

PRODUÇÃO DE COMPENSADOS DE *Pinus taeda* L. E *Pinus oocarpa* Schiede COM DIFERENTES FORMULAÇÕES DE ADESIVO URÉIA FORMALDEÍDO¹

Setsuo Iwakiri², José de Castro Silva³, José Reinaldo Moreira da Silva³, Carlos Roberto Alves³ e Carlos Augusto Puehringer⁴

RESUMO - Este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade de painéis compensados de *Pinus taeda* e de *Pinus oocarpa*, com 20 e 24 anos de idade, respectivamente, utilizando três diferentes formulações de adesivo uréia-formaldeído. Foram produzidos 18 painéis, com três repetições por tratamento. As formulações com maior proporção relativa de resina não influenciaram de forma conclusiva as propriedades físico-mecânicas dos painéis. Os painéis de *P. oocarpa* apresentaram valores médios de resistência da linha de cola, módulos de elasticidade e de ruptura superiores àqueles dos painéis de *P. taeda*. Os resultados das propriedades físico-mecânicas dos painéis indicaram grande potencial de utilização de lâminas de *P. oocarpa* para produção de compensados.

Palavras-chave: *Pinus*, painéis compensados e uréia-formaldeído.

PLYWOOD MANUFACTURING FROM *Pinus elliottii* L. AND *Pinus oocarpa* Schiede WITH DIFFERENT FORMULATIONS OF THE UREA-FORMALDEHYDE RESIN

ABSTRACT - The objective of this study was to evaluate the quality of both *Pinus taeda* and *Pinus oocarpa* plywood, 20 and 24-years-old, respectively, using three different formulations of urea formaldehyde resin. A total of 18 boards were produced, using three repetitions per treatment. The formulations containing a high relative proportion of the resin did not show a conclusive influence on the physical and mechanical properties of the boards. The boards made from *P. oocarpa* showed higher average values of the glue line strength, modulus of elasticity and modulus of rupture in comparison to boards of *P. taeda*. The results showed that the evaluation of the physical and mechanical properties of the board, indicate that the veneers of *P. oocarpa* have a high potentiality for plywood production.

Key words: *Pinus*, plywood, urea-formaldehyde.

1. INTRODUÇÃO

A indústria brasileira de compensados conta com aproximadamente, 300 unidades, com uma capacidade instalada de 2,2 milhões de m³/ano. É um segmento bastante fragmentado, predominando empresas de pequeno porte, com estrutura de produção tipicamente familiar, uma vez que as 40 maiores indústrias respondem

por mais de 60% da capacidade instalada (ABINCE, 1998). Os principais fatores limitantes ao desenvolvimento da indústria de compensados no Brasil podem ser resumidos em três pontos principais: a) deficitária estrutura de produção; b) elevados custos da matéria-prima, principalmente as da Região Norte; e c) inexpressivos investimentos tecnológicos realizados nas unidades produtoras.

¹ Recebido para publicação em 26.1.2001.

Aceito para publicação em 20.6.2002.

² Professor Titular do Dep. Engenharia e Tecnologia Florestal da Universidade Federal do Paraná - UFPR. ³ Doutorandos em Ciências Florestais, UFPR. ⁴ Mestrando em Ciências Florestais, UFPR. Av. Lothário Meissner, 3400, J. Botânico - 80210-170 Curitiba-PR.

A produção de compensados no Brasil está, em sua maior parte, baseada na utilização de madeiras tropicais, oriundas da Região Amazônica. A madeira de *Pinus*, no entanto, vem ocupando um espaço bastante representativo, a partir de reflorestamentos localizados na Região Sul do País. Os altos custos de transporte também têm levado os fabricantes de compensados localizados nesta região a reduzirem a participação de lâminas originárias da Região Norte. Com isto, vem aumentando o consumo de lâminas de *Pinus* spp., embora existam limitações de qualidade nas lâminas de capa, que continuam sendo trazidas do Norte do País.

O potencial silvicultural das espécies de *Pinus* no Brasil é um fator fundamental para a sustentação do parque industrial madeireiro, sendo as mais plantadas e industrializadas o *Pinus elliottii* Engelm. e de *P. taeda*. No entanto, existem muitas outras espécies de *Pinus* tropicais com grande potencial de utilização, que devem ser objetos de pesquisa tecnológica.

As espécies de *Pinus* apresentam a vantagem de rápido crescimento, no entanto existem também algumas limitações técnicas. A baixa densidade e a alta permeabilidade da madeira são alguns dos fatores citados por Marra (1992), e que também influenciam significativamente o processo de colagem dos painéis e a resistência da linha de cola. No caso específico de coníferas de rápido crescimento, as diferenças em densidade entre os lenhos inicial e tardio e, ainda, entre os lenhos juvenil e adulto são limitações técnicas na colagem das lâminas destas espécies (Tsoumis, 1991). Kollman et al. (1975) afirmam que, como regra geral, a grande variabilidade na densidade da madeira de coníferas depende mais da porcentagem relativa do lenho tardio do que da variabilidade das densidades individuais dos lenhos inicial e tardio. De acordo com Bendtsen (1978), para alcançar êxito no uso dos recursos florestais provenientes de reflorestamentos, os conceitos tradicionais devem ser adaptados às características da matéria-prima, especialmente no que concerne aos crescentes índices percentuais de lenho juvenil existente nas árvores de rápido crescimento.

As interações entre as variáveis do processo de produção de compensados são muito abrangentes. Além das características inerentes à madeira, o tipo, a quantidade e a composição do adesivo, assim como os procedimentos empregados na colagem de lâminas, são de importância fundamental na qualidade das chapas (Sellers, 1985; Baldwin, 1995). Nos aspectos concernentes à composição do adesivo, as diferentes proporções de resina, de

extensor, de água e de catalisador estão relacionadas diretamente com a resistência da linha de cola das chapas produzidas (Marra, 1992). Para maiores proporções de resina, em partes por peso do adesivo na sua formulação, a qualidade da ligação adesiva será superior. Na condição inversa, com maior grau de extensão, o custo final do adesivo será inferior, no entanto a qualidade da ligação também será inferior. O importante, portanto, seria a otimização da relação custo-benefício, em função dos requisitos técnicos com base nas classes de qualidade do compensado, para o uso a que se destina (Sellers, 1985; Marra, 1992).

O presente estudo foi conduzido com o objetivo de avaliar a qualidade de painéis de madeira compensada de *Pinus taeda* e *Pinus oocarpa*, com 20 e 24 anos de idade, respectivamente, utilizando três diferentes formulações de adesivo à base de resina uréia-formaldeído.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Material

As espécies utilizadas nesta pesquisa foram *Pinus taeda* e *Pinus oocarpa*, com idades de 20 e 24 anos e densidade básica média de 0,48 e 0,47 g/cm³, respectivamente, provenientes de plantios da empresa INPACEL S.A., localizados no município de Arapoti, Estado do Paraná.

A resina utilizada na composição do adesivo foi a uréia-formaldeído, com a viscosidade de 560 cp e teor de sólidos de 65%, e sulfato de amônia, como catalisador.

2.2. Manufatura dos Painéis Compensados

As lâminas de madeira com espessura de 3,2 mm foram seccionadas em dimensões finais dos painéis de 500 x 500 mm e secas ao teor de umidade em torno de 10%.

Os painéis foram produzidos com três diferentes formulações, conforme apresentado no Quadro 1.

Foram produzidos três painéis para cada formulação, perfazendo um total de 18 para as duas espécies estudadas. Os procedimentos de colagem foram:

- Gramatura = 350 g/m² (linha dupla);
- Temperatura = 100 °C;
- Pressão específica = 10 kgf/cm²; e
- Tempo de prensagem = 9 minutos.

Quadro 1 – Formulações do adesivo uréia-formaldeído
Table 1 – Urea-formaldehyde adhesive formulations

Formulação (partes/peso)	(1)	(2)	(3)
Resina	100	100	100
Extensor (trigo)	25	75	125
Água	20	80	140
Catalisador	7	7	7

2.3. Ensaio Físico-Mecânicos dos Painéis

Após o acondicionamento dos painéis ao teor de umidade de equilíbrio de $12 \pm 1\%$, foram retirados os corpos-de-prova para os ensaios de resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento, flexão estática (módulos de elasticidade e de ruptura), inchamento mais recuperação em espessura e recuperação em espessura. Os ensaios foram realizados de acordo com os procedimentos descritos na norma ASTM D-805 (1982).

Os resultados dos ensaios foram analisados estatisticamente por meio da análise de variância e do teste de Tukey, a 95% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Resistência da Linha de Cola aos Esforços de Cisalhamento

Os valores médios de resistência da linha de cola estão apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 – Valores médios da resistência da linha de cola
Table 2 – Glue line shear test average values

Tratamento	Valor Médio (kgf/cm ²)
<i>Pinus taeda</i> – Formulação (1)	14,28 a b
<i>Pinus taeda</i> – Formulação (2)	15,73 b
<i>Pinus taeda</i> – Formulação (3)	10,61 a
<i>Pinus oocarpa</i> – Formulação (1)	22,18 c
<i>Pinus oocarpa</i> – Formulação (2)	18,06 b
<i>Pinus oocarpa</i> – Formulação (3)	17,08 b

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, a 95% de probabilidade.

Com base nos resultados do Quadro 2, verifica-se que para a espécie *P. taeda* os painéis produzidos com a formulação (2) apresentaram valores médios de resistência da linha de cola estatisticamente iguais ao da formulação (1) e superior ao da (3). Por outro lado, para a espécie *P. oocarpa*, os painéis produzidos com a

formulação (1) apresentou valor médio de resistência da linha de cola estatisticamente superior aos das formulações (2) e (3). Esta diferença pode ser atribuída ao menor grau de extensão e, conseqüentemente, à maior proporção relativa da resina na composição do adesivo, resultando em ligações adesivas mais resistentes.

Entre as espécies estudadas, pode-se observar uma clara tendência de melhor desempenho dos painéis produzidos com *P. oocarpa*, em relação aos painéis de *P. taeda*. Para os painéis produzidos com as formulações (1) e (3), as diferenças entre as espécies foram estatisticamente significativas, a 95% de probabilidade.

3.2. Módulos de Elasticidade e de Ruptura

Os valores médios de módulo de elasticidade e módulo de ruptura em flexão estática estão apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 – Valores médios de módulos de elasticidade e de ruptura

Table 3 – Modulus of elasticity and modulus of rupture average values

Tratamento	Módulo de Elasticidade (kgf/cm ²)	Módulo de Ruptura (*) (kgf/cm ²)
<i>Pinus taeda</i> – Formulação (1)	86.498,13 a	653,06
<i>Pinus taeda</i> – Formulação (2)	94.865,50 a	732,91
<i>Pinus taeda</i> – Formulação (3)	86.881,50 a	654,86
<i>Pinus oocarpa</i> – Formulação (1)	124.092,93 b	782,10
<i>Pinus oocarpa</i> – Formulação (2)	104.679,39 ab	755,58
<i>Pinus oocarpa</i> – Formulação (3)	117.855,09 b	751,09

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, a 95% de probabilidade.

(*) médias estatisticamente iguais entre os tratamentos, a 95% de probabilidade.

Com base nos resultados do Quadro 3, pode-se observar que não houve diferenças estatisticamente significativas para o módulo de elasticidade entre os painéis produzidos com diferentes formulações do adesivo, tanto para a espécie *P. taeda*, como para *P. oocarpa*. Este resultado pode estar relacionado à influência da variabilidade da densidade da madeira de lenhos tardio e inicial na composição do painel, alterando os efeitos da maior proporção relativa da resina na ligação adesiva.

Entre as espécies estudadas, observa-se uma tendência clara de melhor desempenho dos painéis produzidos com *P. oocarpa*, em relação aos painéis de *P. taeda*. Para os painéis produzidos com formulações (1) e (3), as

diferenças foram estatisticamente significativas, a 95% de probabilidade. Provavelmente, este fato pode estar relacionado ao maior módulo de elasticidade das lâminas de madeira de *P. oocarpa*, independentemente das interações entre o adesivo e a madeira.

Com relação ao módulo de ruptura, pode-se observar que não houve diferenças estatisticamente significativas entre as diferentes formulações do adesivo e, também, entre as espécies. Entretanto, para as três formulações de adesivo, os painéis produzidos com *P. oocarpa* apresentaram maiores valores de médias absolutas quando comparadas com as dos painéis de *P. taeda*. Da mesma forma como no módulo de elasticidade, esta diferença pode estar relacionada ao maior módulo de ruptura das lâminas de madeira de *P. oocarpa*, independentemente das interações entre o adesivo e a madeira.

3.3. Inchamento Mais Recuperação em Espessura e Recuperação em Espessura

Os valores médios de inchamento mais recuperação em espessura e recuperação em espessura estão apresentados no Quadro 4.

Quadro 4 – Valores médios de inchamento mais recuperação em espessura e recuperação em espessura

Table 4 – Swelling plus thickness recovery and thickness recovery average values

Tratamento	Inchamento Mais Recuperação (%) (*)	Recuperação (%) (*)
<i>Pinus taeda</i> – Formulação (1)	11,20	6,26
<i>Pinus taeda</i> – Formulação (2)	10,55	5,52
<i>Pinus taeda</i> – Formulação (3)	10,08	5,19
<i>Pinus oocarpa</i> – Formulação (1)	14,88	9,40
<i>Pinus oocarpa</i> – Formulação (2)	14,19	8,62
<i>Pinus oocarpa</i> – Formulação (3)	13,20	8,55

(*) médias estatisticamente iguais entre os tratamentos, a 95% de probabilidade.

Com base nos resultados do Quadro 4, pode-se observar que não houve diferenças estatisticamente significativas entre os valores médios de inchamento mais recuperação em espessura dos painéis produzidos com diferentes formulações do adesivo e, também, entre as espécies. Entre as formulações os valores são próximos,

o que não permite avaliar a influência de diferentes proporções relativas da resina na composição do adesivo. No entanto, entre as espécies, verificam-se tendências de maior inchamento mais recuperação em espessura dos painéis produzidos com *P. oocarpa*, em relação aos painéis de *P. taeda*.

Com relação à recuperação em espessura, pode-se observar que não houve diferenças estatisticamente significativas entre os valores médios dos painéis produzidos com diferentes formulações do adesivo e, também, entre as espécies. No entanto, na comparação entre as médias absolutas, verificam-se tendências claras de aumento na recuperação em espessura, para painéis produzidos com maior proporção relativa de resina na composição do adesivo. Entre as espécies, os painéis de *P. oocarpa* apresentaram maiores médias absolutas de recuperação em espessura, quando comparadas com as dos painéis de *P. taeda*, para todas as três formulações utilizadas. Ocorre a dificuldade de expor algumas razões sobre estas constatações, uma vez que praticamente não há diferenças na densidade da madeira das duas espécies e, portanto, a taxa de compressão exercida sobre os painéis durante a prensagem não é diferenciada.

Pode-se constatar também que o inchamento efetivo dos painéis, que é a diferença entre o inchamento mais recuperação em espessura e a recuperação em espessura, foi aproximadamente igual entre os tratamentos.

4. CONCLUSÕES

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

- As formulações do adesivo com maior proporção relativa de resina não contribuíram de forma conclusiva para melhorar os resultados de resistência da linha de cola, módulos de elasticidade e de ruptura.
- Entre as espécies, os painéis de *P. oocarpa* apresentaram valores médios superiores de resistência da linha de cola, módulos de elasticidade e de ruptura, em relação aos painéis de *P. taeda*.
- Embora sendo estatisticamente iguais, as propriedades de inchamento mais recuperação em espessura foram maiores para os painéis produzidos com adesivo que continha maior proporção relativa de resina. Os painéis de *P. oocarpa* apresentaram maiores valores médios de inchamento mais recuperação em

espessura em relação aos painéis de *P. taeda*. No entanto, com maior recuperação em espessura, os valores de inchamento efetivo foram aproximadamente iguais.

- Os resultados das propriedades físico-mecânicas dos painéis indicam grande potencial de utilização de lâminas de *P. oocarpa* para produção de compensados.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos às empresas ALBA QUÍMICA S.A. e INPACEL PAPEL E CELULOSE S.A., respectivamente, pela doação da resina uréia-formaldeído e das lâminas de madeira utilizadas nesta pesquisa.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **Testing veneer, plywood and other glued veneer constructions**. Philadelphia: 1982. (ASTM, 805)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA COMPENSADA E INDUSTRIALIZADA - ABIMCI. **Relatório Estatístico**. São Paulo: 1998.

BALDWIN, R. F. **Plywood manufacturing practices**. San Francisco: Miller Freeman, 1995. 388 p.

BENDTSEN, B. A. Properties of wood from improved and intensively managed trees. In: **ECONOMICS & FINANCIAL MANAGEMENT AND TIMBER PRODUCTION TECHNICAL COMMITTEES OF THE FOREST PRODUCTS RESEARCH SOCIETY**, 1978. Atlanta: **Proceedings...** Atlanta: 1978. p.1-78.

KOLLMANN, F. F. P.; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J. **Principles of wood science and technology**. Berlin: Springer-Verlag, 1975. v. 2. 703 p.

MARRA, A. A. **Technology of wood bonding**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 453 p.

SELLERS, T. **Plywood and adhesive technology**. New York: Marcel Dekker, 1985. 661 p.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties, utilization**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991. 494 p.