

Rev. Cienc. Tecnol.

Año 7 / Nº 7b / 2005 / 42-48

FABRICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE TABLERO COMPENSADO CON ADHESIVO POLIURETANO A BASE DE ACEITE DE RICINO

¹Dias, F. M.; ²Rocco Lahr, F. A.

¹Universidade de São Paulo, Interunidades em Ciências e Engenharia de Materiais. Av. Trabalhador São-carlense, 400, Centro, 13566-590, São Carlos, São Paulo, Brasil. E-mail: fmdias@sc.usp.br

²Universidade de São Paulo, EESC-SET. São Carlos, São Paulo, Brasil. E-mail: frocco@sc.usp.br

MANUFACTURE AND CHARACTERIZATION OF PLYWOOD WITH ADHESIVE POLYURETHANE BASED ON CASTOR-OIL

ABSTRACT

Wood based products are developed with the objective of substituting solid wood in various applications such as plywood. Plywood normally is produced using adhesive phenol-formaldehyde. In this paper, a study about plywood manufactured with polyurethane adhesive based on castor oil and species of reforested *Eucalyptus grandis* tree is presented. The performance of the plywood was evaluated from the results of physical-mechanical rehearsals proposed by the Brazilian Association of Technical Norms-ABNT. The results indicate that castor oil-based polyurethane adhesive is suitable for the production of plywood.

KEYWORDS: plywood; polyurethane adhesive based on castor oil; physical-mechanical properties.

RESUMEN

Los productos derivados de madera son desarrollados con el objetivo de sustituir la madera sólida en sus variadas aplicaciones. Entre esos productos resalta el tablero de madera contraplacada, que presenta su utilización establecida en la industria de muebles y de la construcción civil. En el proceso de fabricación de ese tablero se utiliza adhesivos. Un adhesivo alternativo oriundo de recurso natural y renovable, el poliuretano a base de ricino, desarrollado por el Instituto de Química de São Carlos-USP, presenta la característica de no agresividad al medio ambiente y al ser humano. Así que este trabajo presenta un estudio sobre la utilización del adhesivo poliuretano a base de ricino, en la producción de tableros compensados, con láminas de la especie de forestación *Eucalyptus grandis*. La eficiencia del adhesivo fue evaluada por ensayos físico-mecánicos, presentados por la Asociación Brasileña de Normas Técnicas-ABNT. Los resultados indican que el adhesivo poliuretano a base de ricino es una alternativa viable para la producción de tableros de madera contraplacada.

PALABRAS CLAVES: tableros compensados; adhesivo poliuretano a base de ricino; propiedades físico-mecánicas.

INTRODUCCIÓN

La ventaja de los productos a base de madera se refiere al provecho de las propiedades de la madera, con la mejoría de tales cualidades resultantes de la aplicación de estudios de la ciencia de los materiales y de tecnología. Entre esos productos resalta el tablero compensado, que presenta un consumo ascendente en todo el mundo, incluso en Brasil.

En el proceso de fabricación de este tablero, se utiliza adhesivos que determinan la utilización final de ese producto. De los adhesivos existentes en el mercado, el fenol-formaldehído es un adhesivo sintético, bastante utilizado para este fin, pero presenta algunos factores negativos, tales como alto consumo de energía, por necesitar de altas temperaturas para la cura (130 a 160° C), alto precio del fenol, cuya materia prima es el petróleo y la toxicidad, lo que acarrea daño ambiental.

Un adhesivo alternativo oriundo de recurso natural y renovable, el poliuretano a base de ricino, es clasificado como impermeable, presenta la característica de no agresividad al medio ambiente y al ser humano y representa una tecnología brasileña. Su cura es procesada con temperatura ambiente, y puede ser acelerada con temperatura de 60 a 90° C y se juzga que, puesta en amplia escala en el mercado, podrá alcanzar precios muy satisfactorios.

Guss [1] cita algunos factores prácticos que llevan al uso preferencial de esos productos: confiabilidad del material; estabilidad de las piezas: posibilidad de confección de piezas cuyas dimensiones no son encontradas en madera sólida; uso en aplicaciones modernas y complejas, con baja relación costo/eficiencia, y aprovechamiento significativo de la madera.

Los tableros compensados pueden clasificarse como hechos a partir de láminas, partículas o fibras. Entre los productos obtenidos desde láminas, resultan los tableros compensados.

Los tableros compensados son compuestos de láminas de madera, encoladas entre ellas, ordenadas unas sobre las otras, con las fibras cruzadas perpendicularmente, conforme presentado en la Figura 1. Este procedimiento, llamado de laminación cruzada, confiere a la chapa buenos valores de rigidez, resistencia mecánica y estabilidad dimensional. Según Maloney [2], las láminas pueden ser provenientes de las coníferas (*softwood plywood*) o de las dicotiledóneas (*hardwood plywood*).

Los adhesivos tradicionales existentes en el mercado consumidor son, actualmente, los componentes más caros para fabricación de esos tableros, además de presentar riesgos a la salud, a causa de su toxicidad. Esa es la ra-

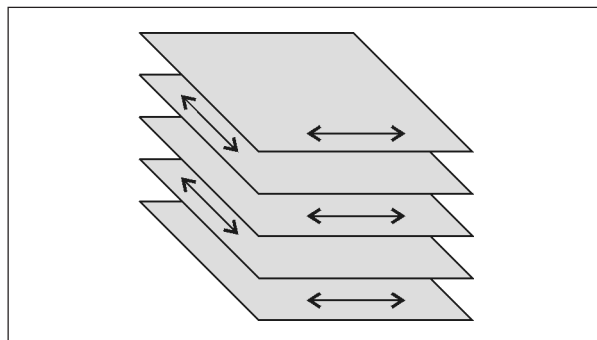


FIGURA 1. Posición de las láminas de contraplacado.

zón que justifica la conducción de investigaciones en el sentido de encontrarse substitutos de igual calidad y desempeño, teniendo como base materia prima a partir de fuentes naturales renovables. En este contexto, según Jesus [3], el adhesivo poliuretano a base de aceite de ricino, presenta características satisfactorias. Este adhesivo fue desarrollado en el Instituto de Química de São Carlos, de la Universidad de São Paulo.

Ante lo expuesto, este trabajo tiene los objetivos de:

- Presentar los valores de algunas propiedades físicas y mecánicas de chapas de madera contraplacada, fabricadas con el adhesivo poliuretano a base de ricino, siguiendo las recomendaciones de los documentos normativos de ABNT.

- Evaluar el desempeño de las chapas producidas por comparación de valores de propiedades de las chapas tradicionales, encontradas en la literatura.

Adhesivos tradicionales utilizados en la fabricación de tableros compensados

Según Keinert Jr. [4], el tablero compensado es producido bajo dos principales especificaciones: a) para uso interno, con coladura a base de resina de urea-formaldehído, y es empleado básicamente en la industria de muebles; b) para uso externo, con coladura a base de resina fenol-formaldehído, siendo normalmente utilizado en la construcción civil.

Los adhesivos de urea-formaldehído, de acuerdo con Peterson [5] y Samlaic [6], poseen un serio inconveniente a causa de la emanación de formaldehído y su empleo es problemático en países donde el control ambiental es riguroso. El adhesivo fenol-formaldehído es formado a partir resinas fenólicas sintéticas. Uno de los factores negativos es el alto costo del fenol, cuya materia prima es el petróleo. Este adhesivo necesita de alta temperatura para la cura, variando de 130 a 160° C.

Adhesivo poliuretano a base de ricino - propuesta de este estudio

Conocida internacionalmente como "Castor Oil" y en Brasil por Caturra, el ricino (*Ricinus communis*) es una planta de la familia de las euforbiáceas, de donde es extraído el aceite de ricino. Según Araújo [7] y Jesus [3], es fácilmente encontrada en la mayoría de las regiones del país, principalmente en estado nativo.

A partir de este recurso natural y renovable es posible sintetizar dos compuestos químicos, polioliol y prepolímero, con diferentes características que cuando mezclados, originan un poliuretano. Tienen gran versatilidad de la aplicación con propiedades superiores a los polímeros derivados de petróleo. Su competitividad en relación a los otros polímeros, además de las propiedades mecánicas se debe, básicamente, a otros dos factores: polímero originario de materia prima natural y renovable y a los precios razonables de los diisocianatos disponibles en el país [6].

Claro Neto [8], ha caracterizado las propiedades físico-mecánicas de un polímero poliuretano a base de aceite de ricino. Las propiedades químicas estudiadas, tuvieron el objetivo de caracterizar a los grupos orgánicos funcionales que están presentes en los componentes polioliol-prepolímero que reaccionan durante la preparación del poliuretano. El poliuretano derivado de aceite de ricino fue desarrollado para ser utilizado como material para implantes óseos en medicina.

Con el objetivo de ampliar la aplicación de este producto, Jesus [3] presentó un estudio del comportamiento del adhesivo poliuretano a base de ricino, para el empleo en madera laminada Encolada (MLE) con especies de forestación de los géneros *Eucalyptus* y *Pinus*. La eficiencia del adhesivo fue evaluada por los ensayos mecánicos de resistencia al cizallamiento, tracción normal y tracción paralela a las fibras. El resultado presentado por el autor demuestra que el adhesivo a base de ricino es una buena alternativa para la utilización tecnológica de la madera MLE.

El adhesivo poliuretano a base de ricino es del tipo bicomponente, el polioliol B1640 y el pre-polímero A249, de cura en frío, que puede ser acelerada con temperatura hasta 90° C. Este factor es de extrema importancia, una vez que habrá economía en la producción del tablero compensado fabricado con adhesivo poliuretano a base de ricino, en comparación al producido con fenol-formaldehído.

Especificaciones para el tablero compensado

La Asociación Brasileña de Normas Técnicas-ABNT, presenta documentos normativos que especifican las di-

mensiones, sus tolerancias y las condiciones a ser seguidas para clasificación de los tableros de compensado.

NBR 9531/85 [9]: "Tableros compensados-clasificación", cualifica los tableros en cuanto al local de utilización, por medio de tres tipos básicos: IR (interior), IM (intermedio) y EX (exterior).

En el tablero IR es usado adhesivo no resistente al agua, y su utilización ocurre en locales protegidos de la acción del agua o de alta humedad relativa. La chapa tipo IM es destinada a la utilización interna, pero en ambiente de alta humedad relativa, que puede, eventualmente, recibir la acción de agua. La chapa EX es destinada al uso externo o en ambientes cerrados, donde es sometida a repetidos ciclos de humectación y secadura, o acción de agua.

La NBR 9532/86 [10]: "Tableros compensados-especificaciones", establece las características geométricas, tales como, montaje, dimensiones, forma, espesores y sus tolerancias, y otras condiciones que deben de ser obedecidas por cada tipo de tablero. Según esta norma, los tableros compensados deben cumplir las siguientes especificaciones:

Tablero compensado de uso general-GER: tableros compensados clasificados genéricamente como IR.

Molde de concreto-FOR: Tableros clasificados genéricamente como EX. Este tipo de tablero debe presentar un módulo de elasticidad mínimo de 4000 N/mm².

Decorativo: son tableros compensados clasificados genéricamente como IM.

Industrial-IND: son tableros compensados, clasificadas genéricamente como EX.

Naval-NAV: son tableros compensados, clasificados genéricamente como EX. Este tipo de tablero debe presentar un módulo de elasticidad mínimo de 6000 N/mm².

Listonado-SAR: son tableros compensados, clasificados genéricamente como IR, donde el miollo es constituido por listones (tabla de madera) con ancho máximo de 40mm.

MATERIALES Y MÉTODOS

Fabricación de los tableros compensados

Los tableros compensados fueron fabricados en el Laboratorio de Maderas y de Estructuras de Madera, del Departamento de Ingeniería de Estructuras de la Escuela de Ingeniería de São Carlos, de la Universidad de São Paulo.

Las láminas de madera fueron secadas en estufas, con temperatura de 103°C, hasta que alcanzaran un contenido de humedad entre 4 a 6%.

Se ha aplicado el adhesivo poliuretano a base de ricino con pinceles, manteniéndose la uniformidad de la distribución del adhesivo en la superficie de la lámina, como se presenta en la Figura 2. Se adoptó aplicar el adhesivo en línea simple, donde las láminas recibieron la camada de pegamento en una de las superficies. La gramatiquería, cantidad de adhesivo que será aplicado por área, fue de 250 g/m².



FIGURA 2. Aplicación de adhesivo poliuretano a base de ricino en las láminas de madera.

Tras la aplicación del adhesivo, las láminas de madera fueron colocadas ortogonalmente unas sobre las otras. En seguida se colocaron las láminas en la prensa hidráulica, donde la prensadura fue aplicada por 10 min. La presión aplicada fue de 12 daN/cm², con temperatura de prensado de 60° C para acelerar la cura del adhesivo. El proceso de prensado para los tableros se presenta en la Figura 3.

Tras el prensado se esperó el resfriamiento de la prensa y se ha retirado la tablero, manteniéndola en posición vertical. Se esperó el periodo de dos semanas para uniformizar la adhesión y se retiraron los cuerpos de prueba.

Las tableros compensados fueron fabricados con siete láminas obtenidas de la especie *Eucalyptus grandis*, con 2 mm de espesor nominal. Fueron fabricadas cuatro cha-

pas de espesor nominal de 14 mm y área de 60 x 60 cm. De esas chapas extrajeron treinta y dos cuerpos de prueba para caracterización, siendo dieciséis para módulos de resistencia y elasticidad y dieciséis para masa específica aparente y humedad.



FIGURA 3. Prensadura de las chapas de madera contraplacada.

Equipos utilizados para la fabricación de las chapas

Los equipos utilizados en la fabricación y caracterización de las chapas fueron: prensa hidráulica, estufa, balanza digital y máquina universal de ensayos.

Experimentación

Para la obtención del contenido de humedad, NBR 9584/85 [11], cada cuerpo de prueba fue pesado y, en seguida, secado en estufa a 103 ± 2° C, hasta masa constante. El contenido de humedad fue obtenido de la Ecuación (1).

$$TU = \frac{M_u - M_s}{M_s} \cdot 100 \quad (1)$$

Donde: TU=contenido de humedad, en %; M_u y M_s =masa húmeda y masa seca del cuerpo de prueba, en g.

Para la obtención de la masa específica aparente, NBR 9485/85 [12], se utilizó la Ecuación (2). Las dimensiones nominales de esos cuerpos de prueba son de 100 x 50 x 14mm.

$$Mea = \frac{M}{C \cdot l \cdot e} \quad (2)$$

Donde: Mea=masa específica aparente en g/cm³; M=masa del cuerpo de prueba, en g; C, l, e=largo, ancho y espesor del cuerpo de prueba en cm.

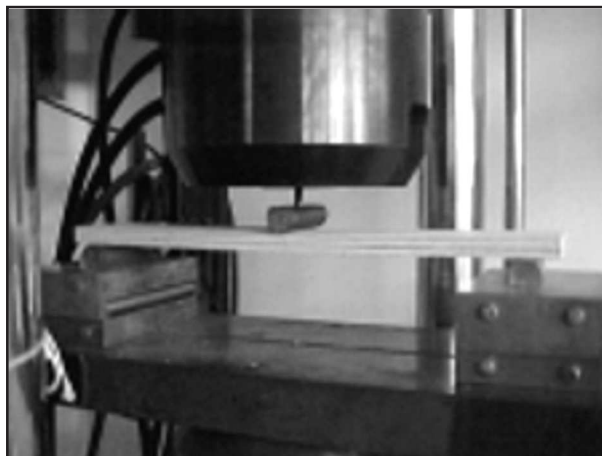
Para el ensayo de flexión estática, la NBR 9533/86 [13] determina que la máquina de ensayo sea constituida esencialmente de: dos soportes paralelos, auto ajustables y un dispositivo para aplicar la carga en el centro de los cuerpos de prueba. Los soportes y el dispositivo deben tener la misma anchura y diámetro.

Para este ensayo se debe retirar, de cada chapa de contraplacado, un mínimo de cinco cuerpos de prueba de cada dirección (paralela y normal a las fibras de las láminas externas). Estos cuerpos de prueba deben de ser prismáticos, con ancho: l=75mm y largo (l) definido por la ecuación (3).

$$l = 25 \cdot e + 50 \text{ mm} \geq 50 \text{ mm} \quad (3)$$

Para la ejecución del ensayo, se apoya el cuerpo de prueba en ambas extremidades y se aplica fuerza en el centro del vano (ver Figura 4), través de machete continuadamente, a una velocidad constante calculada por la Ecuación (4).

$$V = \frac{k \cdot L^2}{6 \cdot e} \quad (4)$$



Donde: V=velocidad de carga en mm/s; k=0,00005, tasa de deformación específica de la fibra; L=distancia entre soportes (vano) y e=espesor del cuerpo de prueba, en mm.

Se registran las fuerzas y las correspondientes deslaciones verticales (en un mínimo de doce lecturas), para así determinarse el módulo de elasticidad por la Ecuación (5).

$$E_b = \frac{L^3 \cdot (F_2 - F_1)}{4 \cdot l \cdot e^3 \cdot (S_2 - S_1)} \quad (5)$$

Donde: Eb=módulo de elasticidad, en N/mm²; L=distancia entre los centros de los soportes, en mm; l, e=ancho y espesor del cuerpo de prueba, en mm; F2-F1=incremento de carga en el trecho recto de la curva fuerza/deformación, en N; S2-S1=incremento de deslación vertical en el punto central del vano, correspondiente a F2-F1, en mm.

El módulo de ruptura a flexión estática de cada cuerpo de prueba fue calculado por la Ecuación (6).

$$T_r = \frac{3 \cdot F_{máx} \cdot L}{2 \cdot l \cdot e^2} \quad (6)$$

Donde: T_r =tensión de ruptura a flexión estática, en N/mm² y $F_{máx}$ =carga de ruptura, en N.

RESULTADOS

En las Tablas 1 y 2 son presentados los resultados obtenidos para el contenido de humedad, la masa específica aparente, el módulo de resistencia y el módulo de elasticidad para las chapas de madera contraplacada, fabricadas con adhesivo poliuretano a base de aceite de ricino. En la tabla 1 son presentados los valores obteni-

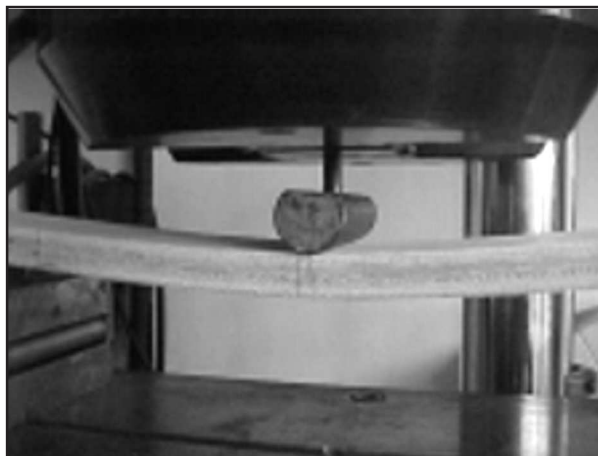


FIGURA 4. Ensayo de madera contraplacada a flexión estática, realizado en la máquina de ensayo Dartec.

dos en los cuerpos de prueba considerándose la dirección paralela a las fibras y en la Tabla 2, considerándose la dirección normal a las fibras de las láminas externas.

TABLA 1. Resultados obtenidos para el tablero compensado fabricado con el adhesivo poliuretano a base aceite de ricino para la dirección paralela a las fibras de las láminas externas.

Muestras	Masa específica aparente (g/cm ³)	Módulo de resistencia (N/mm ²)	Módulo de elasticidad (N/mm ²)
C01	0,81	94	11577
C02	0,84	92	11631
C03	0,79	88	9835
C04	0,83	98	12106
C05	0,78	77	10758
C06	0,78	97	11928
C07	0,81	83	11700
C8	0,80	83	11710
Media	0,81	89	11406
Coefficiente de variación (%)	2,7	8,5	6,6
Contenido de humedad	11,4%		

TABLA 2. Resultados obtenidos para el tablero compensado con el adhesivo poliuretano a base de aceite de ricino para la dirección normal a las fibras de las láminas externas.

Muestras	Masa específica aparente (g/cm ³)	Módulo de resistencia (N/mm ²)	Módulo de elasticidad (N/mm ²)
C9	0,80	61	5700
C10	0,76	61	5887
C11	0,77	67	6338
C12	0,79	60	5783
C13	0,79	53	6159
C14	0,80	60	5830
C15	0,82	73	7407
C16	0,83	55	5384
Media	0,80	62	6061
Coefficiente de variación (%)	2,9	10,4	10,2
Contenido de humedad	11,4%		

La velocidad de carga aplicada en el ensayo fue de 0,07813mm/s, calculada por la Ecuación 4 (presentada anteriormente). En las tablas 2 y 3 se observa que fueron obtenidos bajos coeficientes de variación.

Rocco Lahr [14] y Sales [15], han desarrollado pesquisas que demuestran que los valores de los coeficientes de variación para las propiedades de la madera, son del orden de 18%, con la madera con contenido de humedad de 12%. En las Tablas 1 y 2 se observa que fueron obtenidos bajos coeficientes de variación, menor que lo demostrado para la madera.

Comparación entre valores de propiedades de tableros compensados

Se presentan, en la Tabla 3, los valores medios de los resultados que constan en las Tablas 1 y 2, y en la Tabla 4, algunos valores de propiedades físicas, de resistencia y elasticidad a la flexión, presentados por Stamato [16], para chapas comúnmente encontradas en el comercio que atiende al sector de muebles y de construcción civil brasileños. Esos tableros comerciales son fabricados con maderas de especies tropicales brasileñas y se utilizan en la producción el adhesivo fenol-formaldehído.

TABLA 3. Valores medios del tablero compensado fabricado con el adhesivo poliuretano a base de ricino.

Tablero compensado	Fabricado con adhesivo poliuretano a base de ricino	
Dirección	Paralela	normal
E _b (N/mm ²)	11059	6084
f _m (N/mm ²)	87,41	61,48
Contenido de humedad (%)	11,4	
Masa específica (g/cm ³)	0,80	

E_b: módulo de elasticidad a flexión estática; f_m: módulo de resistencia.

TABLA 4. Valores de propiedades de tableros compensados encontrados en la literatura.

Tablero compensado	Naval 15mm		Gethal 12mm	
Dirección	Paralela	normal	Paralela	normal
E _b (N/mm ²)	7972	3134	6877	4599
f _m (N/mm ²)	56,82	35,16	53,19	41,10
Contenido de humedad (%)	10,34		9,12	
Masa específica (g/cm ³)	0,569		0,588	

Fuente: Stamato [16].

Por comparación entre las Tablas 4 y 5 se observa que los valores de las propiedades fueron más altos para lo tablero compensado fabricado con el adhesivo alternativo poliuretano a base de ricino, que los valores de los tableros comerciales.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

Los tableros compensados producidos con el adhesivo poliuretano a base de aceite de ricino, presentaron resultados muy satisfactorios. Los valores de las propiedades de resistencia y rigidez obtenidas en el ensayo de flexión estática, fueron más altos que los valores encontrados en la literatura para tableros compensados comerciales, fabricados con madera tropical brasileña y que utilizan adhesivos tradicionales. Otro factor importante corresponde a los valores de los módulos de elasticidad, obtenidos para el tablero compensado aquí es-

tudiado: 11406 N/mm² para la dirección paralela. Esos módulos de elasticidad son superiores a los solicitados por NBR 9532/1986 para tablero compensado con características satisfactorias en uso exterior, que son: 4000 N/mm² para molde para concreto armado y 6000 N/mm² para contraplacados navales. Estos valores estipulados por la norma, corresponden a la dirección paralela a las fibras de las láminas externas.

Fueron obtenidos bajos coeficientes de variación para todos los resultados de las propiedades físico-mecánicas de los tableros. Esto es un buen indicativo de la homogeneidad del producto fabricado y de la buena conducción en la producción.

Un importante factor a considerarse es que en la fabricación de la madera contraplacada, utilizándose como materia prima el adhesivo poliuretano a base de aceite de ricino, se ha requerido una temperatura de 60° C en el prensado. Esto corresponde a una significativa reducción en el consumo de energía, dado que la resina fenol-formaldehído necesita de temperatura de 130 a 150° C para procesar su cura. Así, el adhesivo poliuretano a base de aceite de ricino es una alternativa eficiente para ser empleada en la fabricación de tableros compensados.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la "Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo"-FAPESP por el soporte financiero. Uno de los autores agradece al "Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Guss, L. M.**
Engineered wood products: the future is bright. *Forest Products Journal*, v.45, n.7, p17-24. 1995.
2. **Maloney, T. M.**
The family of wood composite materials. *Forest Products Journal*, v.10, n.2. p.19-26, 1996.
3. **Jesus, J. M. H.**
Estudo do adesivo poliuretano à base de mamona em madeira laminada colada (MLC). São Carlos. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 106p. 2000.
4. **Keinert Jr.**
Produção de compensados. In: *Revista da Madeira*. n.24. p.42-45. 1995.

5. **Peterson, R. W.**
Wood adhesives. Ottawa, Forest Products Research Branch, n.1055. 1964.
6. **Samlaic, J.**
Os atuais problemas e as possibilidades dos adesivos para madeira. *Revista da Madeira*, n.374, p.7-10. 1983.
7. **Araújo, L. C. R.**
Caracterização química e mecânica de poliuretanas elastoméricas baseadas em materiais oleoquímicos. São Carlos. Dissertação (Mestrado). Instituto de Física e Química de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, Brasil, 1992.
8. **Claro Neto, S.**
Caracterizações físico-químicas de um poliuretano derivado de óleo de mamona utilizado para implantes ósseos. Tese (Doutorado). Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil, 123p. 1997.
9. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9531/85 - Chapas de madeira compensada: classificação. Rio de Janeiro. 3p. 1985.
10. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9532/86-Chapas de madeira compensada: especificação. Rio de Janeiro. 3p. 1986.
11. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9584/85-Chapas de madeira compensada: determinação do teor de umidade. Rio de Janeiro. 3p. 1985.
12. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9485/85-Chapas de madeira compensada: determinação da massa específica aparente. Rio de Janeiro. 3p. 1985.
13. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9533/86-Compensado: determinação da resistência à flexão estática. Rio de Janeiro. 3p. 1985.
14. **Rocco Lahr, F. A.**
Considerações a respeito da variabilidade de propriedades de resistência e elasticidade da madeira. Tese (Livre Docência), Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Paulo, 109p. 1990.
15. **Sales, A.**
Proposição de classes de resistência para madeira. Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 223p. 1996.
16. **Stamato, G. C.**
Utilização de compensado, laminated veneer lumber e oriented strainboard em estruturas permanentes. São Carlos, 1998a. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

Recibido: 01/09/03.

Aprobado: 02/06/05.