

## **PRODUÇÃO DE CHAPAS DE MADEIRA AGLOMERADA DE *Pinus elliotii* Engelm. COM INCLUSÃO LAMINAR**

Setsuo Iwakiri<sup>1</sup>, Alexandre Florian da Costa<sup>2</sup>, Ricardo Jorge Klitzke<sup>2</sup>,  
Ingrid Raquel Nielsen<sup>2</sup>, Reinaldo A. Reichert Alberti<sup>2</sup>, Inge Niefe<sup>2</sup>

**RESUMO:** O presente trabalho foi desenvolvido com objetivo de avaliar a influência da inclusão de lâminas de madeira na composição estrutural de chapas de partículas de madeira aglomerada de *Pinus elliotii* Engelm. Foram utilizadas partículas destinadas à produção industrial de aglomerados, lâminas de madeira de 1,6mm de espessura e resina à base de uréia-formaldeído. O delineamento experimental foi formulado em 4 tratamentos, sendo: T1 - chapas com 100% de partículas, T2 - chapas com inclusão de 1 lâmina na posição central, T3 - chapas com 2 lâminas nas superfícies e T4 - chapas com 2 lâminas nas superfícies e 1 na posição central. Os resultados de absorção de água, inchamento em espessura e taxa de não retorno em espessura melhoram significativamente com a inclusão de lâminas (T2, T3 e T4). Os resultados de módulo de elasticidade e módulo de ruptura no sentido perpendicular às fibras (lâminas da capa) foram inferiores com a inclusão laminar. Por outro lado, os testes realizados no sentido paralelo às fibras (lâminas da capa) apresentaram resultados superiores com a inclusão de 2 e 3 lâminas respectivamente, demonstrando a influência da maior resistência da madeira no sentido paralelo às fibras. Verificou-se também a tendência similar para o ligação interna das chapas. Os resultados globais demonstraram melhor comportamento das chapas em termos de estabilidade dimensional e resistência mecânica com a inclusão de lâminas na sua composição estrutural.

**PALAVRAS-CHAVE:** lâminas de madeira, resistência da chapa, estabilidade dimensional.

## **MANUFACTURE OF PARTICLEBOARD FROM *Pinus elliotii* Engelm. WITH VENEER INCLUSION**

**ABSTRACT:** The main objective of this work was to evaluate the influence of veneer inclusion in the structural composition of particleboard made from *Pinus elliotii* Engelm. The materials utilized were “sliver” type furnish, 1.6mm veneer and ureia-formadheyde resin. The experimental chart was formulated as: T1 - board with 100% furnish, T2 - board with inclusion of one veneer at core line, T3 - board with inclusion of two veneers at top and bottom line and T4 - board with two veneers at top and bottom line and one veneer at core line. The results of water absorption, thickness swelling and springback were improved with veneer inclusion (T2, T3 and T4). The modulus of elasticity and modulus of rupture to cross grain direction decreased with veneer inclusion.

<sup>1</sup> Professor Titular - Doutor, Departamento de Engenharia e Tecnologia Rurais, UFPR - C. P. 2959, CEP 80035-050, Curitiba - PR

<sup>2</sup> Aluno do Curso de Pós - Graduação em Engenharia Florestal - UFPR

On the other hand, at the parallel direction the results of MOE and MOR were higher with inclusion of two and three veneer respectively, showing the influence of high wood resistance at parallel direction of grain. The internal bond presented similar behavior. The general analysis showed that veneer inclusion on the top and bottom surfaces improve the dimensional stability and mechanical properties of the particleboards.

KEY WORDS: wood particles, veneer, board strenght.

## 1. INTRODUÇÃO

As indústrias de painéis particulados de madeira tem apresentado uma evolução significativa em termos de produção e inovação tecnológica a partir da década de 80. A necessidade de melhor aproveitamento da matéria prima - madeira e uso racional de recursos florestais tem incentivado o desenvolvimento de novos produtos e processos produtivos como painéis estruturais “waferboards”, “OSB - chapas de partículas orientadas”, chapas homogêneas e “MDF - chapas de fibras de média densidade”.

Os setores de construção civil e de mobiliário são os principais responsáveis pela evolução tecnológica do segmento de indústrias de painéis particulados de madeira, tendo em vista a utilização deste como matéria prima básica.

Na produção de chapas de madeira aglomerada (aglomerados), as principais variáveis de controle do processo produtivo são: densidade da madeira a ser utilizada, densidade da chapa, geometria e umidade das partículas, quantidade de resina e ciclo de prensagem (Moslemi, 1974; Kelly, 1977 e Maloney, 1977).

Do controle destas variáveis dependem as propriedades de resistência e estabilidade dimensional das chapas produzidas, sendo as mais importantes: módulo de elasticidade e

de ruptura em flexão estática, ligação interna, resistência ao arranque de parafuso, absorção de água e inchamento em espessura (Kollman, Kuenzi e Stamm, 1975 e Tsoumis, 1991).

algumas das limitações de chapas de madeira aglomerada produzidas no Brasil são a estabilidade dimensional e resistência à flexão, sendo esta influenciada pelas pequenas dimensões das partículas utilizadas. O “aglomerado” é utilizado para uso interno, principalmente para fabricação de móveis, divisórias e componentes de aparelhos eletro-eletrônicos.

As limitações em termos de resistência mecânica e estabilidade dimensional do aglomerado podem ser melhoradas através de inclusão de lâminas na sua composição estrutural, nas camadas externas e interna da chapa. A pesquisa realizada por Keinert Jr (1990) comprovou a eficiência da utilização de reforço laminar em chapas de partículas estruturais com relação às propriedades de estabilidade dimensional e resistência à flexão estática.

Desta forma, a gama de utilização de aglomerado poderá ser ampliada com o “reforço laminar”, como produto destinado a outras finalidades de uso interno que requeiram melhor estabilidade dimensional e resistência mecânica.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência da inclusão laminar na

composição estrutural do aglomerado sobre as propriedades de estabilidade dimensional e resistência mecânica das chapas.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados nesta pesquisa foram partículas de madeira de *Pinus elliottii* Engelm destinadas à produção industrial de “aglomerado” e lâminas de madeira com espessura média de 1,6mm da mesma espécie.

As partículas foram secas ao conteúdo de umidade de 2-3% base peso seco e as lâminas na faixa de 6-8%.

A resina utilizada foi a uréia-formaldeído (UF), com teor de sólidos de

64%, pH 7.4 e viscosidade de 700cp. Nas partículas foram aplicadas 12% de resina base seca das partículas e cloreto de amônia como catalisador. Para a colagem das lâminas, aplicaram-se 150g/m<sup>2</sup> de adesivo por linha de cola simples, com a seguinte formulação: resina (38.3%), extensor (28.7%), água (30.7%) e catalisador (2.3%).

• As diferentes composições estruturais das chapas (tratamentos 1, 2, 3 e 4) estão apresentadas na tabela 1 e figura 1.

As lâminas com adesivo foram incorporadas durante o processo de formação do colchão e prensadas simultaneamente, à temperatura de 140°C, pressão específica de 40 kgf/cm<sup>2</sup> e tempo de prensagem de 8 minutos.

Tabela 1

Composição estrutural das chapas de partículas-lâminas

*Structural composition of the particleboards*

Tratamento	Composição estrutural das chapas	Nº de chapas
01	P	4
02	P/L/P	4
03	L/P/L	4
04	L/P/L/P/L	4

Onde:

P - partículas

L - lâminas

- tratamento 01 (testemunha) corresponde ao “aglomerado”, sem incorporação de lâminas.
- No tratamento 02, foi incorporado uma lâmina na posição central da chapa (linha neutra).
- Para o tratamento 03, foram incorporadas uma lâmina na superfície superior e outra na superfície inferior da chapa.
- Finalmente, no tratamento 04 foram incorporadas três lâminas, sendo duas nas superfícies superior e inferior e outra na posição central, sendo esta no sentido cruzado às demais.

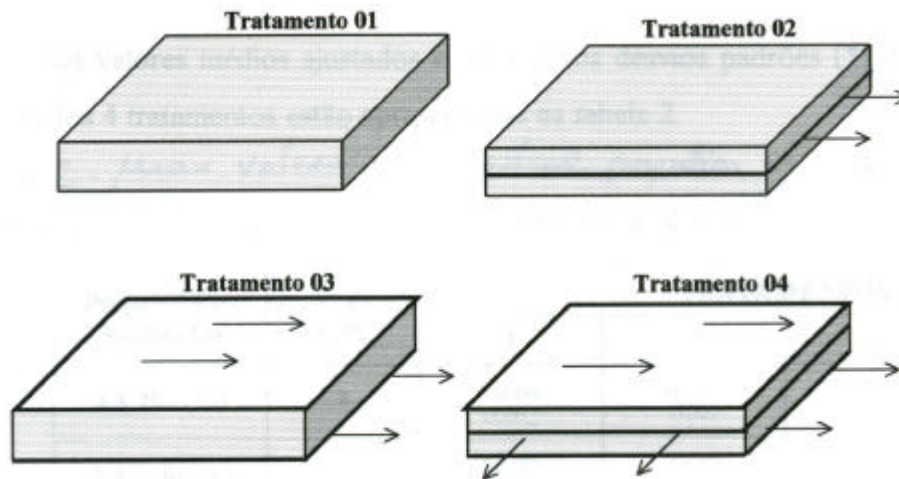


Figura 1  
Desenho esquemático da composição estrutural das chapas

*A sketch of the structural composition of the particleboards.*

Foram produzidas 4 chapas por tratamento, num total de 16 chapas com as dimensões nominais de 45x55x1.25cm e densidade nominal de 0.75g/cm<sup>3</sup>.

Após a manufatura, as chapas foram esquadrejadas e colocadas numa câmara de climatização à temperatura de 20 ± 2°C e umidade relativa de 65 ± 3%, até atingirem a umidade de equilíbrio de aproximadamente 12%.

A seguir, as chapas foram seccionadas no laboratório de usinagem para confecção de corpos de prova para ensaios físico-mecânicos, segundo a norma americana ASTM D 1037 (1980).

Os corpos de prova para ensaios de flexão estática foram retirados nos sentidos paralelo e perpendicular às fibras das lâminas da capa das chapas produzidas.

As seguintes propriedades foram avaliadas:

- Módulo de elasticidade em flexão estática (MOE);
- Módulo de ruptura em flexão estática (MOR);
- Ligação interna (LI);
- Absorção de água 2 e 24 horas (AA2, AA24);
- Inchamento em espessura 2 e 24 horas (IE2, IE24);

Os resultados foram avaliados estatisticamente por meio de análise de covariância em delineamento inteiramente casualizado e teste de Tukey para comparação de médias entre os tratamentos ao nível de probabilidade de 99%.

### 3. RESULTADOS E DICUSSÕES

#### 3.1. Propriedades físicas

Os valores médios ajustados e respectivos desvios padrões (\*) das propriedades físicas das chapas dos 4 tratamentos estão apresentados na Tabela 2.

#### - Absorção de água (AA2 - AA24)

Os valores médios de absorção de água após 2 horas de imersão variaram de 48,64 a 76,64% e após 24 horas de imersão variaram de 62,59 a 82,25%. Pode se observar que a inclusão de 1, 2 e 3 lâminas na chapa reduziu progressivamente a porcentagem de absorção

Tabela 2

Valores médios das propriedades físicas das chapas

*Mean values of physical properties of the particleboards.*

Propriedades Analisadas	Nº de C.P.	TRATAMENTOS			
		1	2	3	4
AA 2hs (%)	8	76,64 (4,09) *	66,77 (1,32)	58,62 (3,59)	48,64 (2,14)
AA 24hs (%)	8	82,25 (3,51)	75,88 (1,01)	71,95 (2,78)	62,59 (0,95)
IE 2hs (%)	8	29,47 (2,50)	26,26 (2,95)	20,76 (3,32)	17,54 (2,11)
IE 24hs (%)	8	32,24 (1,66)	29,02 (1,11)	23,99 (4,38)	19,33 (2,26)

onde:

AA - Absorção de Água (2 e 24 horas)

IE - Inchamento em Espessura (2 e 24 horas)

de água. A figura 2 apresenta graficamente os valores médios de absorção de água após 2 e 24 horas de imersão em água.

A análise estatística demonstrou que as médias entre os tratamentos são diferentes estatisticamente ao nível de probabilidade de 99%.

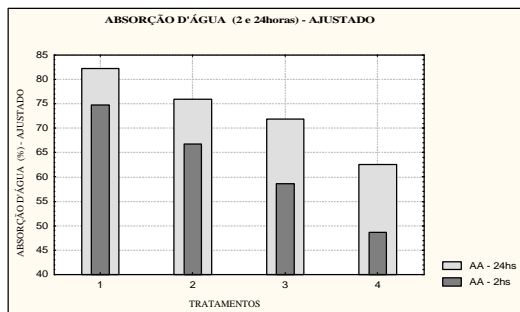


Figura 2

Valores médios de absorção de água (AA) após 2 e 24 horas de imersão

*Mean values of water absorption (AA) after immersion for 2 and 24 hours.*

**- Inchamento em espessura (IE2 - IE24)**

Os valores médios de inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão em água variaram respectivamente de 17,54 a 29,47% e de 19,33 a 32,24%. Os resultados apresentaram a mesma tendência observada para o teste de absorção de água, ou seja, a inclusão de 1, 2 e 3 lâminas na composição estrutural da chapa reduziu progressivamente os valores de inchamento em espessura. Este resultado pode ser atribuído à redução na extensão de camadas de partículas submetidas à compressão durante a prensagem e conseqüente menor liberação das tensões de compressão em condições extremas de umidade.

A figura 3 apresenta graficamente os valores médios de inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão em água. A análise estatística demonstrou diferenças significativas entre os tratamentos ao nível de probabilidade de 99%.

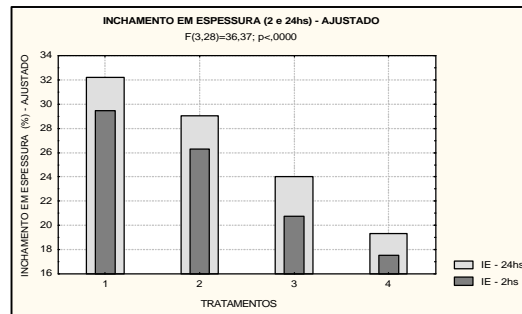


Figura 3.

Valores médios de inchamento em espessura (IE) após 2 e 24 horas de imersão em água

*Mean values of thickness swelling (IE) after immersion for 2 and 24 hours.*

**3.2. Propriedades mecânicas**

Os valores médios ajustados e respectivos desvios padrões (\*) das propriedades mecânicas das chapas dos 4 tratamentos estão apresentados na tabela 3.

Tabela 3

Valores médios das propriedades mecânicas das chapas.

*Mean values of mechanical properties of particleboards.*

Propriedades Analisadas	Nº de C.P.	TRATAMENTOS			
		1	2	3	4
MOE perp. (Kgf/cm <sup>2</sup> )	8	48554,2 (10414,1)*	35881,1 (3316,6)	28032,8 (1354,0)	26217,9 (2869,7)
MOR perp. (Kgf/cm <sup>2</sup> )	8	212,26 (43,99)	193,57 (19,14)	168,58 (14,09)	178,38 (14,66)
MOE par. (Kgf/cm <sup>2</sup> )	8	48152,3 (1228,4)	36485,4 (2148,8)	86453,4 (17463,5)	112299,1 (29259,6)
MOR par. (Kgf/cm <sup>2</sup> )	8	209,95 (33,33)	190,97 (25,84)	493,62 (97,71)	568,44 (96,34)
LI (Kgf/cm <sup>2</sup> )	16	9,23 (1,65)	7,61 (1,52)	12,87 (1,47)	11,65 (2,14)

Onde: MOE - Módulo de Elasticidade (kgf/cm<sup>2</sup>) - perpendicular e paralelo às fibras

MOR - Módulo de Ruptura (kgf/cm<sup>2</sup>) - perpendicular e paralelo à fibras

LI - Ligação Interna (kgf/cm<sup>2</sup>)

### - Módulo de Elasticidade (MOE) e Módulo de Ruptura (MOR)

#### Perpendicular às fibras

Os valores médios de MOE perpendicular às fibras variaram de 26217,9 a 48554,25 kgf/cm<sup>2</sup>, enquanto o MOR variou de 168,58 a 212,26 kgf/cm<sup>2</sup>. A redução dos valores do MOE e MOR das chapas com a inclusão laminar pode ser atribuída à menor resistência da madeira à flexão no sentido perpendicular às fibras. A lâmina correspondente à posição central da chapa não influenciou na resistência da chapa por estar localizada na linha neutra.

A figura 4 apresenta graficamente os valores médios de MOE e MOR. De acordo com a análise estatística, para o MOE apenas os tratamentos 3 e 4 apresentaram-se iguais estatisticamente, e para os demais tratamentos as diferenças foram estatisticamente significativas. Para o MOR os tratamentos 1 e 3 foram estatisticamente diferentes, enquanto os demais tratamentos não apresentaram diferenças estatísticas entre si ao nível de probabilidade de 95%.

### - Módulo de Elasticidade (MOE) e Módulo de Ruptura (MOR)

#### Paralelo às fibras

Os valores médios de MOE paralelo às fibras variaram de 36485,4 a 112299,1 kgf/cm<sup>2</sup>, enquanto o MOR variou de 190,97 a 568,44 kgf/cm<sup>2</sup>. Pode-se observar, através da figura 5, que ambas as propriedades apresentaram valores maiores com a inclusão de 2 e 3 lâminas (T3 e T4) na sua composição estrutural, demonstrando o efeito positivo do reforço laminar e a maior

resistência da madeira à flexão no sentido paralelo às fibras.

Tanto para o MOE como para o MOR a análise estatística demonstrou que apenas os tratamentos 1 e 2 são estatisticamente iguais ao nível de probabilidade de 99%. A inclusão de uma lâmina na posição central (linha neutra) não influenciou os resultados de MOE e MOR.

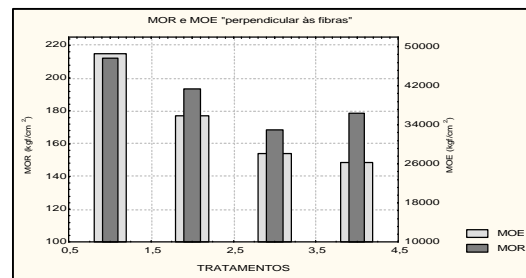


Figura 4  
Valores médios de MOE e MOR (kgf/cm<sup>2</sup>) - "perpendicular às fibras".

*Mean values of MOE and MOR (kgf/cm<sup>2</sup>) - "perpendicular to the fibres".*

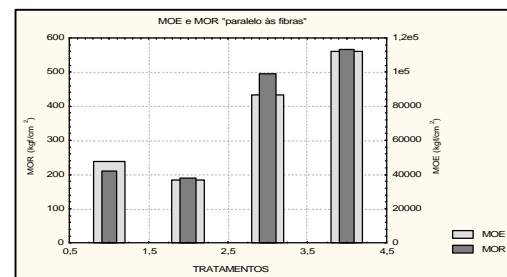


Figura 5  
Valores médios de MOE e MOR (kgf/cm<sup>2</sup>) - "paralelo às fibras"

*Mean values of MOE and MOR (kgf/cm<sup>2</sup>) - "parallel to the fibres".*

#### - Ligação Interna (LI)

Os valores médios de ligação interna variaram de 7,61 a 12,87 kgf/cm<sup>2</sup> (figura 6). A análise estatística demonstrou que somente os tratamentos 3 e 4 são estatisticamente iguais a nível de probabilidade de 99%, indicando que com a inclusão de 2 e 3 lâminas na composição estrutural do painel houve um incremento significativo da ligação interna em relação às chapas com 100% de partículas e com a inclusão de uma lâmina na posição central.

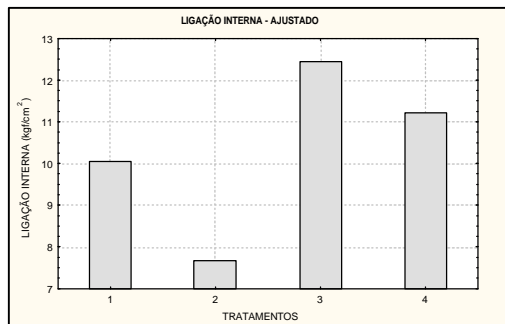


Figura 6  
Valores médios de ligação interna (kgf/cm<sup>2</sup>)

*Mean values of internal bond (kgf/cm<sup>2</sup>).*

#### 4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

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

- A inclusão de lâminas na composição estrutural dos painéis reduziu significativamente os valores de absorção de água, inchamento em espessura e taxa de não retorno em espessura. Este fato pode ser atribuída à redução na extensão de camadas de partículas submetidas à compressão com a inclusão de camadas correspondentes às laminas;

- Os módulos de elasticidade e de ruptura no sentido perpendicular às fibras foram inferiores com a inclusão laminar em relação às chapas constituídas com 100% de partículas. Pode-se comprovar a influência da menor resistência da madeira à flexão no sentido perpendicular à grã no comportamento global das chapas;

- No sentido paralelo às fibras, os módulos de elasticidade e de ruptura apresentaram valores superiores com a inclusão de 2 lâminas. Neste caso, fica comprovada a influência da maior resistência da madeira à flexão no sentido paralelo à grã no comportamento global das chapas. A inclusão da 3<sup>o</sup> lâmina, na posição central, não influenciou nos valores destas propriedades;

- Os valores obtidos para a ligação interna também foram superiores com a inclusão de 2 e 3 lâminas na composição estrutural das chapas;

- Os resultados obtidos indicam que a inclusão de reforço laminar em chapas de aglomerados podem melhorar substancialmente as suas propriedades, possibilitando a sua utilização em situações que requeiram maior resistência e estabilidade dimensional. Recomendam-se estudos com a utilização de resina à base de fenol-formaldeído com o objetivo de produção de chapas de aglomerado estrutural com reforço laminar no sentido de melhorar ainda mais a sua qualidade com relação à estabilidade dimensional.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus sinceros agradecimentos à Placas do Paraná S.A. e



Alba Química S.A., respectivamente, pela doação das partículas de madeira e adesivo utilizados nesta pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **Annual book at ASTM standards.** Philadelphia, 1982. – p. (ASTM 1037-78B) Standard methods of evaluating the properties of wood-base fiber and particle materials, p...
- KEINERT JR, S. Chapas de composição estruturais com reforço laminar. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 15, n.1, p.87-95, 1990.
- KELLY, M.W. **Critical literature review of relationship between processing parameters and physical properties of particleboard.** USDA Forest Service Rep. FPL, v.10, 66p, 1977.
- KOLLMANN, F.F.P.; KUENZI, E.W.; STAMM, A.J. **Principles of wood science and technology. Volume II - Wood Based Materials.**New York: Springer Verlag, 1975. 703p.
- MALONEY, T.M. **Modern particleboard and dry-process fiber board manufacture.** San Francisco: Miller Freeman, 1977. 672p.
- MOSLEMI, A.A. **Particleboard.** Illinois. Southern Illinois University Press, 1974. v.2, 245p.
- TSOUMIS, G. **Science and technology of wood - structure, properties, utilization.** New York. Chapman & Hall, 1991. 494p.