C.R.P. and Ribeiro, D.P. (2017). Avaliação não destrutiva de painéis de partículas de média densidade pelo método *Stress Wave Timer*. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 37, n. 91, p. 243-247.
- Pizzol, V.D., Mantilla, J.N.R. and Carrasco, E.V.M. (2017). Elastic characterization of plywood used and reused in forms through impulse excitation. *Revista Matéria*, e-11928.
- Ribeiro, E.S., Gonçalves, J.C., Souza, R.S. and Paula, M.H. (2016). Avaliação de propriedades mecânicas da madeira por meio de métodos destrutivos e não-destrutivos. *Nativa*, v. 4, n. 2, p. 103-106.
- Rosa, T.O., Terezo, R.F., Rios, P.A., Sampietro, J.A. and Rosa, G.O. (2019). *Schizolobium Parahyba* var. *Amazonicum* Glulam Classified by Non-destructive Tests. *Floresta e Ambiente*, v. 26, n. 2, e20171202.
- Silva, D.W., Farrapo, C.L., Ribeiro, D.P., Mendes, R.F., Mendes, L.M. and Scolforo, J.R.S. (2015). MDP com partículas de eucalipto e palha de milho. *Scientia Forestalis*, v. 43, n. 108, p. 853-862.
- Silva, J.V.F., Ferreira, B.S., Campos, C.I., Christoforo, A.L. and Lahr, F.A.R. (2016). Characterization of particleboards produced with *Pinus spp.* waste. *Scientia Forestalis*, v. 44, n. 111, p. 623-628.
- Silva, J.V.F., Silva, M.F.F., Ferreira, B.S. and Campos, C.I. (2018). Caracterização física de painéis OSSB produzidos com palha de soja e adesivo poliuretano à base de óleo de mamona. Proceeding of 23º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Foz do Iguaçu, November.
- Tang, Y. (2018). Burning Issue - how design can help reduce straw burning in China. Technical Report 0032160, NSCAD University, CA.
- Tang, Y., Wang, D.Y., Jing, X.K., Ge, X.G., Yang, B. and Wang, Y.Z. (2008). A formaldehyde-free flame retardant wood particleboard system based on two-component polyurethane adhesive. *J. of App. Polym. Sci.*, v. 108, n. 2, p. 1216-1222.
- Yang, Z., Jiang, Z., Hse, C.Y. and Liu, R. (2017). Assessing the impact of wood decay fungi on the modulus of elasticity of slash pine (*Pinus elliottii*) by stress wave non-destructive testing. *Int. Biodeterioration & Biodegradation*, v. 117, p. 123-127.
- Zhang H., Sfarra, S., Sarasini, F., Fiorelli, J., Peeters, J., Avdelidis, N.P., Sartori, D.L., Ibarra-Castanedo, C., Perilli, S., Mokhtari, Y., Tirillì, J. and Maldague, X.P.V. (2018). Impact



4º CONGRESO  
LATINOAMERICANO  
DE ESTRUCTURAS  
DE MADERAS

Modelling and A Posteriori Non-destructive Evaluation of Homogeneous Particleboards of Sugarcane Bagasse. J. of Nondestructive Evaluation, v. 37, n. 6.