

## **Produção de aglomerados com resíduos de Paricá (*Schizolobium parayba var. Amazonicum*)**

**Rogério Adalberto Soliani Amstalden**, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP. e-mail: ramstalden@gmail.com

**Carlito Calil Neto**, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia de Estruturas, São Carlos, SP. e-mail: netousp@gmail.com

**Luciano Donizeti Varanda**, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia de Materiais, São Carlos, SP. e-mail: lu.varanda@hotmail.com

**André Luis Christoforo**, Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia Civil, São Carlos, SP. e-mail: alchristoforo@yahoo.com.br

**Julio Cesar Molina**, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Itapeva, Faculdade de Engenharia, Itapeva, SP. e-mail: molina@itapeva.unesp.br

**Francisco Antonio Rocco Lahr**, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia de Estruturas, São Carlos, SP. e-mail: frocco@sc.usp.br

**Resumo:** Este trabalho apresenta um estudo da viabilidade técnica da produção de painéis de partículas de resíduos de madeira de Paricá com resina poliuretana à base de óleo de mamona. O desempenho físico-mecânico dos painéis produzidos foi avaliado com base na ABNT NBR 14810:2006<sup>(1)</sup>. O desempenho encontrado por meio de ensaios foi comparado com os parâmetros mínimos sugeridos pelas normas internacionais CS 236-66:1968<sup>(2)</sup> e ANSI A208.1-1999<sup>(3)</sup>. Os resultados apontaram excelentes propriedades físico-mecânicas, em alguns casos muito superiores aos valores estipulados. Desta maneira, ficou comprovado o grande potencial a ser explorado que os painéis de partículas de resíduos de madeira de Paricá com resina poliuretana à base de óleo de mamona possuem.

**Palavras-chave:** propriedades físico-mecânicas, resina poliuretana à base de óleo de mamona, painéis de partículas.

### **Particleboards production with waste Paricá (*Schizolobium parayba var. Amazonicum*)**

**Abstract:** This paper presents a study of the technical feasibility of the production of particle board of wood waste Paricá with polyurethane resin based on castor oil. The physical-mechanical performance of the panels produced was evaluated based on the ABNT NBR 14810:2006<sup>(1)</sup>. The performance found by tests was compared with the minimum standards suggested by international CS 236-66:1968<sup>(2)</sup> and ANSI A208.1-1999<sup>(3)</sup>. The results showed excellent physical and mechanical properties, in some cases much higher than the amounts stipulated. Thus, it was proved the great potential to be explored that particle board of wood waste Paricá with polyurethane resin-based castor oil have.

**Keywords:** physical and mechanical properties, polyurethane resin based on castor oil, particle painels.

## 1. Introdução

Como o consumo mundial de madeira vem aumentando e sua produção possui limites econômicos e ecológicos, muitos especialistas acreditam que em breve a falta desse produto se tornará um problema global, pois sua produção será condicionada apenas a alguns países, podendo levar a uma carência por esse material.

Calcula-se que do volume total de uma tora, apenas 40 a 60% seja aproveitado, ou seja, de cada dez árvores cortadas, aproximadamente cinco árvores podem ser aproveitadas para uso comercial. O resíduo florestal na indústria tem sido muito discutido, pois o volume de perdas tem índices ainda muito elevados em marcenarias e pequenas serrarias, repassando suas sobras para serem queimadas em olarias e caldeiras.

A reciclagem, por sua vez, gera economia instantânea à empresa, pois mesmo com o dispêndio na qualificação da mão de obra e de maquinários adequados estes gastos irão se transformar em investimentos, pois as sobras que antes eram descartadas retornarão à empresa como matéria prima ou poderão ser vendidas para terceiros. Todas essas medidas evitam que um material tão versátil quanto a madeira seja queimado ou desperdiçado, auxiliando, no caso de exploração de florestas nativas, na diminuição do desmatamento e em problemas ambientais como desaparecimento da biodiversidade local e do efeito estufa.

A partir do momento que o resíduo possibilita a geração de novos produtos, este passa a ser considerado uma matéria prima. Dessa forma, o que era considerado descartável passa a ter um valor agregado maior, deixando de ser considerado um subproduto do processo produtivo. Para o produtor, o reaproveitamento de resíduos traz benefícios e gera oportunidade de negócios, pois a partir do seu “lixo” ele gera novos produtos, possibilitando o aumento de sua receita e diminuindo o desperdício de matéria prima (Amstalden, 2013)<sup>(4)</sup>.

O Paricá (*Schizolobium amazonicum*) é uma árvore decídua, ou seja, perde suas folhas sazonalmente. As árvores maiores atingem dimensões próximas de 40 m de altura e 100 cm de DAP (diâmetro à altura do peito, medido a 1,30 m do solo), na idade adulta. A madeira de Paricá é leve e moderadamente densa (0,30 a 0,62 g/cm<sup>3</sup>), sendo o alburno de cor creme-amarelado e o cerne de cor marrom-claro (Carvalho, 2007)<sup>(5)</sup>.

O Paricá é encontrado a partir do México até o estado do Mato Grosso entre 20 e 700 metros de altitude. No Brasil, ocorre nos estados do Acre, Amazonas, Mato Grosso, Pará e Rondônia.

Os principais diferenciais do Paricá são: pertence à flora amazônica, abundância de sementes, alto grau de germinação, rápido crescimento, boa forma de fuste, desrama natural, boa trabalhabilidade, fácil secagem e bom acabamento.

Quanto aos painéis aglomerados, uma definição é: “os painéis aglomerados caracterizam-se pela transformação da madeira em pequenas partículas que secas e misturadas com resina sintética termofixa e distribuídas aleatoriamente entre si, são conformadas sob calor e pressão gerando um painel” (Moslemi, 1974)<sup>(6)</sup>.

Segundo Iwakiri (2005)<sup>(7)</sup>, os painéis aglomerados são muito vantajosos quando comparado com painéis de compensado ou à madeira sólida, pois este não possui problemas referentes à anisotropia, presença de nós e a matéria prima pode ser de uma qualidade inferior (resíduos). Outra vantagem é ser um produto engenheirado, possibilitando um controle de suas propriedades mecânicas e físicas e uma maior homogeneidade final do material.

Em relação a resina poliuretana a base de óleo de mamona utilizada, de acordo com Jesus (2000)<sup>(8)</sup>, uma grande vantagem desta resina é que este é um polímero oriundo de recurso natural e renovável de uma planta nativa brasileira, além de não haver necessidade de adição de parafina e nem de sulfato de amônia na composição do adesivo para a fabricação do painel, além de não emitir formaldeído.

O objetivo deste trabalho foi produzir painéis aglomerados com resíduos de Paricá e resina poliuretana à base de óleo de mamona e caracterizá-los quanto as suas propriedades físicas e mecânicas, segundo a norma ABNT NBR 14810:2006<sup>(1)</sup>.

## 2. Materiais e métodos

Os principais equipamentos empregados na confecção dos painéis foram: moinho do tipo Willye Modelo MA 680 com peneira de abertura de 2,8 mm (fig. 1a); encoladeira (batedeira planetária) (fig. 1b); pré-prensa de fabricação própria (fig. 1c) e prensa hidráulica semi-automática modelo MA 098/50, com capacidade de 800 kN e temperatura máxima de 200°C (fig. 1d). A fig. 1 apresenta os equipamentos utilizados.

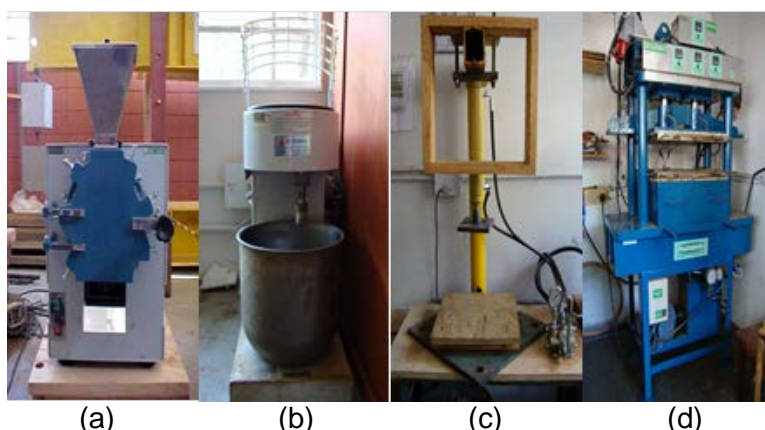


Figura 1 - Equipamentos utilizados: (a) moinho, (b) encoladeira, (c) pré-prensa e (d) prensa hidráulica.

As etapas de produção dos painéis envolveram: redução do resíduo em partículas, encolagem manual e em equipamento específico das partículas, pré-prensagem para formação do colchão, prensagem e acondicionamento.

Inicialmente, os resíduos coletados, que se encontravam com umidade entre 10 e 12%, foram processados para obtenção de partículas homogêneas de 2,8mm em moinho de facas, sendo estas com área de seção quadrada e/ou retangulares, classificadas como “sliver” por Nascimento (2003)<sup>(9)</sup> e citadas como sendo o tipo de partículas utilizadas nos aglomerados convencionais, conforme Iwakiri (2005)<sup>(7)</sup>.

As proporções e quantidades de materiais para cada chapa produzida foi de 616 gramas de partículas de Paricá e 92,4 gramas de resina poliuretana de mamona (isto é, 15% de resina, incluindo as perdas), sendo esta uma resina bicomponente, ou seja, uma mistura na proporção 1:1 entre polioli e isocianato aromático (pré-polímero). A homogeneização da resina com os resíduos foi realizada manualmente prosseguindo-se na encoladeira por aproximadamente cinco minutos.

Para a formação do colchão, as partículas resinadas foram depositadas sobre uma placa metálica no interior de um esquadro com dimensões de 28x28cm e levadas para a pré-prensagem, para a redução na altura e acomodação das partículas encoladas.

A espessura do colchão foi pré-determinada com o propósito de se obter a espessura e densidades finais dos painéis.

A etapa da prensagem do painel foi realizada à 90°C e à pressão específica próxima de 4,5 MPa, sendo o tempo de prensagem de 10 minutos.

Os limitadores entre os pratos da prensa determinaram a espessura nominal das chapas, sendo esta de aproximadamente 10mm, de modo que esta dimensão estivesse de acordo com as chapas usualmente comercializadas.

Após a prensagem, as chapas foram empilhadas para o acondicionamento por 72 horas para prosseguir o processo de cura da resina.

Decorrido este período, os painéis foram esquadrejados com o uso de uma serra circular, nas dimensões de 25x25cm, retirando-se as extremidades para evitar os efeitos de borda, sendo em seguida retirados os corpos de prova relativos a cada tipo de ensaio.

No total foram produzidos sete painéis. De cada painel foram retirados cinco corpos de prova, totalizando 35 corpos de prova para cada propriedade avaliada. A seguir, na fig. 2, tem-se um dos painéis produzidos.



Figura 2 – Um dos painéis produzidos.

A aparelhagem necessária para a obtenção, preparação e acondicionamento dos corpos de prova foi: paquímetro; escala milimetrada e serra circular esquadrejadeira Invicta modelo SCI – 160.

Todos os corpos de prova sofreram um período de estabilização de aproximadamente 72 horas após sua produção, antes de serem ensaiados.

## 2.1. Ensaios

Primeiramente foi realizada uma análise granulométrica com parte dos resíduos de Paricá, para se determinar o tamanho das partículas que originaram tais painéis. Utilizou-se um agitador eletromagnético da Solotest e cinco peneiras com as seguintes aberturas: 2,8; 2; 1,18; 0,425 e 0,063 mm.

Pesou-se 150 gramas de partículas de Paricá numa balança Marconi, modelo AS 5000C com 0,1 gramas de precisão. O material após pesado foi colocado na peneira superior do agitador eletromagnético (fig. 3).

Tais amostras foram submetidas a vibração por tempo de dez minutos e velocidade de vibração 5, permitindo que o material atravessasse as peneiras em ordem decrescente de abertura. Após o tempo de dez minutos foi pesada a quantidade de partículas retidas em cada peneira. A análise foi realizada em triplicata.



Figura 3 – Agitador eletromagnético.

As propriedades físicas avaliadas foram: densidade aparente, inchamento em espessura (para períodos de 2 e 24 horas) e absorção de água (para períodos de 2 e 24 horas).

As propriedades mecânicas avaliadas foram: módulos de elasticidade (MOE) e de ruptura (MOR), ambos na flexão estática e resistência a tração perpendicular (ou adesão interna).

Todas as propriedades físico-mecânicas avaliadas foram determinadas conforme o estabelecido pelo documento normativo ABNT NBR 14810:2006<sup>(1)</sup>.

### 3. Resultados e discussões

Os resultados obtidos são apresentados nas tabs. 1 a 3.

Na tab. 1 são apresentados os valores obtidos para a análise granulométrica realizada. Utilizou-se 150 gramas de resíduos de Paricá em cada uma das três análises realizadas.

Tabela 1 – Classificação granulométrica das partículas utilizadas na confecção dos painéis.

Peneiras		Massa de partículas retidas (g)			Granulometria Média (%)
ASTM (mesh)	Abertura (mm)	1° Classificação	2° Classificação	3° Classificação	
7	2,8	0	0	0	0
10	2	50	35	35	27
16	1,18	55	60	65	40
40	0,425	35	40	40	26
230	0,063	10	15	10	8
recipiente	-	0	0	0	0
<b>Soma</b>		150	150	150	100

Pode-se afirmar que, em média, 27% das partículas de resíduo de Paricá utilizadas possuem dimensões entre 2 e 2,8mm, 40% das partículas tem dimensões entre 1,18 e 2mm, 26% das partículas tem dimensões entre 0,425 e 1,18mm e 8% das partículas tem dimensões entre 0,063 e 0,425mm.

A granulometria média apresentada na tab. 1 é a mesma granulometria das partículas utilizadas para a confecção dos painéis, ou seja, não houve a separação das partículas finas e grossas para a produção dos painéis.

#### 3.1. Propriedades físicas

Na tab. 2 são apresentados os resultados obtidos para as propriedades físicas avaliadas.

Os resultados apresentados na tab. 2, para cada chapa, correspondem a um valor médio de cinco repetições. Abaixo na tab. 2, os valores médios em destaque, correspondem a média das sete chapas, isto é, um valor médio total (dos 35 corpos de prova) da propriedade avaliada.



Tabela 2 – Valores médios de inchamento em espessura (IE), absorção de água (AA) e densidade aparente (DA).

Chapa	IE (%)		AA (%)		DA (kg/m <sup>3</sup> )
	2 horas	24 horas	2 horas	24 horas	
<b>A</b>	3,16	9,23	18,09	41,93	777
<b>B</b>	4,83	10,40	17,61	41,83	792
<b>C</b>	4,27	8,82	12,76	35,37	786
<b>D</b>	3,06	8,52	16,36	39,95	759
<b>E</b>	2,38	6,49	10,41	27,55	836
<b>F</b>	3,12	9,83	14,00	39,57	797
<b>G</b>	4,74	9,22	14,22	35,93	777
<b>Médio</b>	<b>3,65</b>	<b>8,93</b>	<b>14,78</b>	<b>37,45</b>	<b>789</b>

### 3.2. Propriedades mecânicas

Na tab. 3 são apresentados os resultados obtidos para as propriedades mecânicas avaliadas.

Os resultados apresentados na tab. 3, para cada chapa, correspondem a um valor médio de cinco repetições. Abaixo na tab. 3, os valores médios em destaque, correspondem a média das sete chapas, isto é, um valor médio total (dos 35 corpos de prova) da propriedade avaliada.

Tabela 3 – Valores médios de módulo de elasticidade (MOE), módulo de ruptura (MOR) e resistência à tração perpendicular (RTP).

Chapa	MOE (MPa)	MOR (MPa)	RTP (MPa)
<b>A</b>	2164	23,0	2,22
<b>B</b>	2285	28,3	2,18
<b>C</b>	2115	23,3	2,31
<b>D</b>	2044	22,6	2,37
<b>E</b>	2240	25,1	2,36
<b>F</b>	2162	23,8	2,23
<b>G</b>	1924	21,7	2,19
<b>Médio</b>	<b>2133</b>	<b>24,0</b>	<b>2,27</b>

Para se avaliar a viabilidade técnica dos painéis aglomerados de resíduos de Paricá e resina poliuretana a base do óleo de mamona, tomou-se como base as normas ABNT NBR 14810:2006<sup>(1)</sup>, CS 236-66:1968<sup>(2)</sup> e ANSI A208.1:1999<sup>(3)</sup>.

Os parâmetros técnicos considerados na comparação são: módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR), ambos na flexão estática, resistência à tração perpendicular (RTP), densidade aparente (DA) e inchamento em espessura (IE) e absorção de água, ambos após 2 horas.

Os parâmetros mais importantes, e que se relacionam com o desempenho do material são o MOR, RTP, IE (2h) e AA (2h).

Como pode ser observado na tab. 4, os painéis de resíduos de Paricá com resina à base de óleo de mamona possuem módulo de elasticidade (MOE) maior que o estabelecido pela norma ANSI A208.1:1999<sup>(3)</sup> e menor que o estabelecido pela norma CS 236-66:1968<sup>(2)</sup>. A norma ABNT NBR 14810:2006<sup>(1)</sup> não estabelece valor de referência para o MOE.

Em relação ao módulo de ruptura (MOR), os painéis de Paricá apresentaram valores superiores aos de referência das três normas (ABNT NBR 14810:2006<sup>(1)</sup>, CS 236-66:1968<sup>(2)</sup> e ANSI A208.1:1999<sup>(3)</sup>).

A resistência à tração perpendicular (RTP) dos painéis produzidos foi muito superior aos valores de referência fornecidos pelas normas ABNT NBR 14810:2006<sup>(1)</sup>, CS 236-66:1968<sup>(2)</sup> e ANSI A208.1:1999<sup>(3)</sup>.

A densidade aparente média (DA) dos painéis de Paricá ficou na faixa de painéis de média densidade, segundo as normas CS 236-66:1968<sup>(2)</sup> e ANSI A208.1:1999<sup>(3)</sup>. Em relação a norma ABNT NBR 14810:2006<sup>(1)</sup>, a densidade aparente média dos painéis produzidos excedeu ligeiramente a faixa de média densidade.

Quanto ao inchamento em espessura (IE), os painéis produzidos ficaram bem abaixo dos valores mínimos recomendados pelas normas ABNT NBR 14810:2006<sup>(1)</sup> e CS 236-66:1968<sup>(2)</sup>. A norma ANSI A208.1:1999<sup>(3)</sup> não estabelece valor de referência para o IE.

As três referidas normas não estabelecem valores de referência para a propriedade absorção de água (AA). Porém, o valor médio obtido neste estudo para tal propriedade é superior aos valores obtidos por Varanda (2012)<sup>(10)</sup>, que obteve valores na faixa de 4,56 a 7,20%, para painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis* e casca de aveia (*Avena sativa*), aderidos com a mesma resina.

Tabela 4 – Parâmetros técnicos.

Parâmetros	Paricá	Norma ABNT NBR 14810:2006 <sup>(1)</sup>	Norma CS 236-66:1968 <sup>(2)</sup>	Norma ANSI A208.1:1999 <sup>(3)</sup>
<b>MOE (MPa)</b>	2133	-	2403	1725
<b>MOR (MPa)</b>	24,0	18,0	11,0	11,0
<b>RTP (MPa)</b>	2,27	0,40	0,48	0,40
<b>DA (kg/m³)</b>	789	551-750	600-800	640-800
<b>IE - 2h (%)</b>	3,65	8,00	8,00	-
<b>AA - 2h (%)</b>	14,78	-	-	-

Mesmo que os painéis de partículas de resíduos de Paricá possuem uma absorção de água após 2 horas maior que o recomendado por empresas do setor (máximo de 12%), pelo fato de a grande maioria das propriedades avaliadas, como o módulo de ruptura, a resistência à tração perpendicular e o inchamento em espessura após 2 horas atenderem ao recomendado pelas principais normas, é possível afirmar que tais painéis são viáveis tecnicamente.

#### 4. Conclusões

A utilização de partículas de resíduos da madeira de Paricá com a resina poliuretana a base de óleo de mamona para a confecção de painéis de partículas aglomeradas é viável tecnicamente.

Outro fator relevante é o fato dos materiais utilizados serem sustentáveis do ponto de vista ambiental, pois o resíduo de Paricá é reaproveitado, além de a resina ser de procedência natural, renovável e não tóxica.

Os painéis produzidos apresentaram valores de absorção de água após 2 horas ligeiramente maior que o recomendado pelas empresas do setor.

A maioria das propriedades avaliadas, como o módulo de ruptura, a resistência à tração perpendicular e o inchamento em espessura após 2 horas atenderem ao recomendado por normas nacional e internacionais.

#### 5. Referências

- (1) Associação Brasileira de Normas Técnicas (2006). *NBR 14810 - Chapas de madeira aglomerada*. Rio de Janeiro.
- (2) Commercial Standard (1968). *CS 236-66 - Mat formed Wood particleboard*. [s. l.].
- (3) American National Standard (1999). *A208.1 - Particleboard*. Gaithersburg.
- (4) Amstalden, R.A.S. (2013). *Emprego de resíduos de Paricá (Schizolobium parayba var. Amazonicum) na produção de chapas de partículas homogêneas utilizando resina poliuretana à base de óleo de mamona*. São Carlos. 68p. Trabalho de conclusão de curso (graduação) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- (5) Carvalho, P.E.R. (2007). *Paricá - Schizolobium amazonicum*. Colombo, Paraná, Embrapa Florestas. (Circular Técnica n. 142). 8p.
- (6) Moslemi, A.A. (1974). *Particleboard*. London, Southern Illinois University Press, 244p.
- (7) Iwakiri, S. (2005). *Painéis de madeira reconstituída*. Curitiba, Paraná, Fupef, 247p.
- (8) Jesus, J.M.H. (2000). *Estudo do adesivo poliuretano à base de mamona em madeira laminada colada (MLC)*. São Carlos. 106f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- (9) Nascimento, M.F. (2003). *CPH – Chapas de Partículas homogêneas – Madeiras do Nordeste do Brasil*. São Carlos. 134p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- (10) Varanda, L.D. (2012). *Produção e avaliação do desempenho de painéis de partículas de Eucalyptus grandis confeccionados com adição de casca de aveia*. São Carlos. 155p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.