

TABLEROS PRENSADOS DE PARTÍCULAS DE BAMBÚ Y RESINA POLIURETANA A BASE DE ACEITE DE RICINO (*Ricinus communis*)

Flávio J. José⁽¹⁾ (casanaarvore@hotmail.com)

Antonio L. Beraldo^(1,2) (beraldo@agr.unicamp.br)

(1) Facultad de Ingeniería Agrícola - Universidad Estatal de Campinas, Campinas, SP, Brasil

(2) Investigador científico del CNPq

RESÚMEN: esta investigación tiene como objetivo la elaboración y evaluación de tableros de partículas homogéneas aglomeradas, utilizándose dos materiales alternativos en la búsqueda de la sustentabilidad del proceso productivo. Fueron utilizadas partículas de *Bambusa vulgaris* Schrad por la rapidez del ciclo de producción de esta especie de bambú, y por su disponibilidad en el territorio brasileño. Como pegante fue utilizada la resina poliuretana a base de aceite de ricino (*Ricinus communis*), por su origen parcialmente renovable, y por ser considerada no tóxica, al contrario de las resinas convencionales. Para la caracterización del material investigado, fueron fabricadas, en escala de laboratorio, tableros de partículas de bambú con dimensiones inferiores al 2.4 mm, combinadas con 5%, 10% y 15% de resina en relación a la masa de partículas de bambú. Las probetas fueron sometidas a los ensaios físicos (control de la espesura, densidad, absorción del agua y hinchamiento después de 2 h y 24 h de inmersión en agua) y mecánicos (extracción de tornillos en la face y en el topo, dureza Janka, compresión longitudinal, flexión estática y adherencia interna) de acuerdo con las especificaciones de la norma NBR 14810 - Tableros de madera aglomerada) Antes de los ensayos las probetas fueron evaluadas por medio del ensayo no destructivo (END) por ultra-sonido. Los resultados obtenidos indicaron que el contenido de 10% de resina no fue estadísticamente diferente al contenido de 15%, siendo ambos superiores al contenido de 5%. No fue posible correlacionar la velocidad del pulso de ultra-sonido (VPU) con la resistencia a la compresión longitudinal.

Palabras-claves: bambú, tableros homogéneos, aceite del ricino, poliuretana, END

HOMOGENEOUS PARTICLEBOARD FROM BAMBOO BONDED BY RESIN CASTOR OIL BASED

ABSTRACT: the aim of this research was to manufacture and to evaluate particleboards made with two alternative materials, looking for the productive process sustainability. Particles from *Bambusa vulgaris* Schrad were employed because the bamboo fast production cycle and its availability in Brazilian country. Polyurethane resin castor oil based was employed as binder because it is partially produced by a renewable source and its low toxicity. For the material characterization, it was manufactured at laboratory scale boards from bamboo particles smaller than 2.4 mm combined with 5%, 10% e 15% resin content in relation to the bamboo particles mass. Specimens were submitted to physical (thickness control, density, water absorption and swelling after 2 h and 24 h of immersion in water) and mechanical (nail withdraw on surface and top, Janka hardness, longitudinal compression strength, static bending and internal bond) evaluations according to the Brazilian Standard NBR 14810 – Boards of agglomerate wood). Specimens evaluated in longitudinal compression were previously tested by a Non Destructive Evaluation (NDE) by ultrasonics. Results showed that 10% resin content was not statistically different of 15% resin content, both superior to 5% resin content. It was not possible to correlate ultrasonic pulse velocity (UPV) across the specimens with longitudinal compression strength.

Keywords: bamboo, homogeneous boards, castor oil, polyurethane, NDE

1. INTRODUCCIÓN

La producción de los tableros de partículas aglomeradas, de acuerdo con KOLLMAN *et al.* (1975), empezó durante el periodo de la Segunda Guerra Mundial, debido a la escasez de madera natural en la Alemania.

Actualmente las empresas brasileñas con más grande capacidad productiva de chapas de aglomerado, como la Duratex y la Eucatex, emplean como materia prima, las partículas originarias de los árboles del géneros *Pinus* e *Eucalyptus*. El aglomerante más utilizado en la fabricación de los tableros es la urea-formaldeido (ELEOTÉRIO, 2000) Esta resina presenta dos inconvenientes: una muy limitada resistencia a la humedad y un alto grado de toxicidad.

Como alternativa para la producción de las partículas vegetales, el bambú muestra calidades en algunos aspectos superiores al del pino y del eucalipto. Una de las ventajas se debe al facto del bambú ser una materia prima posible de ser cosechada en prácticamente todas las regiones brasileñas. Esta planta presenta ciclos de cosecha muy curtos, entre dos años a tres años para la especie *Bambusa vulgaris* Schrad (BERALDO y AZZINI (2004) Esta especie de bambú es cultivada en grandes áreas del Nordeste del país, suministrando materia-prima para la fabricación de papel y celulosa. Para el pino y el eucalipto, los ciclos son del 10 años y 7 años, respectivamente, para la producción de las partículas (Sociedad Brasileña de Selvicultura - SBS, 2004)

Para manufacturar los tableros de partículas homogéneas también se puede utilizar la resina poliuretana bi-componente a base del aceite del ricino o higuierilla (*Ricinus communis*), pues se trata de un material considerado no tóxico y al mismo tiempo en grande parte de su constitución es un derivado de una fuente renovable. Esta es una ventaja con relación a las resinas convencionales compuestas, en su grande mayoría, de una materia prima no renovable, además de ser perjudiciales a la salud de los obreros.

Los tableros de partículas posibilitan la manufactura de muebles, divisorias, pisos y revestimientos, sin necesitar la tala de grandes árboles, las cuales necesitan un largo tiempo para alcanzar las dimensiones necesarias para la obtención de tableros macizos en la industria. Este trabajo tuvo como objetivo la manufactura y la evaluación de tableros de partículas homogéneas de bambú aglomeradas con resina poliuretana bi-componente à base de aceite del ricino (higuierilla). Las siguientes etapas fueron desarrolladas:

. Evaluación de la influencia de tres contenidos de la resina poliuretana bi-componente à base de aceite del ricino (5%, 10% y 15%), con relación a la masa de partículas de bambú;

.Comparación de los valores obtenidos en los ensayos referentes a las probetas de los tableros de partículas de bambú, con los estándares de la NBR 14810-2.

.Comparación estadística de los tableros de partículas de bambú que presentaron los resultados más adecuados, con probetas de tableros de partículas aglomeradas crudas adquiridas comercialmente;

. Evaluación, por medio del ensayo no destructivo (END) por ultra-sonido, del efecto de los contenidos de resina en la velocidad del pulso del ultrasonido (VPU) para verificar su correlación con la resistencia a la compresión longitudinal.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Tableros de partículas de madera aglomeradas

La madera aglomerada es el material constituido por partículas de madera de varias dimensiones, impregnadas de resinas sintéticas (pegantes industrializados) o naturales, e prensadas sobre la acción del calor. (MALONEY (1977)

2.2. Mercado brasileño de tableros de partículas

Con una capacidad de producción de 5.4 millones de m³ al año, la receta del sector en 2003 fue de U\$ 767 millones (FOB), generando 25 mil puestos de trabajo, referentes a la producción de aglomerados, MDF y tableros duros.

2.3. Bambú: características y utilizaciones

Los bambúes pertenecen a la familia *Graminae* y sub-familia *Bambusoideae*, existiendo alrededor de 45 géneros y más de 1000 especies en el mundo. La más grande diversidad de especies es encontrada en los continentes asiático y americano, siendo este vegetal prácticamente inexistente en Europa.

Las especies de bambú son divididas en dos grupos de acuerdo con la forma de crecimiento: los agrupados (*Bambusa tuldoides*, ***Bambusa vulgaris***, *B. vulgaris* var. *vittata*, *Dendrocalamus giganteus* e *D. latiflorus*) y los aislados (principal genero es el *Phyllostachys*).

De un punto de vista agronómico, lo que es más importante es que el bambú es una planta perenne, con elevado índice de productividad (BERALDO e AZZINI, 2004)

2.4. Las resinas e sus aplicaciones

Existen dos grupos básicos de resinas (OLMOS (1992)

-resinas de origen natural – en esta categoría se destacan aquellas de origen animal, el almidón, la caseína, la albúmina de proteína vegetal, la higuera y el taniño (extraído de algunas especies de vegetales: acacia negra, quebracho, etc.);

-resinas de origen sintético – en esta categoría se destacan la urea, el resorcinol, el fenol, la melanina y el polivinil.

De acuerdo con PIZZI (1994) y MALONEY (1996), debido a la necesidad de disminución de la emisión de formol, un producto carcinogénico proveniente de las resinas ureicas, fueron desarrollados varias investigaciones evaluando sus mezclas con otros tipos de resinas, como, por ejemplo, con las resinas melamínicas, las cuales también confieren resistencia a los tableros contra la humedad.

Conocida internacionalmente como “Castor oil” e, en Brasil, como *mamona* o *caturra* (*Ricinus communis*), se trata de una planta de la familia de las Euforbiáceas, de la cual es extraído el aceite del ricino. Esta planta es encontrada en regiones tropicales y subtropicales, siendo muy abundante en varias regiones brasileñas y incluso recientemente el gobierno federal propuso el empleo del aceite en la composición del diesel (al 2%)

A partir del aceite del ricino es posible sintetizar los polióis y los pré-polímeros con diferentes características que, cuando son mezclados, originan un poliuretano. Esta mezcla entre el poliól (a base del ricino) e el pré-polímero (isocianato), a frío, lleva a la reacción de polimerización de la mezcla. Esta reacción conduce a la formación de la poliuretana, pudiendo variarse el porcentaje de poliól, lo que definirá la dureza de la resina. Además, el empleo de catalizadores adecuados y de la temperatura cambia la velocidad de la reacción.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

3.1.1. Partículas de bambú

Para el desarrollo de la parte experimental del trabajo fueron utilizadas partículas provenientes de culmos de bambú de la especie *Bambusa vulgaris* Schrad, extraídos del bosque ubicado en la área experimental de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Estatal de Campinas - Unicamp (Figuras 1 y 2) Los culmos fueron desintegrados en un equipo agrícola acoplado a un tractor. A seguir, las partículas fueron secadas al sol durante una semana (Figuras 3 y 4)



Figura 1 – Tala del *B. vulgaris*.

Figura 2 - Equipo agrícola.



Figura 3 – Separación de las partículas.

Figura 4 – Secado de las partículas.

3.1.2. Resina poliuretana bi-componente a base del aceite de ricino

Las partículas de bambú fueron pesadas (Figura 5) La resina poliuretana bi-componente a base del aceite del ricino (Figura 6) fue proveída por la empresa KEHL Industria y Comercio (www.kehl.com.br), de San Carlos (SP)



Figura 5 – Partículas de bambú.



Figura 6 - Componentes de la resina poliuretana.

3.2. Métodos

3.2.1. Obtención de las partículas de bambú

Las partículas fueron obtenidas de culmos maduros de bambú (más de 3 años de edad), siendo eliminadas las ramas y las hojas. Después del secado al aire, los pedazos de bambú fueron triturados en un equipo agrícola disponiendo de un tamiz metálico, seleccionándose las partículas con espesor máximo de 3 mm (abertura del tamiz)

Las partículas obtenidas fueron tamizadas y separadas en las aberturas de 2.40 mm, 0.42 mm y 0.149 mm. Las partículas entre 2.40 mm y 0.42 mm fueron seleccionadas para la manufactura de los tableros.

3.2.2. Manufactura de los tableros

Fueron manufacturados diez tableros de dimensiones 40 cm x 40 cm x 1,5 cm para cada contenido de resina (5%, 10% y 15%) El procedimiento adoptado fue descrito por NASCIMENTO (2003)

3.2.2.1. Aplicación de la resina a las partículas de bambú

La resina fue sintetizada de acuerdo con las recomendaciones de la empresa KEHL, mezclándose el pré-polímero (una parte en masa) con el poliól (dos partes en masa) A seguir, se acrecentaba la resina a las partículas de bambú (Figura 7), y se efectuaba la mezcla manualmente, utilizando-se de un guante de látex, como protección, por 5 min.

Después de esta pré-homogeneización, la mezcla de resina con las partículas de bambú era colocada en una batidora planetaria y mezclada por más 5 minutos (Figura 8)



Figura 7 - Adición de la resina a las partículas. Figura 8 - Homogeneización de la mezcla.

3.2.2.2.. Formación del colchón de partículas de bambú y resina

El colchón de la mezcla fue sometido a un pré-prensado a frío. El proceso fue realizado con el auxilio de una formadora de colchón, constituida de una caja de madera, sin tapa e sin fondo, cuya base presentaba dimensiones iguales a aquellas de tableros (40 cm x 40 cm - Figuras 9 y 10).

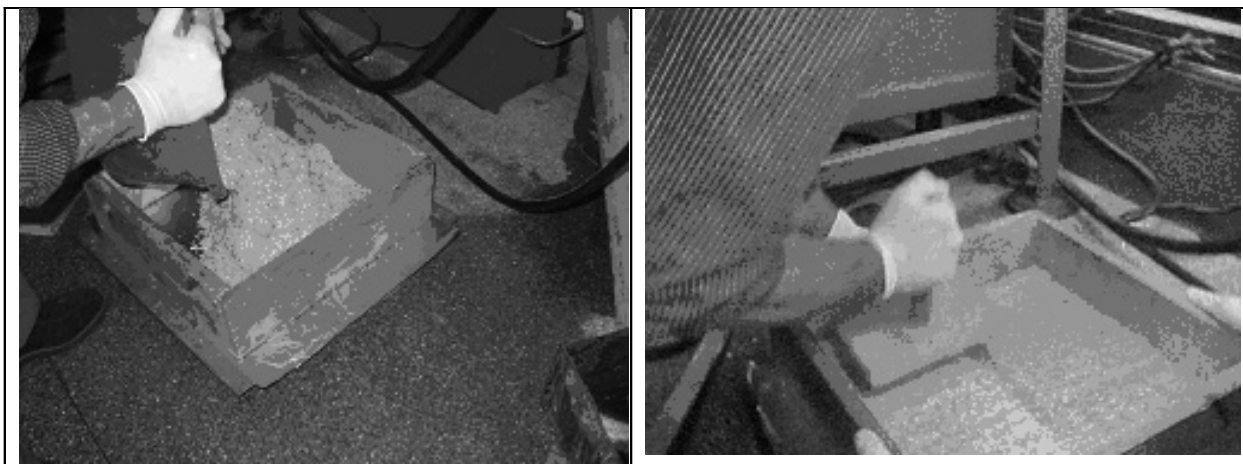


Figura 9 - Formación del colchón.

Figura 10 - Regularización del colchón.

4.2.2.3. Prensado

El colchón de partículas fue depositado entre las placas metálicas calentadas de la prensa, adoptándose la temperatura constante 60 °C. Los tableros fueron protegidos con una película de papel aluminio para evitar su adherencia a los platos de la prensa..

En la primera etapa del prensado, fue aplicada la presión hasta alcanzar alrededor de los 4 MPa, y se mantuvo esta presión por 10 minutos (Figuras 11 y 12)

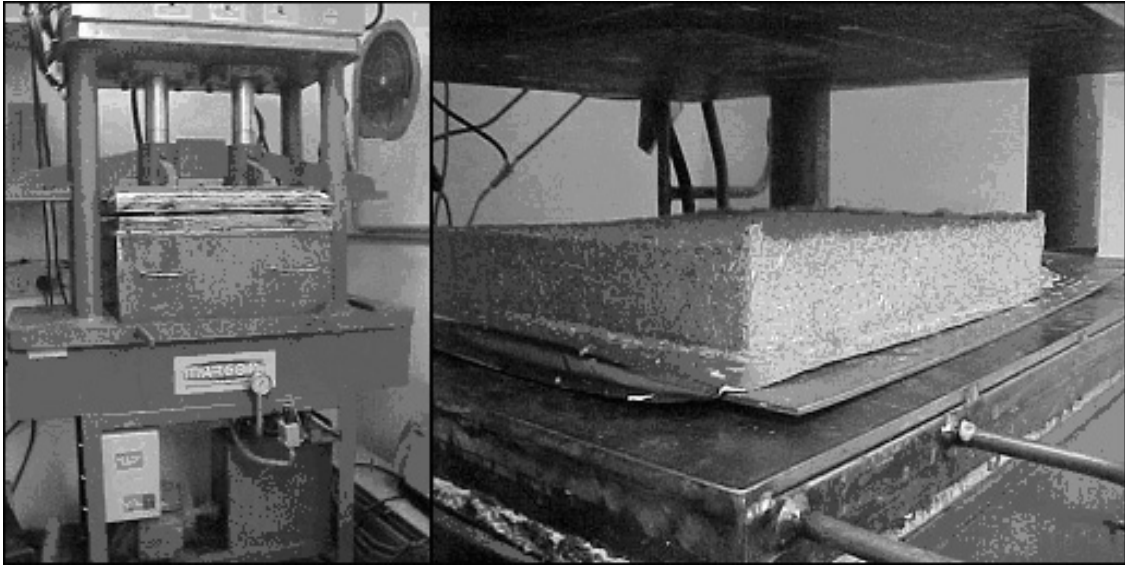


Figura 11 - Prensa hidráulica Marconi. Figura 12 – Aspecto del tablero.

La segunda etapa fue iniciada aliviándose la presión hasta obtener un valor nulo. Este alivio ocurrió por alrededor de los 5 minutos, y su objetivo era provocar la liberación de los gases. La presencia de los gases no fue observada en el presente experimento debido a los cuidados que fueron tomados durante el prensado y además por la baja densidad presentada por los tableros.

3.2.2.4. Acabamiento

Después de su retirada de la prensa, los tableros fueron sometidos a una operación de acabamiento, consistiendo del lijado para eliminar 5 cm de las bordas, como exigencia de la NBR 14810 para la preparación de los ensayos y para obtener una mejor calidad del producto finalizado.

A final de este proceso, los tableros presentaban dimensiones de 30 cm x 30 cm x 1,5 cm (Figuras 13 y 14)

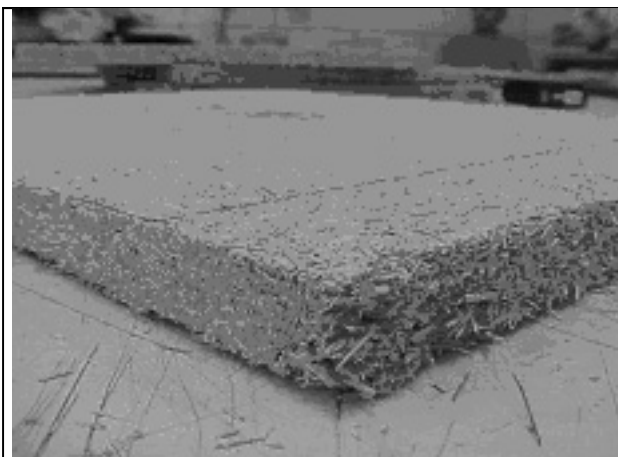


Figura 13 – Bordas con defectos.

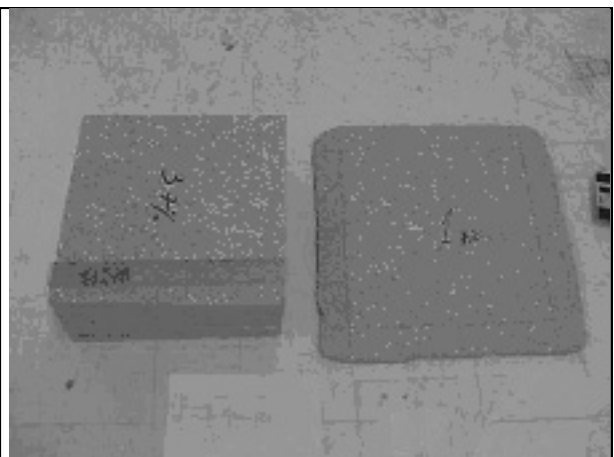


Figura 14 - Tableros con y sin acabamiento.

4.2.3 Métodos de Ensayos

Los ensayos de caracterización de los tableros de partícula de bambú aglomeradas con resina a base del aceite de ricino obedecieron a los estándares de la NBR 14810- Tableros de madera aglomerada - Parte 3 – métodos de ensayo.

Fueron conducidos los siguientes ensayos: control de espesor; densidad; absorción de agua (2 h y 24 h); hinchamiento (2 h y 24 h); extracción de tornillo (en la superficie y en el topo); dureza Janka; (Figura 15a) compresión longitudinal (Figura 15b); flexión estática (Figura 15c) y tracción perpendicular.

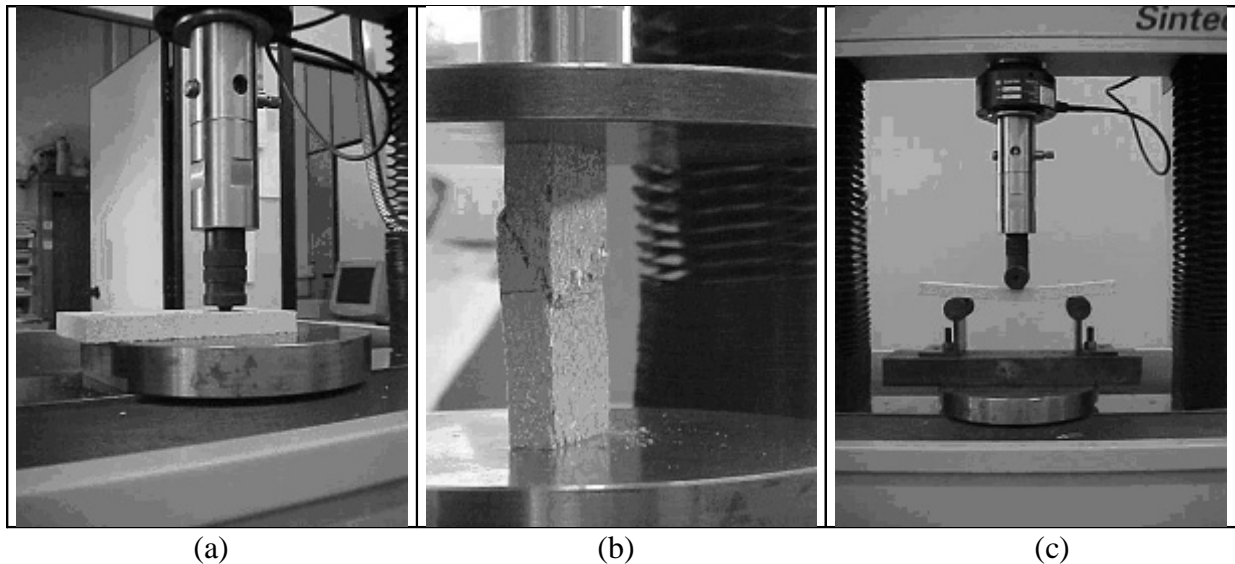


Figura 15 – (a) Dureza Janka; (b) Compresión longitudinal; (c) Flexión estática.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La análisis estadística de los resultados presentados en la Tabla 1 indicó no existir diferencia significativa (teste de Tukey al 5%) entre los contenidos de resina de 10% y de 15%, ambos superiores al contenido de 5% en la mayoría de las propiedades evaluadas (densidad, absorción después de 24 h de inmersión en agua, hinchamiento después de 24 h, extracción de tornillo en el topo e en la superficie, dureza Janka, compresión longitudinal y flexión estática) Todavía hubo diferencia significativa (teste de Tukey al 5%) de los contenidos de resina en los resultados del control del espesor, absorción después de 2 h y hinchamiento después de 2 h. Los datos obtenidos en el ensayo de tracción perpendicular de los tableros no pudieron ser considerados en la análisis. Aparentemente el exceso de resina en la superficie de los tableros impide su adecuada adherencia con la placa metálica del aparato, observándose en varios ensayos su separación. Mientras tanto, algunas probetas lograron alcanzar valores superiores al de la norma (0.47 MPa), antes de ocurrir la pérdida de adherencia con la placa metálica.

Considerándose que en la manufactura del tablero el costo de la resina es lo más elevado, y que no hubo diferencia estadística entre los contenidos de resina de 10% y de 15%, fueron comparados los tableros con 10% de resina con los tableros de aglomerado crudo comercial. En la mayoría de las propiedades evaluadas los tableros comerciales presentaron los valores más elevados. Todavía, en el laboratorio no se logró alcanzar la misma metodología de fabricación de los tableros comerciales (temperatura y presión), y incluso se observa en los tableros comerciales la presencia de capas heterogéneas, facto este que permite un efecto más significativo en cohesión de las partículas.

Los resultados del ensayo no destructivo (END) posibilitaron la obtención de la velocidad del pulso de ultrasonido (VPU) y permitieron detectar las diferencias aportadas a la estructura de las probetas por los diferentes contenidos de resina. Los datos obtenidos, analizados y interpretados estadísticamente (teste de Tukey al 5% de significación estadística) evidenciaron la superioridad de los contenidos de 10% y de 15% con relación al contenido de 5%. Al ejemplo de los ensayos mecánicos no hubo diferencia estadística entre las VPU para las probetas manufacturadas con los contenidos de resina de 10% y de 15%.

Debido a las particularidades del END (dimensiones de los tableros y frecuencia de resonancia de los emisores y receptores electro-acústicos), no fue posible obtener informaciones más precisas, todavía hubo una tendencia de que en los tableros evaluados la VPU sea similar en las direcciones del largo y del ancho, cuando comparadas con la dirección del espesor.

No hubo correlación entre los resultados de la VPU y de la resistencia a la compresión longitudinal, contrariamente a los datos de la literatura para tableros manufacturados con la misma resina (GONÇALVES y SILVA, 2002) Aparentemente, la compactación producida durante la manufactura de los tableros no garantiza la formación de rutas más favorables al desplazamiento de la onda de ultrasonido. Todavía, otras condiciones experimentales deberían ser evaluadas específicamente en la investigación con este tipo de tableros.

Tabla 1 – Resultados de los ensayos. Promedio de 10 probetas.

Propiedad	Resina 5%	Resina 10%	Resina 15%	Tablero comercial
Espesor (mm)	16,78 ^a	15,34 ^b	15,95 ^c	-
Densidad (g/cm ³)	591 ^a	688 ^b	691 ^b	-
Absorción 2 h - %	78,98 ^a	39,33 ^b	27,69 ^c	9,86
Absorción 24 h - %	79,06 ^a	60,46 ^b	57,58 ^c	34,39
Hinchamiento 2 h (%)	13,88 ^a	7,76 ^b	5,03 ^c	4,65
Hinchamiento 24 h (%)	16,23 ^a	11,15 ^b	9,00 ^b	19,56
Extracción de tornillo (N) – sup.	159 ^a	227 ^b	217 ^b	-
Extracción de tornillo (N) - topo	96 ^a	165 ^b	211 ^b	-
Dureza Janka (N)	2441 ^a	3541 ^b	3552 ^b	3862
Compresión long. (MPa)	3,36 ^a	6,20 ^b	6,39 ^b	13,52
Flexión estática (MPa)	4,52 ^a	8,03 ^b	8,71 ^b	22,84
Tracción perpendicular. (MPa)	-	-	-	-
VPU (m/s)	1561 ^a	1897 ^b	1992 ^b	-

Valores seguidos de la misma letra en la horizontal no presentan diferencias estadísticas al nivel de 5% (teste de Tukey).

5. CONCLUSIONES

De acuerdo con las condiciones en que esta investigación fue conducida, y después de efectuarse la análisis estadística fue posible concluir que:

- . Los valores de desviación padrón del espesor y de la densidad fueron inferiores al 10%, mostrando una buena uniformidad en el proceso de manufactura de los tableros.
- . El contenido de resina presentó un efecto significativo en todas las propiedades evaluadas, con excepción de los valores de tracción perpendicular, en cuyo ensayo no hubo adherencia de las probetas con las placas metálicas.
- . No hubo diferencia significativa en las propiedades de los tableros para los contenidos de resina del 10% y del 15%, ambos superiores al contenido del 5%.

. Los tableros de aglomerado crudo comerciales fueron superiores a los tableros con 10% de resina, con excepción de las propiedades dureza Janka (no hubo diferencia) y hinchamiento después de 24 h (los tableros con 10% presentaron un valor menor)

. La norma utilizada presenta valores mínimos recomendados solamente para los ensayos de flexión estática, de extracción de tornillo, de hinchamiento, de absorción de agua y de tracción perpendicular. Los tableros con resina a base del aceite de ricino no alcanzaron los valores mínimos, con excepción de carga necesaria para la extracción de tornillos. De este modo las aplicaciones para los tableros son restrictas a la mueblería y a los ambientes protegidos de las intemperies.

. La distribución del tamaño de las partículas de bambú da, las cantidades de poliól y del pré-polímero empleados en la síntesis de la resina, la densidad del tablero, el contenido de resina, el espesor del tablero, o la utilización de aditivos como la parafina, son las alternativas que deben ser buscadas para mejorar el desempeño de los tableros.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al CNPq por las becas, a la empresa Kehl Polímeros por la donación del adhesivo, al LAMEM de San Carlos y en especial a la investigadora Fatima Nascimento, por la fabricación de los tableros y a los laboratorios del SENAI, Itatiba y del CT, Unicamp, por la ejecución de los ensayos mecánicos de los tableros.

7. BIBLIOGRAFIA CITADA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2002). **NBR 14810 - Chapas de madeira aglomerada. Parte 1: terminologia**. ABNT. Rio de Janeiro, 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2002). **NBR 14810 - Chapas de madeira aglomerada. Parte 2: requisitos**. ABNT. Rio de Janeiro, 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2002). **NBR 14810 - Chapas de madeira aglomerada. Parte 3: métodos de ensaio**. ABNT. Rio de Janeiro, 2002. 27p.

BERALDO, A.L.; AZZINI, A. (2004). **BAMBU: CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES**. Livraria Editora Agropecuaria. Canoas-RS, 122 p.

BNDES. Banco Nacional de Desenvolvimento. (2002). Disponível em <www.bndes.br> Acessado em 02/06/2004.

EUCATEX S/A INDÚSTRIA E COMÉRCIO (2004). Disponível em <www.eucatex.com.br> Acessado em 21/07/2004.

GONÇALVES R.; SILVA S.A.M. (2002). **Avaliação de chapas de fibra de madeira utilizando ultra-som**. In: II CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS FLORESTAIS E I SEMINÁRIO EM TECNOLOGIA DA MADEIRA E PRODUTOS FLORESTAIS NÃO-MADEIRÁVEIS. Curitiba, PR. CD-Curitiba, PR. CD-ROM.

KEHL. Indústria. e Comércio. Disponível em <www.kehl.com.br> Acessado em 21/04/2004.

KOLLMANN, F.P. ; KUENZI, E.W. ; STAMM.(1975). **Principles of wood science and technology. Wood based materials. Properties of Particleboard. Nail-Holding and Screw-Holding Ability**. New York. p.523-529.

MALONEY, T.M. (1977). **Modern Particleboard & Dry-Process Fiberboard Manufacturing**. San Francisco. 672p.

MALONEY, T.M. (1996). **The family of wood composite materials**. Forest Products Journal. v.46, n.2, p.19-26.

NASCIMENTO, M.F. (2003). **CPH-Chapas de Partículas Homogêneas - Madeiras do Nordeste do Brasil**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. São Carlos – SP. 117p.

OLMOS, M.A.C. (1992). **Equipamento e Processo de Fabricação de Chapas de Madeira Aglomeradas a partir de Resíduos de Madeira**. Dissertação de Mestrado. São Carlos. SP. 110p.

PIZZI A. (1994). **Advanced wood adhesives technology**. Marcel Dekker, New York. 297p.