

# PRODUÇÃO DE PAINÉIS AGLOMERADOS DE ALTA DENSIFICAÇÃO COM USO DE RESINA MELAMINA-URÉIA-FORMALDEÍDO

Setsuo Iwakiri<sup>1</sup>, Alan Sulato de Andrade<sup>2</sup>, Antonio Américo Cardoso Junior<sup>2</sup>, Edielma do Rocio Chipanski<sup>2</sup>, José Guilherme Prata<sup>2</sup>, Márcia Keiko Ono Adriazola<sup>2</sup>

(recebido: 7 de abril de 2005; aceito: 31 de agosto de 2005)

**RESUMO:** Esta pesquisa foi desenvolvida com objetivo de avaliar a influência da densidade do painel e da resina melamina-uréia-formaldeído (MUF) sobre as propriedades do painel aglomerado visando aplicações semi-estruturais. Os painéis foram produzidos com densidade nominal de 0,65 g/cm<sup>3</sup> e 0,90 g/cm<sup>3</sup> utilizando resina uréia-formaldeído como testemunha e melamina-uréia-formaldeído. Os resultados demonstraram aumento na estabilidade dimensional e propriedades mecânicas dos painéis com o aumento na densidade e teor de resina MUF. As partículas “finas” destinadas às camadas externas de painéis aglomerados no processo industrial podem ser utilizadas para produção de painéis homogêneos de alta densidade para aplicações semi-estruturais, tais como piso para habitações.

Palavras-chave: Aglomerado, piso, melamina-uréia-formaldeído.

## PRODUCTION OF HIGH DENSITY PARTICLEBOARD USING MELAMINE-UREA-FORMALDEHYDE RESIN

**ABSTRACT:** This research was developed aiming to evaluate the effects of board density and melamine-urea-formaldehyde resin on the properties of particleboard for semi-structural applications. The boards were manufactured with nominal density of 0.65 g/cm<sup>3</sup> and 0.90 g/cm<sup>3</sup> using urea-formaldehyde resin as control and melamine-urea-formaldehyde. The results showed a better dimensionally stability and mechanical properties of the boards manufactured with higher density and MUF resin content. The “fine” furnish used for external layer of particleboard in the industrial process, could be used for high density homogeneous board to semi-structural uses, such as flooring applications.

Key word: particleboard, flooring, melamine-urea-formaldehyde.

### 1 INTRODUÇÃO

Os painéis de madeira aglomerada começaram a ser produzidos no Brasil em 1966, pela Placas do Paraná S.A., instalada na cidade de Curitiba-PR. Na condição de um produto novo no mercado brasileiro, o aglomerado passou por períodos de questionamentos, principalmente, quanto às limitações técnicas, como alta absorção de água e inchamento em espessura, usinabilidade de bordos e problemas quanto à fixação de parafusos. No decorrer do tempo, foram incorporadas novas tecnologias, como uso de parafina, controle do gradiente de densidade e sistemas de parafusamento mais eficientes, visando minimizar tais problemas. Atualmente, o aglomerado

é uma das principais matérias-primas para o setor moveleiro brasileiro e sua produção em 2003 foi de 1.808.000 m<sup>3</sup> (ABIPA, 2002).

Algumas indústrias de aglomerados já estudam a possibilidade de produção de painéis alternativos destinados para pisos laminados. Para esse tipo de aplicação, alguns fatores devem ser considerados, tais como: alta densidade do painel, partículas com dimensões menores visando melhor acabamento superficial e uso de resina resistente à umidade. Naturalmente, a questão relativa à relação custo-benefício é de suma importância, tendo em vista a concorrência com outros produtos como pisos à base de lâminas e fibras de madeira (HDF – high density fiberboard).

<sup>1</sup> Professor do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR – Av. Lothário Meissner, 3400 – Jardim Botânico – 80210-170 – Curitiba, PR – setsuo@floresta.ufpr.br

<sup>2</sup> Alunos do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da UFPR – Av. Lothário Meissner, 3400 – Jardim Botânico – 80210-170 – Curitiba, PR.

A madeira de pinus é a principal matéria-prima utilizada na produção de painéis aglomerados no Brasil. Em função da sua baixa densidade, os painéis produzidos apresentam alta razão de compactação, influenciando sobre suas propriedades físico-mecânicas. De acordo com o Maloney (1993) e Moslemi (1974), a razão de compactação é o termo utilizado para definir a relação entre a densidade do painel e a densidade da madeira utilizada na sua produção. Kelly (1977) afirma que, para painéis de mesma densidade, produzidos com madeira de baixa densidade, as propriedades mecânicas serão superiores, entretanto, a sua estabilidade dimensional será inferior em comparação aos painéis produzidos com madeira de maior densidade. Segundo o autor, nos painéis com maior razão de compactação, há maior quantidade de partículas de madeira e, conseqüentemente, maior densificação do painel, resultando em maior inchamento higroscópico da madeira e liberação das tensões de compressão geradas durante o processo de prensagem. No estudo realizado por Albuquerque (2002) com painéis aglomerados com densidades de 0,5; 0,7 e 0,9 g/cm<sup>3</sup>, foram constatados aumento nos valores de ligação interna, flexão estática e inchamento em espessura, para painéis com maiores densidades. Por outro lado, os valores de absorção de água diminuíram com o aumento na densidade dos painéis.

No processo industrial para produção de painéis aglomerados, são utilizadas partículas com maiores dimensões na camada interna e partículas menores ou “finos” nas camadas externas. A utilização de “finos” na superfície do aglomerado tem a finalidade de conferir ao painel melhor acabamento superficial, visando principalmente melhorar as condições de aplicação de materiais de revestimentos.

A geometria de partículas é um parâmetro importante no processo de produção de painéis aglomerados. O comprimento, largura e espessura das partículas são controlados no processo produtivo, visando a homogeneidade das dimensões que irão influenciar na área superficial específica e, conseqüentemente, no consumo de resina e propriedades dos painéis (KELLY, 1977). De acordo com Maloney (1993) e Moslemi (1974), partículas com dimensões menores requerem maior consumo de resina, tendo em vista a maior área superficial específica para o encolamento adequado das

partículas. Com a aplicação de mesma quantidade de resina, o painel produzido com partículas maiores, apresentará maior ligação interna, tendo em vista sua menor área superficial específica e, conseqüentemente, maior disponibilidade de resina por unidade de área (MALONEY, 1993). Os estudos realizados por Zhang (1998), demonstraram que há um aumento significativo nas propriedades de módulo de elasticidade e de ruptura em flexão estática, em painéis produzidos com partículas de 0,1 mm nas camadas externas e de 0,5 mm na camada interna. Portanto, é importante ressaltar que os elementos dimensionais das partículas sejam definidos de acordo com o tipo de painel e da qualidade desejada.

Com relação à resina, a uréia-formaldeído é a mais utilizada pelas indústrias de painéis aglomerados. De acordo com Marra (1992), a resina uréia-formaldeído tem vantagem em relação ao custo, entretanto, apresenta baixa resistência à umidade, sendo classificado como de uso interior. Para aplicações que requerem alta resistência à umidade, como em usos estruturais, as resinas fenol-formaldeído e melamina-formaldeído são as mais indicadas. Atualmente, os fabricantes de resinas para madeira passaram a produzir em escala comercial as resinas compostas, tais como melamina-uréia-formaldeído e fenol-melamina-uréia-formaldeído, para aplicações semi-estruturais, com maior resistência à umidade e custos compatíveis.

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar as propriedades de painéis aglomerados de alta densificação, produzidos com partículas “finas” destinadas às camadas externas utilizando resina melamina-uréia-formaldeído, visando aplicações semi-estruturais, tais como piso para habitações.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas nesta pesquisa, partículas de *Pinus spp* destinadas para a camada externa do painel aglomerado, provenientes da linha de produção da empresa Berneck Aglomerados S.A. Para a colagem das partículas foram utilizadas as resinas uréia-formaldeído (UF) e melamina-uréia-formaldeído (MUF), com as seguintes características: UF: viscosidade = 650 cP, teor de sólidos = 65%, pH = 7,8; MUF: viscosidade = 210 cP, teor de sólidos = 66%, pH = 7,6.

Os painéis foram produzidos com diferentes densidades e teor de resina, conforme demonstrado na Tabela 1.

**Tabela 1** – Delineamento experimental.**Table 1** – Experimental chart.

Resina Tratamento	UF		MUF		
	T1	T2	T3	T4	T5
Densidade do Painei (g/cm <sup>3</sup> )	0,650	0,650	0,900	0,900	0,900
Teor de resina (%)	8	8	8	12	15

UF: uréia-formaldeído; MUF: melamina-uréia-formaldeído.

As partículas secas ao teor de umidade de 3% foram “encoladas” em aplicador de cola tipo tambor rotatório com processo de aspersão e o colchão foi formado por deposição aleatória das partículas em caixa formadora com dimensões de 50 x 50 cm.

Os painéis foram prensados à temperatura de 140°C, pressão específica de 40 kgf/cm<sup>2</sup> e tempo de prensagem de 8 minutos. Foram produzidos 15 painéis com dimensões nominais de 50 x 50 x 1,5 cm, sendo três por tratamento. Após o acondicionamento dos painéis na câmara climática à temperatura de 20 ± 2°C e umidade relativa de 65 ± 3%, foram confeccionados os corpos de prova para ensaios de flexão estática, ligação interna, absorção de água e inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão em água, em números de 4, 5 e 2 corpos de prova, respectivamente. Os ensaios foram realizados com base nos procedimentos descritos na norma ASTM D 1037 (ASTM, 1993).

Os resultados dos ensaios foram avaliados mediante análise de variância em delineamento inteiramente casualizado e teste de Tukey, ao nível de probabilidade de 95%.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### Densidade dos painéis

Os valores médios de densidade dos painéis estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2** – Valores médios de densidade do painei.**Table 2** – Average values of board density.

Tratamento	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
T1 – 0,65 g/cm <sup>3</sup> e 8% UF	0,589 b
T2 – 0,65 g/cm <sup>3</sup> e 8% MUF	0,624 b
T3 – 0,90 g/cm <sup>3</sup> e 8% MUF	0,854 a
T4 – 0,90 g/cm <sup>3</sup> e 12% MUF	0,895 a
T5 – 0,90 g/cm <sup>3</sup> e 15% MUF	0,861 a

A análise estatística aponta que os tratamentos T1 e T2 diferem significativamente dos tratamentos T3, T4 e T5, conforme estabelecido no delineamento experimental. Observa-se também que os valores médios de densidade dos painéis são inferiores aos valores estabelecidos no delineamento experimental de 0,65 g/cm<sup>3</sup> e 0,90 g/cm<sup>3</sup>. Essa diferença pode ser atribuída à especificidade das condições laboratoriais em relação ao processo industrial, como perdas de materiais durante o manuseio das partículas nas etapas de aplicação da cola, formação do colchão e prensagem dos painéis.

#### Inchamento em espessura

Os valores médios de inchamento em espessura dos painéis após 2 e 24 horas de imersão em água estão apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3** – Valores médios de inchamento em espessura (IE).**Table 3** – Average values of thickness swellings.

Tratamento	Inchamento em espessura (%)	
	2 horas	24 horas
T1 – 0,65 g/cm <sup>3</sup> e 8% UF	27,419 a	29,999 a
T2 – 0,65 g/cm <sup>3</sup> e 8% MUF	19,602 ab	21,008 ab
T3 – 0,90 g/cm <sup>3</sup> e 8% MUF	25,085 ab	26,862 ab
T4 – 0,90 g/cm <sup>3</sup> e 12% MUF	16,860 ab	18,553 b
T5 – 0,90 g/cm <sup>3</sup> e 15% MUF	15,190 b	16,765 b

Para inchamento em espessura – 2 horas dos painéis com densidade de 0,90 g/cm<sup>3</sup>, pode-se constatar que houve uma tendência de redução desta propriedade com o aumento no teor de resina.

Os painéis produzidos com densidade nominal de 0,90 g/cm<sup>3</sup> e teor de resina MUF de 12% (T4) e 15% (T5) apresentaram valores médios de inchamento em espessura – 24 horas, estatisticamente inferiores em comparação aos painéis produzidos com densidade nominal de 0,65 g/cm<sup>3</sup> e resina UF (T1). Embora os painéis tenham sido produzidos com maior densidade, a colagem das partículas com resina MUF em proporções maiores, conferiu aos painéis maior estabilidade dimensional.

De acordo com os valores apresentados na Tabela 3, pode-se constatar que, em termos de médias absolutas, todos os painéis produzidos com a resina MUF apresentaram tendências para menor inchamento em espessura. Os resultados obtidos são altamente satisfatórios, uma vez que, segundo Albuquerque (2002), o aumento na densidade do painel resulta no maior inchamento em espessura. Como referencial, o inchamento em espessura (24 horas) de painel OSB com resina MUF obtido por Saldanha (2004) foi de 53,39%, e valor mínimo exigido pela Norma CSA 0437-0 (CSA, 1993) para painéis estruturais é de 15% após 2 horas de imersão em água.

#### Absorção de água

Os valores médios de absorção de água dos painéis após 2 e 24 horas de imersão em água estão apresentados na Tabela 4.

Os painéis produzidos com densidade nominal de 0,90 g/cm<sup>3</sup> e resina MUF (T3, T4, T5) apresentaram valores médios de absorção de água estatisticamente iguais entre si e inferiores em comparação aos painéis produzidos com densidade nominal de 0,65 g/cm<sup>3</sup> (T1, T2). De acordo com Maloney (1993), a baixa absorção de água dos painéis com maior densidade, deve-se principalmente à estrutura mais fechada do painel, resultante da maior densificação das partículas de madeira durante a prensagem.

Analisando o comportamento dos painéis produzidos com a mesma densidade nominal (0,65 g/cm<sup>3</sup>), porém com diferentes resinas, UF (T1) e MUF (T2), pode-se constatar que não houve efeito significativo do tipo de resina na absorção de água. Como referencial, a absorção de água (24 horas) de painel OSB com resina MUF obtido por Saldanha (2004) foi de 95,11%.

**Tabela 4** – Valores médios de absorção de água – 2 e 24 horas.

*Table 4* – Average values of water absorption – 2 and 24 hours.

Tratamento	Absorção de água (%)	
	2 horas	24 horas
T1 – 0,65 g/cm <sup>3</sup> e 8% UF	124,016 a	126,582 a
T2 – 0,65 g/cm <sup>3</sup> e 8% MUF	102,343 a	105,785 a
T3 – 0,90 g/cm <sup>3</sup> e 8% MUF	61,391 b	65,840 b
T4 – 0,90 g/cm <sup>3</sup> e 12% MUF	42,436 b	47,711 b
T5 – 0,90 g/cm <sup>3</sup> e 15% MUF	45,539 b	51,452 b

#### Módulos de ruptura e elasticidade em flexão estática

Os valores médios de módulo de elasticidade e módulo de ruptura em flexão estática dos painéis estão apresentados na Tabela 5.

Os painéis produzidos com densidade nominal de 0,90 g/cm<sup>3</sup> e resina MUF (T4, T5) apresentaram valores médios de MOR estatisticamente superiores em relação aos painéis produzidos com densidade nominal de 0,65 g/cm<sup>3</sup> (T1, T2). Os resultados apresentados na Tabela 5 comprovam que o aumento na densidade do painel deve ser acompanhado também de aumento no teor de resina, sendo neste caso, de 8% para 12% e 15%. Este fato é justificado por Maloney (1993), Marra (1992) e Moslemi (1974), que afirmam sobre a relação direta entre o aumento na densidade do painel e área superficial específica das partículas e, conseqüentemente, a necessidade de aumento no teor de resina para recobrir adequadamente toda a extensão superficial das mesmas.

Quanto ao MOE, os resultados apontam uma tendência similar ao MOR. Entretanto, para esta propriedade, o efeito positivo do aumento na densidade dos painéis sobre o MOE é comprovado estatisticamente. Os painéis produzidos com densidade nominal de 0,90 g/cm<sup>3</sup> (T3, T4, T5), apresentaram valores médios de MOE estatisticamente superiores em comparação aos painéis com densidade nominal de 0,65 g/cm<sup>3</sup> (T1, T2). Albuquerque (2002) encontrou maiores valores de MOE e MOR, com aumento na densidade dos painéis de 0,50; 0,70 e 0,90 g/cm<sup>3</sup>.

Vale ressaltar que, os painéis produzidos com densidade nominal de 0,90 g/cm<sup>3</sup> e 12% de resina MUF (T4), atingiram valores médios de MOR e MOE superiores em relação aos valores mínimos de 16,5 Mpa e 2401 Mpa, respectivamente, exigidos pela norma CS 236-66 (COMMERCIAL STANDARD, 1968), para painéis de alta densidade com colagem fenólica. Pode se observar ainda que, em termos de médias absolutas, as propriedades de MOR e MOE, assim como da ligação interna (Tabela 6) do T4 com 12% de resina foi superior em relação ao T5 com 15% de resina. Embora sejam estatisticamente iguais, esta tendência pode estar relacionada ao fato de não ter ocorrido a cura total da resina, em virtude das interações entre o tempo de prensagem e maior quantidade de resina líquida e vapor.

**Tabela 5** – Valores médios de módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE).

*Table 5* – Average values of modulus of rupture (MOR) and modulus of elasticity (MOE).

Tratamento	Flexão estática (Mpa)	
	MOR	MOE
T1 - 0,65 g/cm <sup>3</sup> e 8% UF	0,685 b	267,087 b
T2 - 0,65 g/cm <sup>3</sup> e 8% MUF	1,895 b	503,692 b
T3 - 0,90 g/cm <sup>3</sup> e 8% MUF	8,728 ab	2075,689 a
T4 - 0,90 g/cm <sup>3</sup> e 12% MUF	17,507 a	2938,471 a
T5 - 0,90 g/cm <sup>3</sup> e 15% MUF	11,091 a	2373,243 a

### Ligação interna

Os valores médios de ligação interna dos painéis estão apresentados na Tabela 6.

Os painéis produzidos com densidade nominal de 0,90 g/cm<sup>3</sup> e com teores de resina MUF de 12% (T4) e 15% (T5), apresentaram valores médios de ligação interna estatisticamente superiores em comparação aos painéis com densidade nominal de 0,65 g/cm<sup>3</sup> (T1, T2). Não foram constatadas diferenças estatísticas entre os valores médios obtidos para os painéis com densidade nominal de 0,65 g/cm<sup>3</sup>, produzidos com resina UF e MUF. Os resultados mostram que o aumento na densidade do painel deve ser acompanhado de um aumento no teor de resina, tendo em vista que a área superficial das partículas

será maior nos painéis com maior densidade. A relação direta existente entre a densidade do painel, teor de resina e ligação interna, é relatado por diversos autores, entre os quais, Maloney (1993), Kelly (1977) e Moslemi (1974).

Na comparação com os valores referenciais das normas, os painéis com densidade nominal de 0,90 g/cm<sup>3</sup>, produzidos com 12% e 15% de resina MUF, apresentaram valores médios de ligação interna expressivamente superiores em relação ao valor mínimo de 0,86 Mpa, exigido pela Norma CS 236-66 (COMMERCIAL STANDARD, 1968), para painéis aglomerados com densidade superior a 0,80 g/cm<sup>3</sup> e colagem fenólica.

**Tabela 6** – Valores médios de ligação interna.

*Table 6* – Average values of internal bond.

Tratamento	Ligação Interna (Mpa)
T1 - 0,65 g/cm <sup>3</sup> e 8% UF	0,19 c
T2 - 0,65 g/cm <sup>3</sup> e 8% MUF	0,42 c
T3 - 0,90 g/cm <sup>3</sup> e 8% MUF	0,71 bc
T4 - 0,90 g/cm <sup>3</sup> e 12% MUF	1,50 a
T5 - 0,90 g/cm <sup>3</sup> e 15% MUF	1,33 ab

## 4 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos nesta pesquisa, as seguintes conclusões podem ser apresentadas:

O aumento na densidade do painel aglomerado, acompanhado de aumento no teor de resina, contribuiu para redução no inchamento em espessura e absorção de água. Para o módulo de ruptura, módulo de elasticidade e ligação interna, a densidade do painel, independente da quantidade de resina, foi o fator que contribuiu para o aumento significativo dos valores destas propriedades mecânicas.

Os painéis produzidos com densidade nominal de 0,90 g/cm<sup>3</sup> e 12% de resina MUF, apresentaram valores de propriedades mecânicas superiores em relação ao valor mínimo exigido pela Norma CS 236-66 (COMMERCIAL STANDARD, 1968), para painéis aglomerados de alta densidade com colagem fenólica.

As partículas “finas” destinadas às camadas externas de painéis aglomerados podem ser utilizadas para fabricação de painéis homogêneos de alta densidade, para aplicações semi-estruturais, tais como piso para habitações.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, C. E. C. **Interações de variáveis no ciclo de prensagem de aglomerados**. 2002. 150 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard methods of evaluating the properties of wood-based fiber and particle panel materials: ASTM D 1037 – 78B**. Philadelphia, 1993. (Annual Book of ASTM standards).
- ASSOCIAÇÃO BASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS AGLOMERADOS. **Relatório anual**. São Paulo, 2002.
- CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION. **OSB and waferboard: CSA 0437.0-93**. Ontario, 1993. 18 p.
- COMMERCIAL STANDARD. **Mat formed wood particleboard: CS 236-66**. [S.l.], 1968.
- KELLY, M. W. **A critical literature review of relationship between processing parameters and physical properties of particleboard**. Madison: U.s. for. Prod. Lab. General Technical Report, 1977. 66 p.
- MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing**. San Francisco: M. Freeman, 1993. 689 p.
- MARRA, A. A. **Technology of wood bonding**. New York: V. Nostrand Reinhold, 1992. 453 p.
- MOSLEMI, A. A. **Particleboard**. Illinois: Southern Illinois University, 1974. v. 2, 245 p.
- SALDANHA, L. K. **Alternativas tecnológicas para produção de chapas de partículas orientadas OSB**. 2004. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.
- ZHANG, M. Manufacture and properties of high-performance oriented strand board composite using thin strands. **Japan Wood Science**, Tokyo, n. 44, p. 191-197, 1998.