

# TRATAMIENTOS PARA REDUCIR EL ÍNDICE DE RAJADURA

## TREATMENTS TO REDUCE CRACKING RATES

Ivania Pupo Carballo<sup>1\*</sup>, Daniel Álvarez Lazo<sup>2</sup>; Rogelio Morejón Rivera<sup>3</sup>; Libeydys Prieto Ruiz<sup>4</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. Ciencias Forestales, Servicio Estatal Forestal Los Palacios, Cuba, email: [desarrollo1@dlgls.pri.minag.gob.cu](mailto:desarrollo1@dlgls.pri.minag.gob.cu); <sup>2</sup>Dr. Ciencias Técnicas, Universidad de Pinar del Río, [daniel@upr.edu.cu](mailto:daniel@upr.edu.cu); <sup>3</sup>MSc. Investigador Auxiliar, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Carretera La Francia, km 1½, Los Palacios, Pinar del Río, Cuba, email: [rogelio@inca.edu.cu](mailto:rogelio@inca.edu.cu); <sup>4</sup> Empresa Agroforestal Costa Sur. Artemisa. [comercialcs@art.minag.cu](mailto:comercialcs@art.minag.cu)

### RESUMEN

Entre los defectos que más afectan la calidad de la madera aserrada de *Eucalyptus saligna* Smith y *Eucalyptus pellita* F. Muell se destacan las tensiones de crecimiento. Estas se manifiestan como rajaduras en los extremos de las trozas y en las piezas de la madera aserrada. La búsqueda de métodos simples para su reducción resulta de gran importancia para el desarrollo de la política forestal. La presente investigación desarrolla un conjunto de métodos que permitan reducir la influencia de las tensiones internas de crecimiento sobre las deformaciones de la madera aserrada. Para lo cual se tomaron datos de campo de las dos especies objeto de estudio, *Eucalyptus saligna* Smith y *Eucalyptus pellita* F. Muell a las que se le aplicaron diferentes tratamientos, tales como: Anillado en los extremos de las trozas, almacenamiento de trozas con riego y anillado de árboles en pie, tomando como punto de partida un patrón o testigo para establecer comparaciones.

Los resultados obtenidos muestran que los tratamientos utilizados posibilitan la reducción de las tensiones internas de crecimientos en la madera de *Eucalyptus saligna* Smith y *Eucalyptus pellita* F. Muell resaltando el de las trozas almacenadas con riego y anillado de árboles en pie, donde se obtienen los mejores resultados.

**Palabras Clave:** Tensiones de crecimiento, madera aserrada, *Eucalyptus saligna* Smith y *Eucalyptus pellita*. F. Muell.

### ABSTRACT

Among the most harmful defects quality sawn *Eucalyptus saligna* Smith and *Eucalyptus pellita* F. Muell stand growth stresses. It's manifested as cracks in the ends of the logs and pieces of lumber. The search for simple methods for reduction is of great importance for the development of forest policy. This research develops a set of methods to reduce the influence of internal stresses on the deformations growth of lumber. To which field data were taken from the two species studied, *Eucalyptus saligna* Smith and *Eucalyptus pellita* F. Muell to which different treatments were applied, such as: Ringing in the ends of the logs and logs with show that the treatments used possible to reduce internal stresses in the wood growth of *Eucalyptus saligna* Smith and *Eucalyptus pellita* F. Muell highlighting the logs stored in irrigated irrigation storage, taking as its starting point a standard or control for comparison. The results and ringing trees standing where you get the best results.

**Keywords:** Growth stress, lumber, *Eucalyptus saligna* Smith and *Eucalyptus pellita*. F. Muell.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente es un objetivo de la política forestal crecer cada año en la producción de madera, fundamentalmente de plantaciones, aliviando la presión existente sobre los bosques naturales ya que en su gran mayoría las especies de alto valor comercial se encuentran distribuidos en estos bosques. La demanda de materia prima continua en aumento y la oferta de madera aún más limitada, jugando un papel fundamental la diversificación de especies de rápido crecimiento que además de adaptarse a las condiciones edafoclimáticas sean de alta productividad y tengan madera de buena calidad, donde se destacan el género *Eucalyptus*.

Sin embargo, según Maree y Malan (2000), la mayor limitación técnica que presenta este género y que constituye el problema de esta investigación, es la magnitud de las tensiones de crecimientos que probablemente resulte el indicador de mayor significación, puesto que altos niveles de tensión (particularmente las tensiones longitudinales) ocasionan los defectos que más perjudican el rendimiento y la obtención de madera aserrada de calidad en *Eucalyptus saligna* Smith y *Eucalyptus pellita* F. Muell. Estas, comienzan a liberarse desde el mismo momento de la tala y se manifiestan como rajaduras en los extremos de las trozas. En las piezas aserradas, las tensiones remanentes también provocan rajaduras y alabeos (Del Menezzi, *et al*, 1998).

Algunos métodos no destructivos se han utilizado para evaluar el nivel de tensiones de crecimiento (Ferrand, J.C., 1982; Vignote *et al*, 1996), no obstante, una de las formas de medición indirecta y más confiable para este efecto es la medición de las rajaduras ocurridas en los extremos de las trozas. Encontrándose estas fuertemente correlacionadas con las deformaciones ocurridas en la madera aserrada. (López y Genes, 2005), citado por González *et al.*, (2014).

Por lo tanto, el presente trabajo tiene como objetivo desarrollar métodos que permitan reducir la influencia de las tensiones de crecimiento, para garantizar calidad en la madera aserrada.

## METODOLOGÍA UTILIZADA

La presente investigación se llevó a cabo en la Empresa Forestal Integral La Palma (EFILa Palma), específicamente en la Unidad Empresarial de Base "Los Palacios" ubicada en el referido Municipio en la Provincia de Pinar del Río, Cuba, en las plantaciones de *Eucalyptus pellita* F. Muell y *Eucalyptus saligna* Smith, ubicadas en el lote 4, utilizando individuos con características morfológicas similares al igual que su topografía, densidad (2500 árboles/ha), el tipo de suelo (pardos con carbonato) y la edad de 18 años.

Evaluando las siguientes variables:

- ✓ Número de grietas (NG)
- ✓ Ancho de las grietas (AG)
- ✓ Profundidad de las grietas (PG)
- ✓ Longitud de las grietas (LG)
- ✓ Conicidad de las trozas (CT)
- ✓ Diámetro de las trozas (DT)
- ✓ Defecto de curvatura de cara en las piezas aserradas de 75x50 (DCCR)
- ✓ Defecto de curvatura de cara en las piezas aserradas de 100x100 (DCCR)

- ✓ Defecto de curvatura de canto en las piezas aserradas de 75x50 (DCCT)
- ✓ Defecto de curvatura de canto en las piezas aserradas de 100x100 (DCCT)
- ✓ Índice de rajadura de las trozas (IRT)

En el proceso de selección de las muestras se empleó el muestreo aleatorio simple buscando aumentar la precisión de las estimaciones y reducir los costos del levantamiento (Aldana *et al*, 2010 y Alvarez *et al*, (2017)), eligiéndose 100 árboles para determinar el número de unidades representativas para el estudio, teniendo como variable de interés el diámetro en las trozas a 1.30 m a la altura del pecho, así se emplea una población infinita  $(1-f) = 0,99 \geq 0,98$ , considerando un 10 % de límite del error admisible (LE) en la ecuación siguiente, según Nájera *et al.*, (2011) y Orosco *et al* (2016):

$$n = \frac{t^2 s_x^2}{E^2} \quad (1)$$

$$E = (LE * \bar{X}) \quad (2)$$

Dónde:

- ✓ n = Número de muestras;
- ✓ f = Fracción de muestreo;
- ✓  $t^2$  = estadígrafo t de student al cuadrado;
- ✓ LE = límite del error de muestreo admitido.

Se utilizó la metodología desarrollada por Leckocendzou (2012) y Najera *et al* (2011), para lo cual la muestra fue constituida por 200 trozas de 4.0m de longitud de cada especie que oscilan entre 21.0 y 30.0 cm de diámetro, este número fue dividido en grupos de 50 para aplicar los diferentes tratamientos que se describen a continuación (1, 2, 3,4, para el *Eucalyptus saligna* Smith (especie 1) y 5, 6, 7,8, para el *Eucalyptus pellita* F. Muell (especie 2):

- Tratamientos 1 y 5, trozas almacenadas con riego: Este tratamiento consiste en mantener las trozas sometidas a riego durante 4 veces al día, con el objetivo de garantizar un elevado gradiente de humedad en la madera para disminuir el efecto de las tensiones internas de crecimientos y a su vez hacer más fácil el aserrado de las trozas, según (Soares, 1998)
- Tratamientos 2 y 6, trozas almacenadas con anillo en los extremos: Consiste en hacer un anillo de 30.0 cm en cada extremo de las trozas, profundizando 1/3 del diámetro, teniendo en cuenta lo planteado por (Malan, 1979).
- Tratamientos 3 y 7: Patrón.
- Tratamientos 4 y 8, anillado de árboles en pie: Consiste en hacer un anillo de 30.0 cm de ancho a la altura del pecho (1.30 m), profundizando 1/3 del diámetro con el objetivo de cortar la circulación de la savia eliminando el cambium del árbol, hasta llegar a la profundidad deseada, para lo cual fue necesario esperar una razón de 3 meses.

En el desarrollo de los tratamientos se siguió de manera sistemática la cuantificación de las fendas o grietas producidas en las trozas debido a la liberación de tensiones de crecimiento en cuanto a longitud (LG), profundidad (PG), ancho (AG) y número (NG). Estos datos fueron procesados con las facilidades del sistema Microsoft Excel,

donde se determinaron las medias de cada uno de los parámetros cuantificados, así como el índice de rajado de las trozas (IRT), según el tratamiento y la especie, utilizando la metodología descrita por Lima (2000) y Beltrame *et al*, (2013), (Ecuación 3)

$$IR = 200 \left[ \frac{\sum_{i=1}^n a_i C_i}{\pi D^2} \right] \quad (3)$$

Donde:

IR= índice de rajadura de las trozas, %;

$a_i$  = abertura máxima de la rajadura ( $i = 1 \dots n$ ), cm;

$C_i$ = tamaño de la rajadura (medula-casca), cm;

D = diámetro medio de corte, cm.

También se calculó la variable conicidad en cada troza, teniendo en cuenta que estamos en presencia de uno de los principales defectos que inciden sobre la calidad de la madera aserrada; a partir de la siguiente fórmula matemática, según Alvarez *et al.*, (2013):

$$\alpha = \frac{db - dr}{l} \quad (4)$$

Dónde:

$\alpha$  - Conicidad

db- Diámetro en la base (cm).

dr- Diámetro en la rabiza (cm).

L - Longitud (m).

Las variables obtenidas fueron procesados mediante las técnicas multivariadas de Componentes Principales y Conglomerados, herramienta útil para conocer la relación existente entre las variables cuantitativas consideradas con el fin de saber cuáles variables están o no asociadas, cuales se caracterizan en el mismo sentido o en el sentido contrario, también permite seleccionar las variables cuantitativas más discriminatorias para limitar el número de mediciones en caracterizaciones posteriores, el Análisis de Conglomerados (empleando la distancia Euclidiana al cuadrado), método analítico que se aplica para clasificar las variables en grupos relativamente homogéneos con base en alguna similitud existente entre ella, las correlaciones de Pearson y análisis de varianza entre los tratamientos aplicados tomando como variable dependiente el IRT, utilizando el paquete estadístico Manitab.15.

## ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Las tablas I y II muestran las correlaciones (correlaciones de Pearson) existentes entre las variables analizadas para cada una de las especies, los valores superiores a 0,600 se consideraron como significativos estadísticamente ( $p \leq 0,05$ ), de ellos, los positivos muestran una relación estrecha y directa y los negativos una relación inversa.

**Tabla I.** Matriz de correlaciones para *Eucalyptus saligna* Smith (Especie 1).

Variables	NG	LG	DT	AG	IRT	PG	CT	DCCR 100x1 00	DCCT 100x1 00	DCCR 75x50
LG	<b>0.751</b>									
DT	<b>-0.642</b>	-0.418								
AG	<b>0.917</b>	<b>0.949</b>	-0.596							
IRT	<b>0.891</b>	<b>0.870</b>	-0.286	<b>0.916</b>						
PG	<b>0.685</b>	0.157	-0.123	0.384	<b>0.610</b>					
CT	-0.278	-0.239	<b>0.904</b>	-0.332	0.061	0.301				
DCCR 100x100	<b>0.878</b>	0.421	-0.361	<b>0.642</b>	<b>0.778</b>	<b>0.950</b>	0.072			
DCCT 100x100	<b>0.891</b>	0.546	-0.277	<b>0.718</b>	<b>0.876</b>	<b>0.913</b>	0.156	<b>0.980</b>		
DCCR 75x50	<b>0.996</b>	<b>0.686</b>	<b>-0.646</b>	<b>0.875</b>	<b>0.860</b>	<b>0.734</b>	-0.270	<b>0.909</b>	<b>0.906</b>	
DCCT 75x50	<b>0.973</b>	<b>0.619</b>	<b>-0.760</b>	<b>0.834</b>	<b>0.763</b>	<b>0.682</b>	-0.413	<b>0.867</b>	<b>0.835</b>	<b>0.984</b>

Correlaciones significativas a partir de 0.600 para  $p < 0.05$ .

**Tabla II.** Matriz de correlaciones para *Eucalyptus pellita* (Especie 2).

Variables	NG	LG	DT	AG	IRT	PG	CT	DCCR 100x1 00	DCCT 100x10 0	DCCR 75x50
LG	<b>0.969</b>									
DT	-0.461	-0.238								
AG	<b>0.952</b>	<b>0.849</b>	<b>-0.710</b>							
IRT	<b>0.790</b>	<b>0.641</b>	<b>-0.885</b>	<b>0.927</b>						
PG	-0.478	<b>-0.645</b>	-0.274	-0.267	-0.169					
CT	0.267	0.061	<b>-0.653</b>	0.456	0.430	<b>0.719</b>				
DCCR 100x100	0.591	0.511	<b>-0.695</b>	<b>0.692</b>	<b>0.861</b>	-0.460	-0.050			
DCCT 100x100	<b>0.640</b>	<b>0.655</b>	-0.383	<b>0.620</b>	<b>0.697</b>	<b>-0.768</b>	-0.346	<b>0.922</b>		
DCCR 75x50	<b>0.618</b>	0.569	<b>-0.600</b>	<b>0.679</b>	<b>0.819</b>	-0.574	-0.154	<b>0.991</b>	<b>0.965</b>	
DCCT 75x50	<b>0.826</b>	<b>0.731</b>	<b>-0.755</b>	<b>0.906</b>	<b>0.966</b>	-0.413	0.191	<b>0.932</b>	<b>0.854</b>	<b>0.922</b>

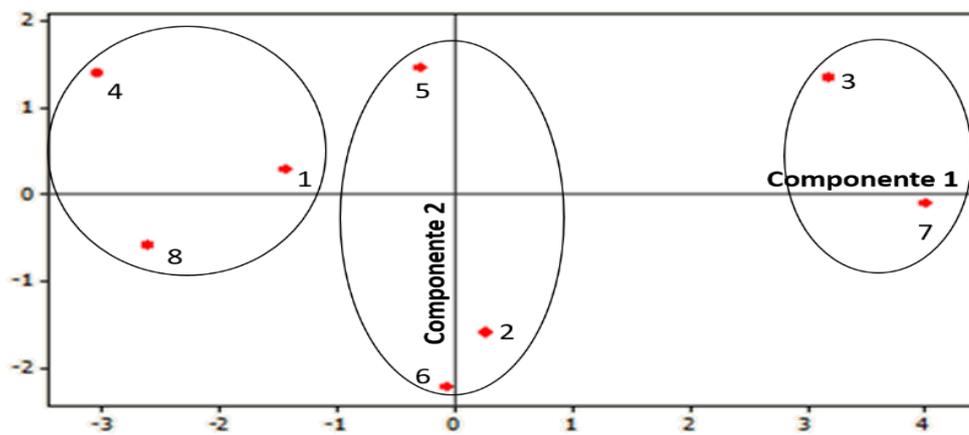
Correlaciones significativas a partir de 0.600 para  $p < 0.05$ .

Dada la importancia que se le atribuye a las interrelaciones establecidas entre el índice de rajadura y sus componentes, se puede destacar la existencia de correlaciones fuertes y positivas de éste con el número, longitud, ancho y profundidad de las grietas así como con los defectos de cara y canto en las piezas

aserradas de 100x100 y 75x50 mm, para la especie 1 y con el número, longitud, y ancho de las grietas así como con los defectos de cara y canto en las piezas aserradas de 100x100 y 75x50 mm, para la especie 2.

Destacándose en ambos casos la influencia de la variable (IRT) sobre los defectos de la madera aserrada de forma positiva y sobre el diámetro de forma negativa, componente que, al decir de otros autores, Álvarez *et al*, (2013), Vignote *et al*, (2014), ejerce la que mayor influencia sobre los mismos.

El porcentaje de contribución de las componentes fue alto, nótese que las dos primeras componentes explican un 75.5% de la variabilidad total de la muestra formándose tres agrupaciones que se muestran en la Figura 1 apreciándose además una gran dispersión en la ubicación de los tratamientos, que está dada por la gran variabilidad existente entre ellos.



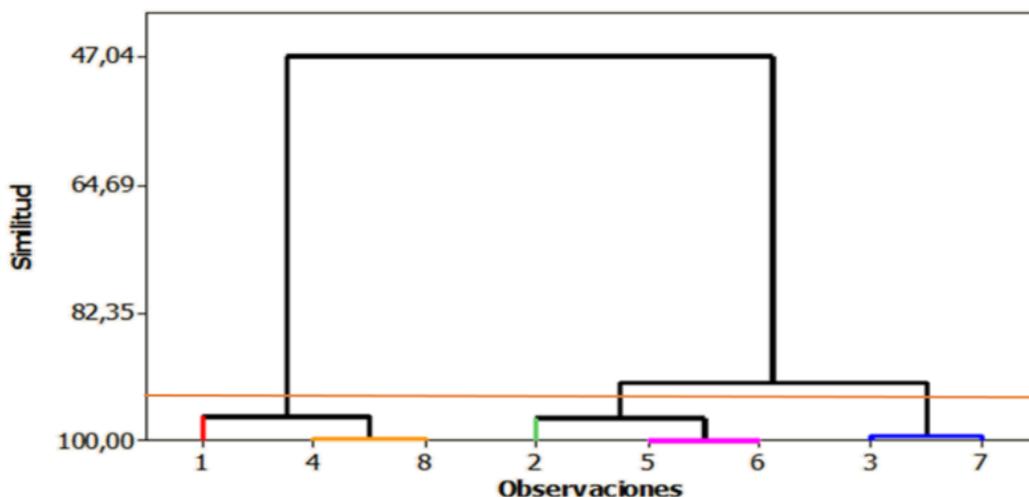
**Figura 1:** Distribución de los tratamientos para las dos primeras componentes.

El primer componente contribuyó con más del 57 % de la varianza total explicada. Las correlaciones con las variables originales indican que el número, la longitud, el ancho, el índice de rajadura y los defectos de cara y canto para ambas piezas fueron las variables que más aportaron en forma positiva. El segundo componente contribuyó con un 18 % de la varianza total explicada y las variables Diámetro, Conicidad y Profundidad, fueron las de mayor aporte de forma positiva. Esto indica la utilidad que pueden tener estas variables en la diferenciación de los tratamientos, por presentar los valores más altos de correlación con los ejes principales.

Estos tratamientos, refiriendo a algunos autores tales como, Lima *et al*, (2007), Trevisan (2010), Álvarez *et al*, (2013), han estado encaminados a reducir las tensiones internas de crecimientos y la obtención de madera aserrada de calidad.

Para corroborar los resultados obtenidos en los Componentes Principales para la clasificación de los tratamientos, se utilizó un Análisis de Conglomerados, atendiendo al criterio de incluir dentro de un mismo grupo aquellos que tengan características similares.

En la Figura 2, se expone el dendrograma correspondiente al Análisis de Conglomerados, en este caso se usó la técnica jerárquica ascendente para su construcción, creándose 3 grupos. Las medias por variables y los tratamientos correspondientes a cada clase aparecen en la Tabla III.



**Figura 2.** Dendrograma obtenido a partir del análisis de conglomerados

**Tabla III.** Distribución de los tratamientos y medias por grupos, según el Análisis Conglomerados.

Grupos	NG	LG	DT	AG	IRT	PG	CT	DCCR	DCCT	DCCR	DCCT
								100x100	100x100	75x50	75x50
1	2.46	24.88	25.9	0.05	0.24	4.54	1.67	1.10	0.74	1.35	0.94
2	7.23	47.12	24.21	0.12	0.32	4.59	1.61	1.31	0.89	2.08	1.44
3	9.28	60.78	25.73	0.18	0.52	4.81	1.68	2.03	1.84	4.43	2.22
Grupos	Tratamientos									EFECTIVOS	
1	1,4,8 (Trozas almacenadas con riego, árboles anillados en pie).									3	
2	2,5,6 (Trozas almacenadas con riego, trozas con anillos en los extremos).									3	
3	3,7 (Testigos)									2	

El grupo1 está integrado por los tratamientos de las trozas almacenadas con riego para la especie 1 y los árboles anillados en pie para la especie 1 y 2, la cual presentó los valores más pequeños en cuanto a número, longitud, ancho y profundidad de las grietas, aunque presenta el mayor valor de diámetro y los valores más pequeños en los defectos de cara y canto de las piezas aserradas y de índice de rajadura por lo que estamos en presencia de los tratamientos más efectivos en cuanto a la reducción de las tensiones de crecimientos para ambas especies .

Las tozas almacenadas con riego para la especie 2 y las trozas con anillos en los extremos para las especies 1 y 2 se ubicaron en el grupo 2, donde a pesar de obtener valores superiores a los del grupo 1 se manifiestan muy inferiores a los del grupo 3 que relaciona los testigos para ambas especies por lo que teniendo en cuenta estos resultados podemos considerar que los mismos también pueden ser aplicados para reducir las tensiones internas de crecimientos para ambas especies.

En la Tabla III se reflejan los valores medios del IRT calculados en los tratamientos aplicados los que son inferiores a los registrados en estudios realizados por Lima (2005) en plantaciones de *E. grandis* de 21 años de edad en rollizos de 3.0 metros de longitud a partir de 1.7 metros de altura, donde los valores promedios variaron entre 0.67% y 0.87% según tratamiento silvicultural aplicado.

Entretanto, Lima *et al.* (2007), obtuvo valores de 0.89, 0.74 y 0.79% en aprovechamientos de *E. grandis* de 21 años de edad que sufrieron diferentes intensidades de tala, así mismo en esta propia especie se encontraron valores por Trevisan (2010), que varían entre 1.1 y 1.6%. Sin embargo, en estudios realizados en diferentes clones de *Eucalyptus sp* por Beltrame *et al.* (2015), el valor promedio obtenido es de 0.46% aunque en alguno de ellos los resultados fueron entre 0.14 y 0.34, similares a los obtenidos en el presente trabajo.

## CONCLUSIONES

Los tratamientos utilizados posibilitan la reducción de las tensiones internas de crecimientos en la madera de *Eucalyptus pellita* F. Muell y *Eucalyptus saligna* Smith, resaltando los mejores resultados en los tratamientos de trozas almacenadas con riego para el *Eucalyptus saligna* y árboles anillados en pie para las dos especies investigadas; obteniendo una materia prima que posibilita aumentar la calidad de la madera aserrada producida y a su vez diversificar las aplicaciones de la madera maciza de ambas especies.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALDANA, E. 2010. Ordenación de Montes. Editorial Félix Varela. 382 p.
- ALVAREZ, D. A., BETANCOURT, Y. GONZALEZ, I. Tecnología de la Madera. Editora Félix Varela. La Habana, Cuba. 285 p. 2013.
- ALVAREZ, D., ESTEVES, I., EGAS, A. F.; PACHECO, A. 2017. Revista Ambiente, v.1, n. 1, p. 2-10.
- BELTRAME, R; B. MATTOS; C. HASELEIN; E. SANTINI; D. GATTO; P. CADEMARTORI Y C. PEDRAZZI. 2013. "Validación de las deformaciones residuales longitudinales de la madera de *Eucalyptus saligna* Smith". Scientia Forestalis. Piracicaba.v.47, n. 97, p.95-101.
- BELTRAME; MATHEUS LEMOS DE PERES; MARÍLIA LAZAROTTO; DARCI ALBERTO GATTO; EDUARDO SCHNEID; CLOVIS ROBERTO HASELEIN. Piracicaba. Scientia Forestalis. v. 43, n. 105, 2015.
- DEL MENEZZI, C.H.S; NAHUZ, M.A.R. Y SOUZA, M.R. 1998. Consecuencias de las tensiones de crecimiento en la producción de madera aserrada de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden y de *E. cloeziana* F. Muell. Primer Congreso Latinoamericano de IUFRO. Valdivia. Chile. IUFRO CD-Rom.
- FERRAND, J.C. 1982. Study of growth stresses. 1. Measurement by means of increment cores. Annales des Sciences Forestieres. 39 (2). pp: 109-142.
- GONZÁLEZ, D. P. Estimación de las tensiones de crecimiento en individuos selectos de *Eucalyptus camaldulensis* mediante extensómetro e índice de rajado Revista de Ciencias Forestales – Quebracho, 2014, 22 (1,2).
- LECKOUNDZOU, A. Utilización de variables dendrométricas para predecir los rendimientos de madera aserrada de árboles en pie de *Pinus caribaea* var. *Caribaea*.

Tese, 2012, 100 p (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidad de Pinar del Río, Cuba.

LIMA, I. L. Variação de propriedades indicativas da tensão de crescimento em função da posição na árvore e da intensidade de desbaste. 2000. 90 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agronomia “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

LIMA, I. L.; GARCIA, J. N.; NOGUEIRA, M. C. S. Influência do desbaste nas tensões de crescimento de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden. Scientia Forestalis, Piracicaba, n. 58, p. 111-125, 2005.

LIMA, J. T.; SARTÓRIO, R. C.; TRUGILHO, P. F.; CRUZ, C. R.; VIEIRA, R. S. Uso do resistógrafo para estimar a densidade básica e a resistência à perfuração da madeira de *Eucalyptus*. Scientia Forestalis, Piracicaba, n. 75, p. 85-93, 2007.

MALAN, F. S. The control of end Splinting in Sawlogs. A Short Literature Review, Suid – Afrikaanse Bosboutydskrif, n.º109 – Junie. 1979.

NAJERA, J., AGUIERRE, O. A., TREVIÑO, E., JIMENEZ, J., JURADO., CORRAL., VARGAS, B. Tiempos y rendimientos del aserrío en la región de El Salto, Durango, México. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 17(2): 199-213, 2011.

SOARES, C.H. Y N.A RABELO. Técnicas de desdobro utilizadas para madeira de Eucaliptos. Umarevisao de literatura. Visçosa Minas Gerais Brazil. 1998.

TREVISAN, R. Efeito do desbaste nos parâmetros dendrométricos e na qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. 2010. 174 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.