




## GOMERO MANCHADO PRODUCIDO EN BRASIL PARA MADERA MACIZA ESTRUCTURAL: UNA CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y MECÁNICA

## SPOTTED GUM PRODUCED IN BRAZIL FOR STRUCTURAL SOLID WOOD: A PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERIZATION

M.C.J.A. Nogueira<sup>1</sup>, V.A. De Araujo<sup>2,\*</sup>  J.S. Vasconcelos<sup>3</sup>, C.M. Gutiérrez-Aguilar<sup>4</sup>, A.L. Christoforo<sup>2,\*</sup> F.A.R. Lahr<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Mato Grosso. Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental.  
Avenida Fernando Corrêa Costa 2367, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil

<sup>2</sup>Universidade Federal de São Carlos. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.  
Rodovia Washington Luis km 235, São Carlos, São Paulo, Brasil

<sup>3</sup>Universidade Estadual Paulista. Programa de Pós-Graduação em Agronomia.  
Avenida Universitária 3780, Botucatu, São Paulo, Brasil

<sup>4</sup>Instituto Tecnológico Metropolitano. Facultad de Artes y Humanidades.  
Calle 73 76a-354, Vía al Volador, Medellín, Colombia

<sup>5</sup>Universidade de São Paulo. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas.  
Avenida Trabalhador São-carlense 400, São Carlos, São Paulo, Brasil

*(recibido/received: 23-11-2023; aceptado/accepted: 21-05-2024)*

### RESUMEN

Numerosas especies maderables requieren una caracterización detallada para comprender su potencial estructural. La madera maciza de gomero manchado se encuentra entre tales especies en las que también se requiere conocer sus propiedades para la construcción. En el presente estudio se buscó examinar 16 propiedades físico-mecánicas de la madera del gomero manchado (*Corymbia maculata*) para promover su uso en la producción de construcciones bio-basadas más sostenibles. Utilizando la norma técnica brasileña NBR7190, se evaluaron dos niveles de humedad estable para averiguar el comportamiento de la madera, el primero en el punto de saturación al 30 % y el segundo en punto seco estandarizado al 12 %. 13 árboles del gomero manchado con diferentes edades fueron extraídos de diferentes bosques plantados en Brasil para obtener muestras de sus troncos. Así, se analizaron 1959 determinaciones para evaluar los resultados mediante la prueba de t con un nivel de significancia del 5 %. A partir de nuestros análisis representativos, estadísticos y comparativos, se confirmó que el gomero manchado es adecuado para usos estructurales, siendo una madera potencial en las regiones tropicales y subtropicales de América Latina.

**Palabras clave:** Aserrados, Humedad, Densidad, Resistencia Mecánica.

---

\* Corresponding author.

E-mail address: victor@ufscar.br, christoforoal@yahoo.com.br

## ABSTRACT

Numerous woods still require a detailed evaluation to understand structural potential. Spotted gum solid wood is among such species in which knowledge of its properties for construction is also required. The present study examined 16 physical-mechanical properties of the spotted gum wood (*Corymbia maculata*) to promote its use in the production of more sustainable bio-based buildings. Using the Brazilian NBR7190 standard code, two stable levels of moisture content were evaluated to figure out the wood behavior, the first at the 30 % saturation point and the second at the standardized dry point at 12 %. 13 spotted gum trees with different ages were collected from different plantations in Brazil to obtain samples from their trunks. Thus, 1959 determinations were analyzed to evaluate results from t-test at 5 % level of significance. From our significant, statistical, and comparative analyses, it was confirmed that spotted gum is suitable for structural uses, being a potential wood in tropical and subtropical regions of Latin America.

Keywords: Sawn Wood, Moisture, Density, Mechanical Strength.

## 1. INTRODUCCIÓN

El alcance del manejo forestal sostenible depende de la capacidad de reconciliar la productividad ecológica del ecosistema con su aprovechamiento para uso en construcciones humanas y otros fines utilitarios (Tapia-Tapia & Reyes-Chilpa, 2008). La madera se puede utilizar recojiéndola de los bosques circundantes a las construcciones (Flores-Pacheco et al., 2023). Por ello, es fundamental el uso de recursos procedentes de plantaciones, pues se contribuye a mitigar la presión sobre los bosques nativos (Gladstone & Thomas Ledig, 1990). La producción de especies de crecimiento rápido en plantaciones, como el pino y el eucalipto, puede aumentar el volumen de la madera explotada para fines industriales (González-Guñez et al., 2016; Foroughbakhch-Pournavab et al., 2017), generando un escenario favorable, pues el sector maderero se caracteriza por sus bajas emisiones y por un balance positivo en la captura de carbono (Muñoz-Zamponi & Mardones-Poblete, 2016). Estos beneficios ambientales se hacen visibles en la construcción con madera, pues mientras que las especies de pino pueden presentar tasas de captura de carbono de hasta 40 kg C m<sup>-1</sup> en entramados ligeros y hasta 55 kg C m<sup>-1</sup> en prefabricados de madera masiva, los géneros de *Eucalyptus* y *Corymbia* alcanzan hasta 55 kg C m<sup>-1</sup> y 105 kg C m<sup>-1</sup>, respectivamente (De Araujo et al., 2020). Estas ventajas y la diversidad de especies de *Eucalyptus* y *Corymbia* pueden atraer interés para su uso comercial a gran escala, siendo además recursos renovables.

El gomero manchado (“*Spotted Gum*” en inglés) es el nombre comercial de *Corymbia maculata* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson (Wallis, 1970; FAO, 1981; Paes, 2002; Bell y Stables, 2012), también conocido como *Eucalyptus maculata* (Rashwan, 2002; Assareh et al., 2010; Gonçalves et al., 2010). Esta especie forestal habita un amplio rango latitudinal que cubre entre 17 y 37 °S, y hasta una altitud de 800 m (Ferreira, 1979; FAO, 1981). Es un árbol originario de Australia (FAO, 1981; Lorenzi et al., 2003; Bell & Stables, 2012), pero se encuentra en otros países como Brasil (Brito & Barrichelo, 1980; Lorenzi et al., 2003), Chile, Costa Rica, Israel, Ecuador, Ruanda, Zimbabue, Sierra Leona (FAO, 1981), Egipto (Rashwan, 2002), Sudáfrica (McMahon et al., 2010) y Madagascar (Aubréville & Bossanyi, 2015). Esta especie es adecuada para la arborización de parques y jardines debido al aspecto ornamental de sus troncos largos (Lorenzi et al., 2003; McMahon et al., 2010) y para la recuperación de áreas degradadas (Gonçalves et al., 2010). Tiene además usos medicinales (Rashwan, 2002), y de él se pueden obtener aceites esenciales (Assareh et al., 2010), carbón vegetal (Brito & Barrichelo, 1980), carbón activado, celulosa y papel (McMahon et al., 2010). No soporta el frío intenso, por lo cual es frecuentemente cultivada en las regiones Sur y Sudeste de Brasil (Lorenzi et al., 2003). El gomero manchado constituye un árbol perennifolio de 20 a 30 metros de altura y de tallo rectilíneo, revestido por una cáscara que se desprende dejando una superficie lisa con manchas irregulares, de color crema, gris oscura o azulada, así como ramaje robusto y copa abierta (Lorenzi et al., 2003). Es una especie de alto potencial en bosques plantados debido a su rápido crecimiento en altura y adaptabilidad en áreas tropicales y subtropicales.

El gomero manchado produce una madera de color marrón, densidad media y veta estrecha hasta entrecruzada (Wallis, 1970; Lorenzi et al., 2003), resistente al ataque de agentes xilófagos (Paes, 2002) y que extiende su durabilidad cuando se conserva con el arseniato de cobre cromado por el método de autoclave (Lima et al., 2014). Es una especie potencialmente comercial capaz de producir madera aserrada de buena calidad para usos múltiples (McMahon et al., 2010), pisos (Wallis, 1970; Martins et al., 2013), material de construcción (Lorenzi et al., 2003), paneles de partículas orientadas (Iwakiri et al., 2004; McMahon et al., 2010), estructuras náuticas, carrocerías de vehículos, cabos de herramientas (Wallis, 1970), durmientes, postes, estacas, láminas, cercas y muebles (Ferreira, 1979; McMahon et al., 2010). A pesar de ello, la madera de *Corymbia maculata* todavía no es una especie comercialmente utilizada en la construcción en Brasil. De Araujo et al. (2021) identificaron el uso comercial de 40 especies nativas brasileñas y nueve variedades exóticas en la construcción de viviendas en madera en este país, lo que incluye cuatro variedades de *Pinus*, cuatro de *Eucalyptus* y la *Corymbia citriodora*.

El uso limitado de la madera de *Corymbia maculata* en la construcción es posiblemente debido al bajo conocimiento de sus propiedades mecánicas, no solo en Brasil sino también en otros países. A partir de la búsqueda global en dos plataformas (SCOPUS y SCIELO) utilizando palabras claves en dos idiomas, español (“gomero manchado” AND “madera”) e inglés (“*Corymbia maculata*” AND “wood”) en 2023, se identificaron tan solo 11 estudios para un periodo sin restricciones de tiempo. Ocho estudios se dedicaron a evaluar la madera en términos de producción forestal, propiedades anatómicas, procesamiento y resistencia al fuego y biodegradación y tres contribuciones se dedicaron a evaluar sus propiedades mecánicas en pisos y uniones entre elementos constructivos. Además, no se identificaron estudios sobre la investigación de las propiedades físicas y mecánicas de la madera maciza de *Corymbia maculata*.

Los estudios de evaluación de las especies maderables han sido motivados por ofertas mercadológicas junto al conocimiento del comportamiento estructural (Devia Castillo et al., 2016). El efecto de la pérdida del contenido de humedad es un factor que influye en las propiedades mecánicas de la madera de acuerdo con Nogueira et al. (2018a, b, c; 2019a, b; 2020a, b, c), entre otros autores.

Por lo tanto, es necesario evaluar la madera de *Corymbia maculata* producida en Brasil para analizar el efecto de la reducción del contenido de humedad de 30 % (saturado) a 12 % (seco) en las propiedades físicas y mecánicas de esta madera de bosques plantados de acuerdo con las especificaciones de la norma brasileña NBR 7190:1997, y con base en la comparación con valores medios de otras especies maderables, determinar si puede usarse con fines estructurales en aserrados macizos.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Área experimental y obtención de materiales

Se recolectaron troncos de 13 árboles de *Corymbia maculata* en bosques plantados de cuatro ciudades brasileñas, de los cuales se retiraron 56 vigas aserradas (Tabla 1) de tamaño comercial (12 x 6 x 250 cm).

Las vigas fueron convertidas en muestras estandarizadas de madera, libres de defectos, cuyo procesamiento en laboratorio respetó los diferentes tamaños específicos exigidos para cada ensayo físico y mecánico por la norma técnica NBR 7190:1997, regulada por la Asociación Brasileña de Estándares Técnicos (ABNT) y que, debido a su afiliación, sigue las indicaciones de la Organización Internacional de Normalización (ISO).

Las muestras se estabilizaron en el punto de saturación de las fibras a 30 % de humedad y punto seco a 12 % de humedad estándar según la misma norma técnica brasileña, cuyas prescripciones se encuentran detalladas por ABNT (1997).

Tabla 1. Detalle de las muestras de madera de gomero manchado [*Corymbia maculata* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson] producido en Brasil.

Número de tronco	Cantidad de vigas	Edad (años)	Diámetro a altura de pecho (m)	Región brasileña del bosque plantado†
1	3	28	0.277	Rio Claro
2	2	32	0.305	Rio Claro
3	2	32	0.315	Rio Claro
4	5	28	0.305	Manduri
5	5	28	0.241	Manduri
6	4	28	0.252	Manduri
7	4	28	0.300	Manduri
8	17	41	0.430	Camaquã
9	4	32	0.315	Rio Claro
10	4	32	0.315	Rio Claro
11	2	27	0.215	Restinga
12	2	27	0.200	Restinga
13	2	27	0.100	Restinga

†Región: ciudades en diferentes puntos del estado de São Paulo, en Brasil.

### Diseño experimental y ensayos utilizados para la evaluación de las muestras

La evaluación de esta especie implicó la realización de 1959 repeticiones para los 14 ensayos mecánicos y dos ensayos físicos realizados. Después de la estabilización del contenido de humedad de las fibras a 30 y 12 %, se ejecutaron las pruebas de manera similar a la metodología de las 16 propiedades establecidas por Lahr et al. (2017, 2018) y Nogueira et al. (2018a, b, c; 2019a, b; 2020a, b, c) para otras especies de eucalipto en Brasil.

El procedimiento siguió estrictamente la norma técnica NBR 7190:1997 (ABNT, 1997) a partir de una caracterización completa usando los siguientes ensayos: densidades básica y aparente; módulos de ruptura en compresión paralela y normal a las fibras, tensión paralela y normal a las fibras, y flexión estática; módulos de elasticidad en compresión paralela y normal a las fibras, tensión paralela a las fibras y flexión estática; durezas paralela y normal a las fibras; cizallamiento paralelo a las fibras; agrietamiento; y tenacidad. Esta norma prescribe un mínimo de seis ejemplares de lotes distribuidos para las maderas más tradicionales y un muestreo suficiente de 12 ejemplares para las especies poco conocidas. Los ensayos mecánicos tuvieron el soporte de una máquina universal, modelo AMSLER con 250 kN de capacidad de carga (1 % precisión) con dos relojes comparadores (0.01 %). Además, un calibre (0.1 % de precisión) y una báscula (0.1 %) se utilizaron en los ensayos de caracterización físico-mecánica en este estudio.

La evaluación de la capacidad estructural de la madera de gomero manchado se basó en la comparación de los valores obtenidos con los valores prescritos en el anexo de la norma NBR 7190:1997 y en resultados de la literatura para las cinco propiedades mecánicas más esenciales para el diseño de estructuras en madera.

### Análisis estadístico de los datos y probabilidad de error

Se aceptó la normalidad y el proceso de muestreo aleatorio debido a la consideración de la independencia de las muestras, tal como en los estudios de Lahr et al. (2017, 2018) y Nogueira et al. (2018a, b, c; 2019a, b; 2020a, b, c). Se utilizó la prueba de t para comprobar estadísticamente las diferencias entre las medias para las condiciones analizadas de contenido de humedad (30 % saturado y 12 % seco). De esta manera, la hipótesis estadística de interés fue establecida, siendo que la primera condición indica que la diferencia entre medias es estadísticamente igual a cero ( $H_0: \mu_1 = \mu_2$ ) y la segunda, que es estadísticamente diferente de cero ( $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ ). La decisión se basó en el valor p asociado al nivel de significancia de 5 %, donde la hipótesis de igualdad de medias es rechazada cuando  $H_0 < 5 \%$ , lo que sugiere que la propiedad física o mecánica analizada no es alterada.

Para minimizar el error estadístico debido a la mayor repetición en el muestreo observado, se buscó coleccionar muestras a partir de volúmenes y condiciones representativas como se muestra en la Tabla 1. Este muestreo diversificado se formó a partir de 56 vigas de madera extraídas de 13 troncos de diferentes edades recolectados en cinco bosques diferentes ubicados en cuatro ciudades.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Respecto a las densidades aparente y básica (Tabla 2), la madera de gomero manchado se clasificó como una especie de alta densidad, ya que los resultados obtenidos para ambos contenidos de humedad superaron al valor máximo de  $0.72 \text{ g cm}^{-3}$  sugerido para las especies de densidad básica media establecida por Silva et al. (2015). Por medio de la prueba de t se evidenció que la densidad aparente sufre influencia en su propiedad cuando es sometida a la disminución de la humedad ( $p \leq 0.05$ ). Por el contrario, la densidad básica no se altera con la reducción de humedad, tal como fue analizado por Nogueira et al. (2018b). Por la reducción del contenido de humedad, de 30 % (saturado) para el estándar de 12 % (seco) prescrito por ABNT (1997), se comprobó que la densidad aparente disminuyó 16.67 % ( $0.19 \text{ g cm}^{-3}$ ) y la densidad básica permaneció estable como se esperaba (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados para las densidades de la madera maciza de gomero manchado [*Corymbia maculata* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson].

Característica	CH (%)	d	M <sub>propiedad</sub>	de	P-valor
Densidad aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ )	30	63	1.14	0.09	0.0000
	12	62	0.95	0.09	
Densidad básica ( $\text{g cm}^{-3}$ )	30	63	0.74	0.07	-
	12	63	0.74	0.06	

CH: contenidos de humedad de la madera; d: determinaciones en cantidad de muestras; M<sub>propiedad</sub>: resultados medios por propiedad estudiada; de: desviación estándar.

Las propiedades mecánicas de la madera de *Corymbia maculata* presentaron incrementos en sus valores de resistencia a partir de la reducción del contenido de humedad de 30 a 12 %. Los resultados obtenidos en las cinco propiedades del módulo de ruptura de la madera de gomero manchado mostraron incrementos para todos los módulos de ruptura (Tabla 3): 19.72 % (12.5 MPa) en compresión paralela, 16.00 % (1.2 MPa) en compresión normal, 15.83 % (18.3 MPa) en tensión paralela, 19.15 % (0.9 MPa) en tensión normal y 14.12 % (15.9 MPa) en flexión. Con base en la prueba de t se pudo verificar que la compresión paralela, la tensión paralela, la tensión normal y la flexión estática sufrieron influencias al ser sometidas a la disminución de humedad de la madera de 30 a 12 % ( $p \leq 0.05$ ). La compresión normal no sufrió diferencia en esta observación (Tabla 3).

Tabla 3. Resultados para los módulos de ruptura de la madera de gomero manchado [*Corymbia maculata* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson].

Característica	CH (%)	d	M <sub>propiedad</sub>	de	P-valor
Compresión paralela (MPa)	30	64	50.9	7.4	0.0000
	12	62	63.4	11.5	
Compresión normal (MPa)	30	58	6.3	2.9	0.0219
	12	60	7.5	2.7	
Tensión paralela (MPa)	30	60	97.3	33.0	0.0077
	12	58	115.6	39.8	
Tensión normal (MPa)	30	58	3.8	1.3	0.0022
	12	61	4.7	1.8	
Flexión estática (MPa)	30	62	96.7	17.3	0.0001
	12	63	112.6	26.0	

CH: contenidos de humedad de la madera; d: determinaciones en cantidad de muestras; M<sub>propiedad</sub>: resultados medios por propiedad estudiada; de: desviación estándar.

En relación con los módulos de elasticidad (Tabla 4), sus cuatro propiedades tuvieron aumentos de 20.84 % (152.8 MPa) en compresión normal, 8.28 % (1493.1 MPa) en compresión paralela, 10.31 % (1978.9 MPa) en tensión paralela y 13.86 % (2404.4 MPa) en flexión. En cuanto a las propiedades de elasticidad de la madera, se probó que la compresión paralela, la compresión normal, la tensión paralela y la flexión estática sufrieron influencias al ser sometidas a la disminución de humedad de 30 a 12 % ( $p \leq 0.05$ ), lo que permitió rechazar la hipótesis nula de igualdad de las medias (Tabla 4).

Tabla 1. Resultados para los módulos de elasticidad de la madera de gomero manchado [*Corymbia maculata* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson].

Característica	CH (%)	d	M <sub>propiedad</sub>	de	P-valor
Compresión paralela (MPa)	30	64	16538.0	3344.6	0.0140
	12	62	18031.1	3374.5	
Compresión normal (MPa)	30	58	580.4	289.6	0.0043
	12	60	733.2	280.2	
Tensión paralela (MPa)	30	60	17221.7	3664.7	0.0133
	12	58	19200.6	4782.2	
Flexión estática (MPa)	30	62	14945.8	2694.2	0.0000
	12	63	17350.2	2768.2	

CH: contenidos de humedad de la madera; d: determinaciones en cantidad de muestras; M<sub>propiedad</sub>: resultados medios por propiedad estudiada; de: desviación estándar.

También se observaron otras cinco propiedades mecánicas de la madera de gomero manchado (Tabla 5), las cuales identifican diferentes comportamientos resistivos que pueden complementar el diseño de estructuras de madera a partir de la consideración de esta especie de *Corymbia maculata*. Se mostraron aumentos de 25.99 % (4.6 MPa) en cizallamiento, 19.35 % (0.18 MPa) en agrietamiento, 18.62 % (1.99 kN) en dureza normal, 4.17 % (0.39 kN) en dureza paralela y 4.07 % (0.7 N m) en tenacidad. La prueba de t también evidenció que la dureza normal, el cizallamiento y el agrietamiento sufrieron influencias al ser sometidas a la disminución de la humedad ( $p \leq 0.05$ ). En contraste, la dureza paralela y la tenacidad no sufrieron influencias visibles de acuerdo con la estadística.

Tabla 2. Resultados para otras propiedades de la madera de gomero manchado [*Corymbia maculata* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson].

Característica	CH (%)	d	M <sub>propiedad</sub>	de	P-valor
Cizallamiento (MPa)	30	63	13.1	2.3	0.0000
	12	62	17.7	3.1	
Arietamiento (MPa)	30	64	0.75	0.20	0.0000
	12	60	0.93	0.26	
Dureza normal (kN)	30	64	8.70	3.10	0.0166
	12	58	10.69	5.46	
Dureza paralela (kN)	30	64	8.97	2.50	0.3723
	12	58	9.36	2.31	
Tenacidad (N m)	30	62	16.5	4.80	0.4745
	12	60	17.2	5.90	

CH: contenidos de humedad de la madera; d: determinaciones en cantidad de muestras; M<sub>propiedad</sub>: resultados medios por propiedad estudiada; de: desviación estándar.

Al tratarse de una especie de propiedades poco conocidas, este estudio priorizó superar con suficiencia el número de determinaciones de muestras recomendadas ( $d \geq 12$ ) por la norma técnica brasileña NBR 7190:1997, analizando alrededor de cinco veces este límite estandarizado para garantizar un muestreo significativo para todas las propiedades físicas y mecánicas evaluadas. Toda caracterización completa de una especie de madera para la construcción civil debería considerar las 16 propiedades físicas y mecánicas presentadas en este estudio, ya que incluye variables cuantitativas para diferentes condiciones de desempeño para ser consideradas en los diseños de estructuras en madera.

La norma técnica NBR 7190:1997 indica que la clasificación mecánica de los elementos estructurales en madera maciza debe al menos priorizar las propiedades de: módulo de ruptura (compresión paralela, tensión paralela y tensión normal), módulo de elasticidad (compresión paralela) y cizallamiento (ABNT, 1997). La consideración se basa en la información de estas cinco propiedades, como valores medios recomendados, para diferentes especies de maderas nativas de Brasil y exóticas del exterior. En cuanto a las propiedades mecánicas más esenciales, la norma brasileña NBR 7190:1997 sugiere valores medios para 17 especies de madera seca (al 12 %), procedentes tanto de bosques nativos como bosques plantados, para orientar el diseño de proyectos estructurales de construcciones con madera (Tabla 6).

Tabla 6. Valores medios de las propiedades mecánicas esenciales de 17 maderas con fines comerciales en Brasil.

Nombre científico de la madera	Rcp (MPa)	Rtp (MPa)	Rtn (MPa)	Rc (MPa)	Ecp (MPa)
<i>Apuleia leiocarpa</i>	79	108	7	12	18400
<i>Bagassa guianensis</i>	80	79	4	12	19600
<i>Cedrela</i> spp.	32	71	3	6	8100
<i>Corymbia citriodora</i>	62	124	4	11	18400
<i>Corymbia maculata</i>	64	116	4	11	18100
<i>Eucalyptus grandis</i>	40	70	3	7	12800
<i>Eucalyptus saligna</i>	47	96	4	8	14900
<i>Erismia uncinatum</i>	38	58	3	6	9100
<i>Goupia glabra</i>	54	62	3	10	13600
<i>Hymenaea</i> spp.	93	158	3	16	23500
<i>Hymenolobium petraeum</i>	60	76	4	9	12900
<i>Ocotea</i> spp.	57	112	3	9	14200
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	35	65	3	8	8500
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	42	50	3	8	9900
<i>Pinus elliottii</i>	40	66	3	7	11900
<i>Pinus oocarpa</i>	44	61	3	8	10900
<i>Pinus taeda</i>	44	83	3	8	13300
<i>Vataireopsis araroba</i>	51	69	3	7	12900

Rcp: ruptura en compresión paralela; Rtp: ruptura en tensión paralela; Rtn: ruptura en tensión normal; Rc: resistencia al cizallamiento; Ecp: módulo de elasticidad en compresión paralela. Fuente: ABNT (1997).

A partir de los resultados de estas cinco propiedades fundamentales para el desempeño estructural, es posible afirmar que la madera de *Corymbia maculata* mostró un comportamiento mecánico muy similar, o incluso mejor, a las diferentes especies maderables indicadas en la norma NBR 7190:1997. La afirmación está respaldada por los resultados superiores del gomero manchado en comparación con los valores sugeridos para maderas comerciales (Tabla 6), tanto de especies nativas tales como angelim araroba (*Vataireopsis araroba*), angelim piedra (*Hymenolobium petraeum*), cedro dulce (*Cedrela* spp.), cupiuba (*Goupia glabra*), laurel negro (*Ocotea* spp.) y cambara (*Erismia uncinatum*) como de bosques plantados utilizadas en estructuras ligeras en madera (*Eucalyptus grandis*, *E. saligna*, *Pinus caribaea*, *P. elliottii*, *P. oocarpa* y *P. taeda*).

Hasta el momento, ha persistido la afirmación sobre el empleo satisfactorio de la madera de *Corymbia maculata* en la construcción civil (Wallis, 1970; Lorenzi et al., 2003), sin la realización representativa de ensayos físicos y mecánicos para sustentar esta sugerencia. Sin embargo, en comparación con los estudios basados en la misma metodología y forma de evaluación para maderas de *Eucalyptus urophylla* (Lahr et al., 2017), *Eucalyptus maidenii* (Nogueira et al., 2018a), *Eucalyptus camaldulensis* (Nogueira et al., 2018b), *Eucalyptus triantha* (Nogueira et al., 2020a) y *Corymbia citriodora* (ABNT, 1997) (Tabla 6), los resultados obtenidos en este estudio indican una ligera ventaja para la madera de *Corymbia maculata*. Notablemente, las propiedades mecánicas del gomero manchado superaron el desempeño estructural de la especie *Eucalyptus alba* evaluado por Nogueira et al. (2019b).

#### 4. CONCLUSIONES

Debido a la escasa información sobre las propiedades de la madera de *Corymbia maculata*, la presente investigación compartió valores medios de caracterización poco conocidos para diferentes propiedades estudiadas, los cuales serán de importancia durante la consideración y selección de esta especie maderable procedente de bosques plantados para futuros proyectos constructivos basados en madera maciza.

Desde el punto de vista físico de la madera de *Corymbia maculata*, su densidad aparente disminuyó en alrededor del 17 % cuando esta madera ha sido secada al 12 %. Su densidad básica superó los  $0.7 \text{ g cm}^{-3}$ , razón por la cual esta especie ha sido clasificada de acuerdo con la literatura científica como una madera de densidad alta. Con respecto a la caracterización mecánica de la madera de gomero manchado, 12 de las 14 propiedades observadas presentaron, estadísticamente, cambios en sus resistencias cuando las muestras de madera probadas tuvieron reducción del contenido de humedad, en cuanto a: compresiones paralela y normal, tensiones paralela y normal y flexión en el módulo de ruptura; compresiones normal y paralela, tensión paralela y flexión en el módulo de elasticidad; dureza normal; cizallamiento; y agrietamiento. Por otro lado, las propiedades de dureza paralela y tenacidad no mostraron cambios significativos atribuidos a los tratamientos probados en esta especie.

En virtud del aumento en la mayoría de sus propiedades mecánicas en la condición de reducción de contenido de humedad, especialmente en las cinco propiedades más esenciales de acuerdo con la norma técnica brasileña, se concluye que la madera maciza de *Corymbia maculata* en condición seca (12 %) presenta mayor eficiencia estructural para el diseño de proyectos de construcción, al ofrecer propiedades mecánicas similares, o incluso mejores, a otras especies maderables comerciales. Esta conclusión positiva es soportada por el muestreo amplio y significativo en términos de repeticiones y diversificación de este biomaterial, y por cuenta de los resultados favorables en comparación con los valores sugeridos por la norma brasileña para especies nativas y exóticas indicadas para la construcción civil.

Finalmente, se recomienda la continuación de los estudios sobre la madera del gomero manchado para caracterizar esta especie en condiciones de utilización constructiva, en ambientes internos y externos, para identificar los desempeños físicos y mecánicos de esta especie maderable en relación a su durabilidad y resistencia a lo largo del tiempo, su susceptibilidad a daños por hongos e intemperies, sus posibles tratamientos de preservación, entre otros. Debido a los resultados positivos obtenidos por este estudio de la madera aserrada de gomero manchado, aún existe la oportunidad de proponer y estudiar esta especie en nuevas soluciones estructurales de productos masivos y compuestos para la construcción industrializada.



## CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA CRediT

Nosotros autores (M.C.J.A. Nogueira, V.A. De Araujo, J.S. Vasconcelos, C.M. Gutiérrez-Aguilar, A.L. Christoforo y F.A.R. Lahr) del artículo intitulado “GOMERO MANCHADO PRODUCIDO EN BRASIL PARA MADERA MACIZA ESTRUCTURAL: UNA CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y MECÁNICA” en publicación en Nexo Revista Científica, declaramos los siguientes roles de autoría:

- Conceptualización: M.C.J.A. Nogueira y F.A.R. Lahr
- Metodología: M.C.J.A. Nogueira y F.A.R. Lahr
- Validación: F.A.R. Lahr, A.L. Christoforo, J.S. Vasconcelos y V.A. De Araujo
- Análisis formal: A.L. Christoforo, J.S. Vasconcelos y V.A. De Araujo
- Investigación: M.C.J.A. Nogueira y F.A.R. Lahr
- Recursos: F.A.R. Lahr
- Curación de datos: M.C.J.A. Nogueira, A.L. Christoforo, J.S. Vasconcelos y V.A. De Araujo
- Redacción - Borrador Original: M.C.J.A. Nogueira, V.A. De Araujo, J.S. Vasconcelos, C.M. Gutiérrez-Aguilar, A.L. Christoforo y F.A.R. Lahr
- Redacción - Revisión y Edición: V.A. De Araujo, J.S. Vasconcelos, C.M. Gutiérrez-Aguilar y A.L. Christoforo
- Supervisión: F.A.R. Lahr y A.L. Christoforo
- Administración del proyecto: F.A.R. Lahr

## DECLARACIÓN DE INTERESES CONTRAPUESTOS

Los autores declaran que no tienen intereses financieros en conflicto ni relaciones personales conocidas que pudieran haber influido en el trabajo presentado en este artículo.

## DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los conjuntos de datos generados y/o analizados durante el estudio actual están disponibles del autor correspondiente a solicitud razonable.

## REFERENCIAS

Assareh, M.H., Sedaghati, M., Kiarostami, K., & Zare, A.G. (2010). Seasonal changes of essential oil composition of *Eucalyptus maculata* Hook. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 25 (4), 582–588.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). (1997). NBR 7190 - Projeto de estruturas de madeira. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, Brasil.

Aubréville, A.A., & Bossanyi I. (2015). No to the “*Eucalyptus* war” in Madagascar. Bois et Forêts des Tropiques, 323, 51–56.

Bell, S.A.J., & Stables, M. (2012). Floristic variability, distribution and an extension of range for the endangered Pittwater Spotted Gum Forest, Central Coast, New South Wales. Cunninghamia, 12 (2), 143–152.

Brito, J.O., & Barrichelo, L.E.G. (1980). Correlação entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão: 2. densidade da madeira x densidade do carvão. IPEF, 20, 101–113.

- De Araujo, V., Vasconcelos, J., Cortez-Barbosa, J., Morales, E., Christoforo, A., Gava, M., Lahr, F., & Garcia, J. (2020). Wood consumption and fixations of carbon dioxide and carbon from timber housing techniques: A Brazilian panorama. *Energy and Buildings*, 216, 1–14.
- De Araujo, V., Vasconcelos, J., Gava, M., Christoforo, A., Lahr, F., & Garcia, J. (2021). What does Brazil know about the origin and uses of tree species employed in the housing sector? Perspectives on available species, origin and current challenges. *International Forestry Review*, 23 (3), 392–404.
- Devia-Castillo, C.A., Reyes, F., Morales, I., Morris, M., & Pareja, J. (2016). Losas en madera como propuesta de solución al diseño y construcción de pavimentos. *Colombia Forestal*, 19, 95–109.
- Ferreira, M. (1979). Escolha de espécies de eucalipto. *IPEF*, 47, 1–30.
- Flores-Pacheco, J.A., Castro Jo, S.E., Araúz Urbina, J.C., Cash Hodgson, D.A., & Julian, L.K. (2023). Sistemas constructivos, gestión integral de riesgo de desastres y adaptación al cambio climático – comunidad indígena Tiktik Kaanu. *Nexo Revista Científica*, 36 (4), 458–469.
- Foroughbakhch-Pournavab, R., Carrillo-Parra, A., Hernández-Piñero, J.L., & Guzmán-Lucio, M.A. (2017). Growth and yield of an eucalyptus subtropical plantation in a Northeastern Mexico degraded land soil. *Madera y Bosques*, 23, 71–85.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (1981). *Eucalypts for planting*. Roma, Italia.
- Gladstone, W.T., & Thomas Ledig, F. (1990). Reducing pressure on natural forests through high-yield forestry. *Forest Ecology and Management*, 35 (1), 69–78.
- Gonçalves, R.M.G., Luca, E.F., Zanchetta, D., & Fontes, M.A.L. (2010). Fitossociologia do estrato arbóreo e arbustivo em sub-bosque de talhões de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus maculata/citriodora* na Estação Experimental de Tupi, Piracicaba–SP. *Revista do Instituto Florestal*, 22, 259–277.
- González-Guiñez, R., Silva-Aguayo, G., Urbina-Parra, A., & Gerding-González, M. (2016). Aceite esencial de *Eucalyptus globulus* Labill y *Eucalyptus nitens* H. Deane & Maiden (Myrtaceae) para el control de *Sitophilus zeamais* Motschulsky. *Chilean Journal of Agricultural and Animal Sciences*, 32 (3), 204–216.
- Iwakiri, S., Mendes-Marin, L., Saldanha Karman, L., & dos Santos, J.C. (2004). Utilização da madeira de eucalipto na produção de chapas de partículas orientadas OSB. *Cerne*, 10 (1), 46–52.
- Lahr, F.A.R., Nogueira, M.C.J.A., De Araujo, V.A., Vasconcelos, J.S., & Christoforo, A.L. (2017). Physical-mechanical characterization of *Eucalyptus urophylla* wood. *Engenharia Agrícola*, 37 (5), 900–906.
- Lahr, F.A.R., Nogueira, M.C.J.A., De Araujo, V.A., Vasconcelos, J.S., & Christoforo, A.L. (2018). Wood utilization of *Eucalyptus grandis* in structural elements: densities and mechanical properties. *Engenharia Agrícola*, 38 (5), 642–647.
- Lima, F.C.C., Sartori, M.S., Severo, E.T.D., & Calonego, F.W. (2014). Tratamento de seis espécies de *Eucalyptus* ssp., utilizando Arseniato de Cobre Cromatado (CCA-C) em método industrial com autoclave. *Revista Científica de Engenharia Florestal*, 23, 71–80.
- Lorenzi, H., Souza, H.M., Torres, M.A.V., & Bacher, L.B. (2003). Árvores exóticas no Brasil: madeireiras, ornamentais e aromáticas. *Plantarum: Nova Odessa, Brasil*. pp.1–368 p.

- Martins, M., Silva, J.R.M., Lima, J.T., Gonçalves, M.T.T., & Filipe, A.P. (2013). Simulação em uso dos pisos de madeira de *Eucalyptus* sp. e *Corymbia maculata*. *Cerne*, 19 (1), 151–156.
- McMahon, L., George, B., & Hean, R. (2010). *Corymbia maculata*, *Corymbia citriodora* subsp *variegata* and *Corymbia henryi*. Primefacts for Profitable, Adaptive and Sustainable Primary Products, 1073, 1–7.
- Muñoz-Zamponi, T.B., & Mardones-Poblete, C.A. (2016). Simulación de un impuesto al CO<sub>2</sub> e para mitigar los impactos del sector agropecuario chileno sobre el cambio climático. *Agrociencia*, 50, 271–285.
- Nogueira, M.C.J.A., Almeida, D.H., De Araujo, V.A., Vasconcelos, J.S., Christoforo, A.L., Almeida, T.H., & Lahr, F.A.R. (2019a). Physical and mechanical properties of *Eucalyptus saligna* wood for timber structures. *Ambiente Construído*, 19 (2), 233–239.
- Nogueira, M.C.J.A., De Araujo, V.A., Vasconcelos, J.S., Prativiera, F., Vasconcelos, J.C.S., Cruz, J.N., Christoforo, A.L., & Lahr, F.A.R. (2019b). Propriedades físico-mecânicas da madeira de *Eucalyptus alba* para construção civil. *Ciência da Madeira*, 10 (1), 71–77.
- Nogueira, M.C.J.A., De Araujo, V.A., Vasconcelos, J.S., Christoforo, A.L., & Lahr, F.A.R. (2020a). Evaluation of *Eucalyptus triantha* timber for structural applications. *Silva Lusitana*, 28 (1), 1–13.
- Nogueira, M.C.J.A., De Araujo, V.A., Vasconcelos, J.S., Christoforo, A.L., & Lahr, F.A.R. (2020b). Sixteen properties of *Eucalyptus tereticornis* wood for structural uses. *Bioscience Journal* 36 (2), 449–457.
- Nogueira, M.C.J.A., Vasconcelos, J.S., De Araujo, V.A., Christoforo, A.L., & Lahr, F.A.R. (2020c). Evaluation of *Eucalyptus microcorys* wood properties. *Advances in Forestry Sciences*, 7 (4), 1197–1202.
- Nogueira, M.C.J.A., Almeida, D.H., Vasconcelos, J.S., Almeida, T.H., De Araujo, V.A., Christoforo, A.L., Almeida, T.H., & Lahr, F.A.R. (2018a). Properties of *Eucalyptus umbra* wood for timber structures. *International Journal of Materials Engineering*, 8 (1), 12–15.
- Nogueira, M.C.J.A., De Araujo, V.A., Vasconcelos, J.S., Gutiérrez-Aguilar, C.M., Cruz, J.N., Vasconcelos, J.C.S., Prativiera, F., Christoforo, A.L., & Lahr, F.A.R. (2018b). Caracterización físico-mecánica de la madera de *Eucalyptus camaldulensis* para uso estructural proveniente de Restinga, Brasil. *Revista Forestal del Perú* 33 (1), 52–62.
- Nogueira, M.C.J.A., De Araujo, V.A., Vasconcelos, J.S., Cruz, J.N., Vasconcelos, J.C.S., Prativiera, F., Christoforo, A.L., & Lahr, F.A.R. (2018c). Characterization of *Eucalyptus maidenii* timber for structural application: physical and mechanical properties at two moisture conditions. *South-east European Forestry*, 9 (2), 141–146.
- Paes, J.B. (2002). Resistência natural da madeira de *Corymbia maculata* (Hook.) K. D. Hill & L.A.S. Johnson a fungos e cupins xilófagos, em condições de laboratório. *Árvore*, 26 (6), 761–767.
- Rashwan, O.A. (2002). New phenylpropanoid glucosides from *Eucalyptus maculata*. *Molecules*, 7 (1), 75–80.
- Silva, C.J., Vale, A.T., & Miguel, E.P. (2015). Densidade básica da madeira de espécies arbóreas do Cerradão no Estado do Tocantins. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 35 (82), 63–75.

Tapia-Tapia, E.C., & Reyes-Chilpa, R. (2008). Productos forestales no maderables en México: Aspectos económicos para el desarrollo sustentable. *Madera y Bosques*, 14, 95–112.

Wallis, N.K. (1970). *Australian timber handbook* (Third edition). Angus & Robertson LTD: Sydney, Australia. pp.1–407.