

## EFICIÊNCIA DE COLAGEM DE MADEIRA LAMELADA COLADA COM EUCALIPTO (CLASSE D30) E RESINA FENÓLICA

## BONDING EFFICIENCY OF GLULAM WITH EUCALYPTUS WOOD (CLASS D30) AND PHENOLIC ADHESIVE

CÓDIGO: 4619429

Bianchi, Natália<sup>1</sup>; Molina, Julio Cesar<sup>1</sup>; Barros Oliveira, Carolina Aparecida<sup>2</sup>; Oliveira, Karina Aparecida<sup>1</sup>; Dutra Lisboa, Felipe<sup>1</sup>

<sup>1</sup>UNESP - Universidade Estadual Paulista, Brazil ;

<sup>2</sup>Universidade Estadual Paulista, Brazil

### Resumen

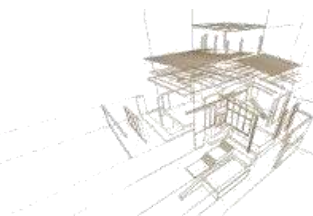
Este estudio evaluó la eficiencia de pegado de vigas de madera laminada encolada con eucalipto (clase D30) y adhesivo fenólico Cascophen RS-2016-M a través de ensayos de delaminación y de resistencia al cizallamiento de la línea de cola. Se han confeccionado vigas con dimensiones de 5 cm x 10 cm x 120 cm con láminas de 2 cm de espesor. Se utilizó el método de ensayo ABNT NBR PN 02: 126.10-001-5, propuesto por el proyecto de revisión ABNT NBR 7190:2013 considerando los cuerpos de prueba estandarizados de 5 cm x 10 cm x 7,50 cm. El porcentaje de delaminación media obtenida fue de 0,64%, mostrando que la combinación probada presentó límite aceptable menor al 6%, conforme sugerido por el proyecto de norma ABNT NBR PN 02: 126,10-001-5. Para la resistencia al cizallamiento en la línea de cola, las muestras presentaron un valor medio de resistencia igual a 8,56 MPa, con 87,69% de ruptura en la madera. La resistencia al cizallamiento en cada una de las cuatro líneas de cola no difiere entre sí.

*Palabras-clave: MLC, delaminación, resistencia al cizallamiento en la línea de cola.*

### Abstract

This study evaluated the bonding efficiency of glulam with eucalyptus wood (which class is D30) and phenolic adhesive Cascophen RS-2016-M through delamination and shear strength tests of the glue line. Beams with dimensions 5 cm x 10 cm x 120 cm were made with 2 cm thick lamellae. The test method ABNT NBR PN 02: 126.10-001-5, proposed by the review project ABNT NBR 7190:2013, was used as a guide, considering standard specimens measuring 5 cm x 10 cm x 7.5 cm. The mean percentage of delamination obtained was approximately 0,64%, showing that the tested combination had an acceptable limit of less than 6%, as suggested by the ABNT NBR PN 02: 126.10-001-5. For the shear strength in the glue line, the samples had an average resistance value of 8.56 MPa, with 87,69% of the wood breaking. The shear strength in each of the four glue lines does not differ from each other.

*Keywords: glued laminated timber, glue line's delamination, glue line's shearing.*



## 1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento brasileño en el área de la construcción ha estado considerando diferentes subproductos de la madera en soluciones estructurales, como la madera lamelada encolada (MLC). Esto se debe a que el MLC se adapta a una variedad de formas y es altamente resistente a las tensiones mecánicas debido a su peso relativamente bajo. Además, los elementos estructurales en este caso exhiben una reducción en las grietas y otros defectos propios en comparación con grandes piezas de madera masivas, ya que todas las láminas se someten a un proceso de clasificación mecánica y visual antes de la composición final de la viga. Por lo tanto, MLC es una alternativa prometedora en el mercado de la construcción brasileña y las industrias están buscando mejoras en la calidad de sus productos a través de las especies de madera utilizadas, el tipo de adhesivo y el proceso de fabricación.

Nogueira (2017) afirma que los procedimientos del proyecto estándar brasileño arrojaron buenos resultados y fueron más prácticos que el método canadiense debido al menor tiempo requerido para realizar el ensayo, presentando una diferencia total en el tiempo de 11 días entre los dos tipos de procedimiento

El propósito de este proyecto fue evaluar la eficiencia de la unión de eucalipto con fenol utilizando el método de prueba ABNT NBR PN 02.126.10-001-5 propuesto por el proyecto de revisión de resistencia a la cizalladura brasileña ABNT NBR 7190: 2013 para pegamento y delaminación en muestras de MLC. Por lo tanto, se espera que contribuya al control de calidad de las industrias productoras de MLC y promueva un mayor uso del producto en el país.

### 1.1. Delaminación de la línea de cola

Según el método de prueba ABNT NBR PN 02.126.10-001-5, el porcentaje de delaminación total para las muestras se calcula a partir de la Ecuación 1.

$$D_t = \frac{L_a}{L_t} \cdot 100 \quad (1)$$

de donde:

$D_t$  es la delaminación total [%];

$L_a$  es la suma de la longitud de la apertura de todas las líneas de cola de las caras transversales [mm];

$L_t$  es la longitud total de todas las líneas de cola de las caras de sección transversal [mm].

### 1.2. Resistencia al cizallamiento de la línea de cola

La resistencia al cizallamiento de la línea de cola según el método de prueba brasileño propuesto se obtiene de la Ecuación 2.

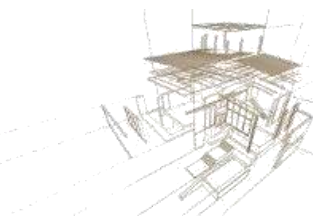
$$f_{v0} = \frac{F(v0,max)}{b \cdot t} \quad (2)$$

de donde:

$f_{v0}$  es la resistencia al corte paralela a las fibras de madera [MPa];

$F(v0,max)$  es la fuerza de corte máxima aplicada a la muestra [N];

$b$  es el ancho de la muestra [mm];  $t$  es la altura de la muestra [mm].



## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Preparación de las lamelas y muestras de caracterización

Se utilizaron elementos estructurales de madera de eucalipto (D30) de 6cm x 16cm x 300cm para obtener las muestras de caracterización con dimensiones estandarizadas por ABNT NBR 7190: 1997, Anexo B, así como para obtener las láminas componentes vigas. De cada elemento, se tomaron 10 láminas de 120cm x 5cm x 2cm de dimensiones, 3 muestras para prueba de resistencia a la compresión, 03 para prueba de resistencia al corte y 6 muestras para humedad y densidad aparente. Después las muestras se secaron para alcanzar un rango de humedad de  $12 \pm 1\%$ . Después de alcanzar una humedad del 12%, las muestras de caracterización y las lamelas se depositaron en bolsas de plástico y se colocaron en un ambiente controlado de temperatura y humedad para mantener las condiciones adecuadas hasta las pruebas de caracterización y la posterior unión de los haces de MLC. Además de la caracterización, se realizó una clasificación visual y mecánica (a través de una prueba de flexión estática para obtener la rigidez del material). A partir de los valores obtenidos en las pruebas de caracterización, se realizaron 6 haces MLC, considerando las láminas con mayor resistencia y rigidez en los extremos de los haces MLC. Las vigas se presionaron durante 24 h en una prensa de piso, y luego se tomaron muestras de 10 cm x 7,5 cm x 5 cm para la delaminación de la línea de cola y la prueba de resistencia al corte.

### 2.2. Delaminación de la línea de cola

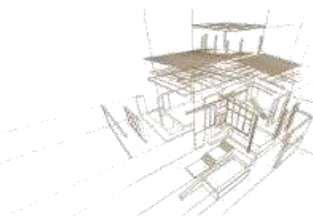
Para determinar la delaminación de la línea de cola, el borrador del estándar ABNT NBR PN 02: 126.10-001-5 las muestras se insertaron en la autoclave y se sumergieron en agua a una temperatura de 10°C a 20°C y luego se aplicó un vacío de 75 kPa por 30 minutos. Posteriormente, las muestras permanecieron sometidas durante un período de 2 horas a una presión de 550 kPa.

Al final del ciclo de vacío-presión, las muestras se secaron al horno, donde permanecieron hasta que la masa de la muestra alcanza el 100% al 110% de la masa inicial. La temperatura interna del invernadero fue de 70°C en este caso. Dentro del invernadero, el flujo de aire era de 3 m / y la humedad relativa de alrededor del 8% (controlado por bulbo húmedo).

El análisis de la abertura de la línea de cola se realizó midiendo las líneas de cola de las caras cortadas de la muestra tomada del haz MLC, sin tener en cuenta la delaminación de la línea de cola en el lado de las muestras. Por lo tanto, la suma de las aberturas de la línea de cola consideradas para calcular el porcentaje de delaminación fue la correspondiente a la suma de las líneas de cola (longitud total) medida antes de las pruebas de vacío y presión en autoclave. Se probaron siete muestras por elemento MLC. La Figura 1 muestra el equipo (autoclave) hecho especialmente para esta investigación para los ensayos restantes.



Figura 1: Autoclave para ensayo de delaminación de línea de cola



### 2.3. Ensayo de resistencia al cizallamiento de la línea de cola

De acuerdo con el proyecto de norma PN 02: 126.10-001-5, para determinar las resistencias al corte de las líneas de cola, se midieron las alturas ( $t$ ) y los anchos ( $b$ ) de las muestras, y se usó la Ecuación 2. Luego, las muestras se colocaron en el dispositivo de metal y se sometieron a una carga a una velocidad de prueba constante, de modo que se produjo una falla en la línea de cola al menos 20s.

También se utilizó la máquina de prueba universal EMIC de 300 kN junto con el dispositivo de prueba metálico hecho especialmente para esta investigación. Se analizaron cuatro muestras por elemento MLC. La figura 2 muestra los detalles de la prueba de corte de la línea de cola.



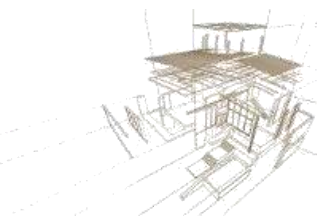
*Figura 2: Dispositivo de ensayo de cizallamiento en la línea de cola*

Para cuantificar el porcentaje de disrupción en madera o pegamento, el grupo UNESP/Itapeva MLC desarrolló un *software* “GLT Analysis” en lenguaje de programación Phyton, capaz de leer imágenes de las regiones alteradas y determinar este porcentaje de disrupción en madera y en la línea de cola.

## 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 3.1. Delaminación de la línea de cola

La Tabla 1 presenta los resultados promedio obtenidos para la delaminación de las muestras de cada uno de las vigas de MLC.



*Tabla 1: Resultados promedio de delaminación para las muestras*

Viga	Línea total (mm)	Delaminación (mm)	Delaminación (%)
1	348,01	0,00	0,00
2	360,58	1,54	0,43
3	359,26	4,90	1,37
4	359,65	4,43	1,23
5	350,24	0,00	0,00
6	347,86	2,74	0,79
<b>Promedio</b>	<b>354,27</b>	<b>2,27</b>	<b>0,64</b>

Las muestras analizadas presentaron un porcentaje de delaminación promedio aceptable de acuerdo con el borrador de la norma ABNT NBR PN 02: 126.10-0001-5 (basado en EN 14080: 2013), cuyo límite es del 6% para maderas duras.

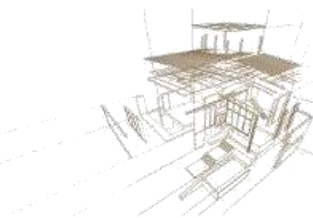
### 3.2. Resistencia al cizallamiento da línea de cola

La Tabla 2 presenta los resultados promedio obtenidos para la resistencia al cizallamiento de las muestras de cada una de las vigas de MLC.

*Tabla 2: Resultados promedio de la resistencia al corte de la línea de cola para muestras*

Viga	Resistencia al cizallamiento de la línea de cola (MPa)			
	Línea de cola 1	Línea de cola 2	Línea de cola 3	Línea de cola 4
1	11,75	10,48	2,50	11,25
2	11,75	10,48	2,50	11,25
3	7,61	9,33	8,00	7,78
4	10,16	8,39	8,26	7,24
5	8,53	9,10	7,93	8,25
6	8,05	8,85	6,57	9,37
<b>Promedio</b>	<b>9,64</b>	<b>9,44</b>	<b>5,96</b>	<b>9,19</b>

Fue posible verificar que las líneas más extremas de las muestras, en términos de valores promedio, presentaron una mayor resistencia al corte. Es de destacar que las láminas utilizadas más adentro de las vigas tenían valores más bajos de resistencia y rigidez, además de una clasificación visual más baja. Nogueira (2017) afirma que las líneas centrales de las muestras son aquellas a las que se debe prestar mayor atención debido a la alta concentración de tensiones de



corte. Sin embargo, el valor de corte es bajo en comparación con los valores normales de tensión en los extremos de la viga.

En la prueba de caracterización relativa a la resistencia al corte paralela a las fibras de madera de eucalipto, el valor promedio al 12% de humedad fue de 7.96 MPa. En promedio, los resultados promedio de resistencia al corte de la línea de pegamento encontrados en la Tabla 2 fueron más altos que el valor promedio de corte de madera obtenido en la caracterización, lo que se debe a la unión eficiente.

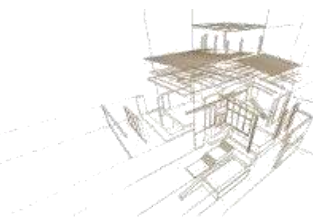
A partir del uso del software desarrollado especialmente para este trabajo, se determinó que, en promedio, las muestras se rompieron 87.69% en la madera, lo que indica una alta eficiencia de unión. La Figura 3 ilustra el modo de ruptura de algunas de las líneas de pegamento, siendo las regiones oscuras las que están rotas en la línea de pegamento y las regiones más claras quebradas en la madera..



*Figura 3: Modos de falla obtenidos en las pruebas de corte de la línea de cola*

#### **4. CONCLUSIONES**

Fue posible verificar que la combinación de eucalipto y resina fenólica presentara resultados de delaminación aceptables, inferiores al 6%, según lo establecido por el proyecto de norma PN 02: 126.10-0001-5. Con respecto a la prueba de resistencia al corte de la línea de cola, se encontró un alto porcentaje de rotura en la madera, además de la resistencia al corte de la línea de cola más alta que la encontrada en las pruebas de caracterización. En general, la combinación de eucalipto y resina fenólica tiene una buena eficacia de unión.



## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a CAPES por el apoyo financiero y al asesor Julio César Molina por todo el apoyo teórico a la investigación.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

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

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013). Projeto de estruturas de madeira. CB-02 2º PN revisão ABNT NBR 7190. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013). Madeiras – Critérios de classificação visual e mecânica de peças estruturais de madeira de florestas plantadas. PN 02:126.10-001-1. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013). Madeira laminada colada estrutural: métodos de ensaio. PN 02:126.10-0001-5. Rio de Janeiro.

Nogueira, R.S. (2017). Proposta de um método de ensaio para controle de qualidade na produção de elementos estruturais de MLC e de LVL. MSc. Dissertação, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.