

IX ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS  
E ESTRUTURAS DE MADEIRA

FENF

FAET

IBRAHEN

UMT

ISBN 85-327-0099-3  
9 788532 700995

27 a 29 de Julho de 2004  
Cuiabá - MT

IX ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA  
CUIABÁ – JULHO DE 2004

**PAINÉIS DE PARTÍCULAS DE EUCALYPTUS MANUFATURADOS COM A  
RESINA POLIURETANA À BASE DE MAMONA**

2541p

**Fabricio Moura Dias** (fmndias@sc.usp.br), **Alexandre Monteiro de carvalho** (almcarva@sc.usp.br), **Cristiane Inácio de Campos** (cic@sc.usp.br), **Elen Aparecida Martines Morales** (emorales@sc.usp.br), **Maria Fátima do Nascimento** (fati@sc.usp.br)

Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos - Área Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais

**Francisco Antonio Rocco Lahr** (frocco@sc.usp.br)

Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos - Departamento de Engenharia de Estruturas

**RESUMO:** Os painéis de partículas de madeira têm sua utilização difundida mundialmente. Dentre esses painéis, o aglomerado, é muito utilizado pela indústria moveleira. No processo de fabricação desse painel, cavacos de madeira e adesivos são prensados, a certa temperatura. Dos adesivos existentes no mercado, a uréia-formaldeído é um adesivo sintético bastante utilizado para este fim, porém apresenta baixa resistência à umidade. Desse modo, torna-se cada vez mais necessário a utilização de adesivos alternativos para manufatura de produtos derivados de madeira. Uma resina alternativa oriunda de recurso natural e renovável, a poliuretana à base de mamona, desenvolvida pelo Instituto de Química de São Carlos, da Universidade de São Paulo, é classificada como impermeável. Sendo assim, este trabalho apresenta um estudo comparativo entre as resinas uréia-formaldeído e a poliuretana à base de mamona na manufatura de painéis de madeira aglomerada. Os cavacos de madeira utilizados para a confecção dos painéis são de *Eucalyptus saligna*, espécie de reflorestamento. A eficiência destes adesivos foi avaliada através da resistência obtida pelos ensaios físicos-mecânicos apresentados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, NBR 14810. Os resultados indicam o adesivo poliuretano à base de mamona como uma alternativa satisfatória na fabricação de painéis de partículas.

**Palavras-chave:** painéis aglomerados, resina poliuretana à base de mamona, propriedades

**PARTICLEBOARD OF EUCALYPTUS MANUFACTURED WITH  
POLYURETHANE RESIN BASED ON CASTOR OIL**

**ABSTRACT:** The particleboard has become popular. These particleboard are usually available in panel form and are widely used in housing and furniture. Conventional particleboard is typically made with a heat-curing adhesive that holds the wood shavings together. Urea-formaldehyde (UF) resin is typically used in the manufacture of particleboard. Products manufactured with UF resin are designed for interior applications. Therefore, becomes more and more necessary the use of alternative adhesive for manufacture of wood-based products. An alternative resin originating from of natural and renewable resource, the polyurethane based on castor oil, developed by the Institute of Chemistry of São Carlos, University of São Paulo, is classified as raincoat. Therefore, this work presents a comparative study between the resins urea-formaldehyde and polyurethane based on castor oil in manufacture of particleboard. The wood shavings used for manufacture of the particleboard are from Brazilian reforestation species *Eucalyptus saligna*. The physical and mechanical properties of particleboard were determined by Brazilian Code – ABNT/NBR 14810 test method. The results indicate the polyurethane resin based on castor oil as an efficient alternative in the production of particleboards.

**Keywords:** particleboard, polyurethane resin based on castor oil, properties

1393731  
270904

9 p.

SYSNO	1393731
PROD	002424
ACERVO EESC	

## 1. INTRODUÇÃO

A madeira, por suas características de renovabilidade, é fonte perene de matéria-prima para múltiplos usos. Porém são preciso investimentos tecnológicos e científicos voltados ao seu aproveitamento racional. A forma de melhor aproveitamento das madeiras provenientes das áreas de reflorestamento tem como alternativas, a manufatura de painéis à base de madeira.

Estes painéis são classificados como laminados, particulados e de fibras de madeira. Dentre estes painéis, os particulados aglomerados, ou madeira aglomerada, tem sua utilização difundida em muitos países desenvolvidos, como Alemanha, Austrália, Estados Unidos e outros, nas aplicações para a indústria moveleira.

MALONEY (1977) e TONISSI (1985) definem madeira aglomerada como um painel, também chamado de chapa, formado por partículas de madeira de várias dimensões, impregnadas de resinas, prensados sob a ação de calor.

No processo comercial da fabricação dos aglomerados é utilizado o adesivo uréia-formaldeído. Trata-se de adesivo de considerável toxicidade, em países onde a legislação é mais rígida tem-se diminuído o uso desses adesivos. Outro inconveniente, é que este adesivo é à base de água, o que limita a utilização dos aglomerados em interiores.

Estudos têm sido conduzidos para o desenvolvimento de novos adesivos naturais, aplicáveis aos setores madeireiros e construção civil, com maior resistência mecânica e maior resistência à umidade. Uma resina, a poliuretana à base de óleo de mamona, é objeto de constante estudo na Universidade de São Paulo (USP)/São Carlos. Essa resina é não agressiva ao ser humano e ao meio ambiente.

Desenvolvida primeiramente para a área da saúde em implantes ósseos, teve sua potencialidade científica estendida às outras áreas do conhecimento humano. A exemplo disto, o Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeiras, do Departamento de Engenharia de Estruturas, da Escola de Engenharia de São Carlos, da USP, tem testado este produto como adesivos para utilização no setor madeireiro.

JESUS (2000) e AZAMBUJA (2002) alcançaram resultados satisfatórios quanto à eficiência da resina à base de mamona para o emprego na fabricação de madeira laminada colada (MLC) com espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*. Estudos conduzidos por DIAS e LAHR (2002) apresentam a potencialidade desta resina para a manufatura de compensados com lâminas da madeira de *Eucalyptus grandis*.

NASCIMENTO (2003) avaliou no ensaio de intemperismo artificial a eficiência das resinas acrílica, osmocolor e poliuretana à base de mamona, como acabamento superficial em chapas de partículas homogêneas produzidas com madeiras do nordeste do Brasil. A autora afirma que o melhor resultado obtido foi para a resina poliuretana à base de mamona.

Diante desta constatação, este trabalho apresenta uma avaliação do emprego da resina poliuretana derivada do óleo de mamona, como adesivo, na manufatura de madeira aglomerada. Os valores das propriedades físico-mecânicas obtidas para este aglomerado foram comparados com valores obtidos em painéis de aglomerado manufaturados com a resina uréia-formaldeído, que é a mais utilizada para este fim.

## 2. CHAPAS DE PARTÍCULAS DE MADEIRA AGLOMERADA

Chapas de partículas de madeira aglomerada, comumente chamado de “aglomerado” no Brasil, é um painel produzido com pequenas partículas de materiais lignocelulósicos, normalmente a madeira, com a incorporação de adesivo sintético ou natural e reconstituídos numa matriz randômica e consolidados através de aplicação de calor e pressão numa prensa a quente (IWAKIRI, 1998).

Os aglomerados apresentam uma série de vantagens em relação ao compensado e madeira serrada. Segundo IWAKIRI (1998), estes defeitos são:

- Eliminação de efeitos da anisotropia, ou seja, as alterações dimensionais nas direções longitudinal e transversal da chapa são iguais;
- A resistência da chapa nos sentidos da largura e comprimento são similares;
- Eliminação de fatores redutores da resistência como nós, inclinação da grã, lenhos juvenil e adulto, etc.;
- Possibilidade de controle das propriedades físico-mecânicas da chapa através das variáveis de processo como resina, geometria de partículas, grau de densificação, etc.;
- Menor exigência em termos de matéria-prima como diâmetro, forma do fuste, defeitos, etc.;
- Menor custo de produção em termos de qualidade da matéria-prima e mão-de-obra.

As chapas de partículas aglomeradas podem ser classificadas com base na densidade da chapa, os tipos de partículas e sua distribuição. Quanto à densidade tem-se: baixa densidade (até 0,59 g/cm<sup>3</sup>); média densidade (0,59 a 0,80 g/cm<sup>3</sup>) e alta densidade (acima de 0,80g/cm<sup>3</sup>). Quanto ao tipo de partículas as chapas podem ser classificadas do tipo sliver, flake e wafer. A distribuição das partículas na chapa podem ser homogêneas, múltiplas camadas, graduadas e partículas orientadas.

As etapas na produção comercial das chapas de aglomerado, segundo OLIMOS (1992), são: a obtenção das partículas (picagem, secagem e classificação); adição de resina; formação de colchão; pré-prensagem; prensagem a certa temperatura; acabamento e lixamento. Todas as condições específicas para cada etapa de produção são determinadas por documento normativo da Associação Brasileira de Normas Técnicas.

### 2.1. Adesivo

Segundo OLIVEIRA e FREITAS (1995), na produção de chapas de partículas de madeira, o adesivo é o componente de maior custo de produção. IWAKIRI (1998) afirma que este custo representa na ordem de 35 a 60% do custo total. Portanto, a quantidade a ser aplicada deve ser otimizada em função das propriedades requeridas para a finalidade a que se destina, de acordo com as exigências mínimas em relação às normas.

Tanto o tipo quanto os níveis de resina estão associados com as propriedades das chapas de partículas. A maior parte das chapas de aglomerado é feita a partir da resina de uréia-formaldeído a níveis de 6 a 10%, com base no peso seco em estufa.

### **2.1.1. Uréia-formaldeído**

Esta resina é classificada como uso interno devido à baixa resistência à umidade. Sua coloração é branca leitosa. Na sua composição, a uréia é obtida através da reação de dióxido de carbono e amônia, enquanto que, o formaldeído é obtido a partir de monóxido de carbono e hidrogênio ou petróleo.

PETERSON (1964) afirma que a colagem feita com esses adesivos também é afetada desfavoravelmente por temperaturas elevadas e a 65°C ou mais, ela tende a romper rapidamente por completo. Uma combinação de alta umidade e temperatura ligeiramente elevada é particularmente danosa às uniões feitas com tal adesivo.

Este adesivo é encontrado em forma líquida ou em pó, com o líquido sendo a forma mais comum. Na forma líquida, a preparação para uso envolve a adição de catalisador. Esses catalisadores são utilizados para acelerar a cura. Para a cura a quente é empregado cloreto de amônia ou sulfato de amônia.

Apesar de ter sua utilização difundida, em quase todas as áreas da indústria madeireira, segundo SAMLAIC (1983), a emanação do formaldeído continua apresentando grandes problemas, especialmente quando se refere à utilização de chapas aglomeradas nos países industrializados, onde o controle do meio ambiente é mais rígido e severo.

### **2.1.2. Resina poliuretana à base de mamona**

Conhecida internacionalmente como “Castor Oil” e no Brasil por Caturra, a mamona (*Ricinus communis*) é uma planta da família das euforbiáceas, de onde é extraído o óleo de mamona, também conhecido como óleo de rícino. É encontrada em abundância na maioria das regiões brasileiras em estado nativo.

A partir do óleo de mamona é possível sintetizar compostos químicos, tais como o poliol e pré-polímero com diferentes características que, quando misturados, dão origem a um poliuretano. Possuem grande versatilidade da aplicação com propriedades superiores aos polímeros derivados de petróleo.

Segundo ARAUJO (1992), o óleo obtido da mamona é um triglicéride natural não comestível e é o único produto natural com pureza próxima da analítica, o que o torna um produto ímpar do ponto de vista tecnológico. O autor estudou as características das várias composições de resinas poliuretanicas, baseadas no óleo de mamona. Por meio de análise química da reação poliol/pré-polímero foi realizada uma caracterização através dos índices oleoquímicos. Com relação à estabilidade térmica das poliuretanicas, verificou-se através dos termogramas dos ensaios, que até 220°C ocorre apenas uma pequena perda de massa, o que evidencia a estabilidade térmica das resinas até esta temperatura.

A cura desta resina é processada à temperatura ambiente podendo ser acelerada com temperatura até 90°C.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os aglomerados foram manufaturados no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira, do Departamento de Engenharia de Estruturas, da Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo. Foram manufaturadas chapas de três camadas utilizando dois tipos de resinas:

- Resina poliuretana à base de mamona, bicomponente, poliol B1640 e pré-polímero A249, com teor de sólido de 100%;
- Uréia-formaldeído, em estado líquido, conhecida comercialmente como Cascamite PB-2346, com teor de sólido de 66%.

A produção das chapas seguiu as seguintes etapas:

1. Obtenção dos cavacos de madeira;
2. Transformação dos cavacos em partículas;
3. Peneiramento e seleção das partículas;
4. Secagem das partículas até atingir 6% de umidade;
5. Adição da resina, do solvente (água), do catalisador (sulfato de amônia) e da emulsão de parafina - para chapas de uréia-formaldeído;
6. Adição da resina e da parafina - para chapas de adesivo à base de mamona;
7. Formação do colchão;
8. Pré-prensagem e prensagem;
9. Lixamento e apreamento das bordas.

As etapas para manufatura dos aglomerados são apresentadas na Figura 1.

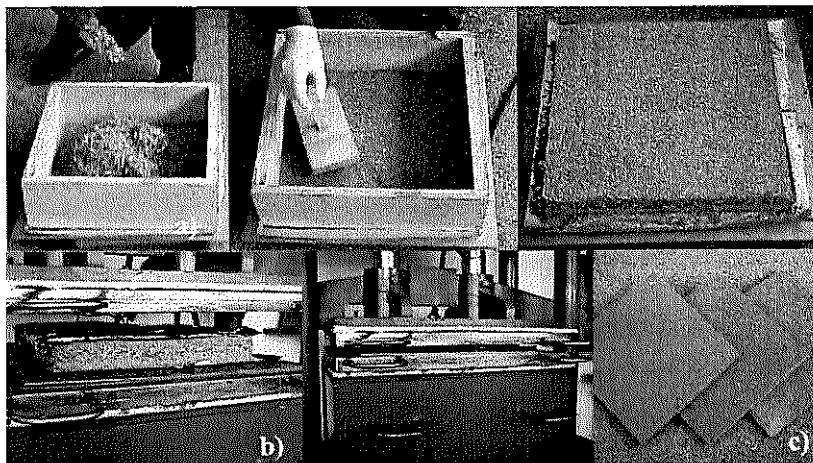


Figura 1 - Etapas na produção dos aglomerados. a) Formação do colchão; b) Prensagem; c) Chapa pronta

A quantidade de materiais utilizados para a manufatura de cada chapa de aglomerado é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Quantidade de materiais para a manufatura dos aglomerados

Chapas de aglomerado	Materiais	Quantidade
Poliuretana á base de mamona	Partículas	1660 g
	Adesivo	10% do peso das partículas
	Parafina	1,5% do peso das partículas
Uréia-formaldeído	Partículas	1500 g
	Adesivo	10% do peso das partículas
	Água	5% do peso do adesivo
	Sulfato de amônia	5% do peso do adesivo
	Parafina	1,5 % do peso das partículas

A prensagem para as chapas com a resina uréia-formaldeído se deu a uma temperatura de 140°C e para as chapas com a resina à base de mamona, a temperatura foi de 60°C. Ambas chapas foram prensadas por 10 minutos, a uma pressão constante de 40 kgf/cm<sup>2</sup>. Após a prensagem esperou-se o período de duas semanas para uniformizar a adesão e retirar os corpos-de-prova. As chapas de aglomerados foram fabricadas com partículas obtidas da espécie *Eucalyptus saligna*.

As propriedades para as chapas de aglomerados foram obtidas segundo documento normativo da ABNT/NBR 14810 – Parte 3: Métodos de ensaio. Os ensaios realizados foram: teor de umidade; densidade; módulos de resistência e elasticidade obtidos no ensaio de flexão estática.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios dos resultados para o teor de umidade, a massa específica aparente, os módulos de resistência e de elasticidade, para as chapas de madeira aglomerada de *Eucalyptus saligna*, manufaturadas com a resina poliuretana à base de mamona.

Tabela 2 - Valores médios para os aglomerados fabricados com a resina poliuretana à base de mamona

Propriedades	Espessura (mm)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Teor de umidade (%)	Flexão estática	
				MOR (MPa)	MOE (MPa)
<b>Média</b>	12,64	0,96	10,9	16,61	2441
<b>CV (%)</b>	2,8	2,6	3,2	13,2	15,9
<b>N</b>			20		

N - Número de corpos-de-prova para cada propriedade analisada; CV - Coeficiente de variação; MOR - Módulo de Ruptura; MOE - Módulo de Elasticidade.

Na Tabela 3 são apresentados os valores médios dos resultados para o teor de umidade, a massa específica aparente, os módulos de resistência e de elasticidade obtidos no ensaio de flexão estática, para as chapas de madeira aglomerada de *Eucalyptus saligna*, manufaturadas com a resina uréia-formaldeído.

Tabela 3 - Valores médios para os aglomerados fabricados com a resina uréia-formaldeído

Propriedades	Espessura (mm)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Teor de umidade (%)	Flexão estática	
				MOR (MPa)	MOE (MPa)
<b>Média</b>	13,4	0,92	10,3	17,98	2752
<b>CV (%)</b>	14	5,4	4,2	11,1	11
<b>N</b>			20		

N - Número de corpos-de-prova para cada propriedade analisada; CV - Coeficiente de variação; MOR - Módulo de Ruptura; MOE - Módulo de Elasticidade.

Os valores da Tabela 3, para as chapas manufaturadas com a resina uréia-formaldeído ficaram um pouco acima dos valores apresentados na Tabela 2, para a resina poliuretana à base de mamona. Porém, a temperatura requerida para a cura da uréia-formaldeído foi de 140°C e para a resina à base de mamona foi de 60°C. Isto representa um ganho significativo de energia na produção de chapas de partículas aglomeradas. Na Figura 2 observa-se a pequena variação, dos módulos de ruptura, entre as chapas produzidas com as diferentes resinas.

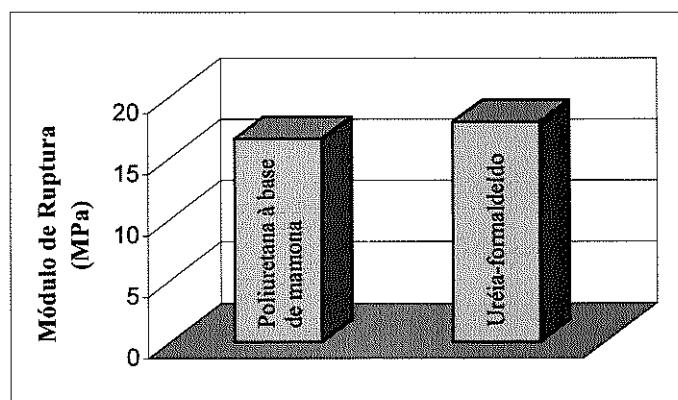


Figura 2 – Comparação entre os módulos de ruptura das chapas

Na Figura 3 é observada a pequena variação nos valores dos módulos de elasticidade, entre as chapas produzidas com as diferentes resinas, objetos desta discussão.

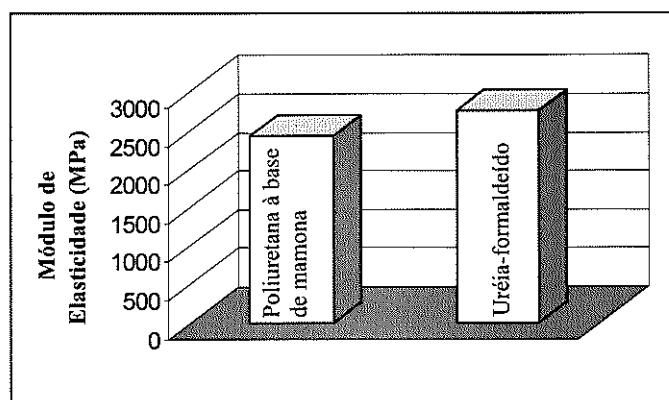


Figura 3 – Comparação entre os módulos de elasticidade das chapas

Outra questão importante a analisar corresponde à percentagem de sólidos de cada resina. A uréia apresenta um teor de sólido de 66% enquanto a resina à base de mamona, um teor de sólido de 100%. Ao adquirir a resina uréia-formaldeído líquida no setor comercial, em torno de 44% do peso total corresponde a água.

Os coeficientes de variação para ambas as chapas foram baixos. LAHR (1990) e SALES (1996) apresentaram coeficientes de variação de 18%, para as propriedades da madeiras, a um teor de umidade de 12%.

#### **4. CONCLUSÕES**

Os valores das propriedades das chapas de partículas aglomeradas manufaturadas com a resina uréia-formaldeído foram levemente superiores aos valores das propriedades das chapas produzidas com a resina poliuretana à base de mamona. Vale ressaltar que a temperatura requerida para a cura da uréia-formaldeído foi de 140°C e para a resina à base de mamona foi de 60°C, o que representa um ganho de energia.

Outro fato corresponde à percentagem de sólidos de cada resina. A uréia-formaldeído, encontrada no comércio de adesivos, corresponde a uma solução com 34% de água para 66% de sólido. Já a resina poliuretana à base de mamona é 100% sólida.

Diante do exposto, estudos devem ser estimulados com o objetivo de quantificar os ganhos da resina poliuretana à base de mamona em relação à resina uréia-formaldeído. Em seqüência a este estudo serão também analisados outros valores de temperaturas, na manufatura de aglomerados com a resina poliuretana à base de mamona.

Sendo assim, as propriedades obtidas para os aglomerados de *Eucalyptus saligna* manufaturados com ambas as resinas, são satisfatórios. A resina poliuretana à base de mamona é uma alternativa eficiente como adesivo na manufatura de aglomerados.

#### **5. AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e tecnológico – CNPq e à Fundação de amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP pelo apoio financeiro.

#### **6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ARAUJO, L. C. R. (1992). **Caracterização química e mecânica de poliuretanas elastoméricas baseadas em materiais oleoquímicos**. São Carlos, SP. Dissertação de Mestrado. Instituto de Física e Química de São Carlos - Universidade de São Paulo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1985). **NBR 14810 - Chapa de madeira aglomerada. Parte3: Métodos de ensaio**. ABNT. Rio de Janeiro, 27p.

AZAMBUJA, M. A. (2002). **Avaliação do adesivo poliuretano à base de mamona para fabricação de madeira laminada colada (MLC)**. São Carlos, SP. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.

DIAS, F.M., LAHR, F.A.R. (2003). Adesivo à base de mamona para compensado. **Revista da Madeira – wood magazine**, ano 13, nº72.

IWAKIRI, S. (1998). **Painéis de madeira**. Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná - FUPEF - Universidade Federal do Paraná, nº 1.1ª edição. 127p.

JESUS, J. M. H. (2000). **Estudo do adesivo poliuretano à base de mamona em madeira laminada colada (MLC)**. São Carlos, SP. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.

LAHR, R. F.A. (1990). **Considerações a respeito da variabilidade de propriedades de resistência e elasticidade da madeira**. São Carlos, SP. Tese de Livre Docência - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.

MALONEY, T.M. (1977). **Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing**. San francisco. 672p.

NASCIMENTO, M. F. (2003). **CPH – Chapas de Partículas Homogêneas: madeiras do nordeste do Brasil**. São Carlos, SP. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.

OLIVEIRA, J. T.; FREITAS, A.R. (1995). Painéis à base de madeira. **Boletim técnico BT/PCC/149**. Escola Politécnica da USP - Departamento de Engenharia de Construção Civil - EPUSP. 44p.

OLMOS, M.A.C. (1992). **Equipamento e processamento de fabricação de chapas aglomeradas a partir de resíduos de madeira**. São Carlos, SP. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.

PETERSON, R.W. (1964). **Wood adhesives**. Ottawa, Forest Products Research Branch, n.1055.

SALES, A. (1996). **Proposição de classes de resistência para madeira**. São Carlos, SP. Tese de Doutorado - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.

SAMLAIC, J. (1983). Os atuais problemas e as possibilidades dos adesivos para madeira. **Revista da Madeira**, n.374, p.7-10.

TONISSI, J.L. (1985). **Madeiras e seus derivados na construção**. São Carlos, SP. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.