

PRODUÇÃO DE PAINÉIS COMPENSADOS DE PINUS TROPICAIS COLADOS COM RESINA FENOL-FORMALDEÍDO

Setsuo Iwakiri¹, Jorge Luis Monteiro de Matos¹, Adauto José Miranda de Lima², Érika da Silva Ferreira³, Djeison César Batista⁴, Sílvia Aparecida Ângelo Romão⁵

¹Eng. Florestal, Dr., Depto. de Engenharia e Tecnologia Florestal, UFPR, Curitiba, PR, Brasil - setsuo@ufpr.br - jmatos@ufpr.br

²Eng. Civil, M.Sc., Doutorando em Engenharia Florestal, UFPR, Curitiba, PR, Brasil - adautojm@utfpr.edu.br

³Eng^a. Florestal, M.Sc., Doutoranda em Engenharia Florestal, UFPR, Curitiba, PR, Brasil - erikaferreira@yahoo.com.br

⁴Eng. Florestal, M.Sc., Doutorando em Engenharia Florestal, UFPR, Curitiba, PR, Brasil - djeison1984@gmail.com

⁵Eng^a. Industrial Madeireira, M.Sc., Doutoranda em Engenharia Florestal, UFPR, Curitiba, PR, Brasil - silvia_romao@yahoo.com.br

Recebido para publicação: 21/12/2007 – Aceito para publicação: 08/10/2008

Resumo

Este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial de utilização de lâminas de *Pinus chiapensis*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Pinus maximinoi*, *Pinus oocarpa* e *Pinus tecunumannii* na produção de painéis compensados. Os painéis foram produzidos com cinco lâminas de 2,0 mm de espessura, utilizando resina fenol-formaldeído. Para avaliação da qualidade dos painéis produzidos, foram realizados ensaios de resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento – teste seco e de fervura e flexão estática. Os resultados demonstraram que os painéis produzidos com lâminas de *Pinus caribaea* e *Pinus tecunumannii* foram os que apresentaram melhores resultados de resistência da linha de cola, MOE e MOR em flexão estática, em comparação aos painéis-testemunhas de *Pinus taeda* e painéis comerciais de pinus. Os resultados de resistência da linha de cola – teste de fervura dos painéis de *Pinus caribaea*, *Pinus oocarpa* e *Pinus tecunumannii* atendem ao requisito mínimo da norma europeia EN 314:1993. Os painéis produzidos com todas as cinco espécies de pinus tropicais apresentaram valores de MOR superiores em relação aos painéis comerciais de pinus.

Palavras-chave: Paineis compensados; pinus tropicais; resina fenol-formaldeído.

Abstract

Plywood manufacturing from tropical pine glued with phenol formaldehyde resin. This research was developed with the objective to evaluate the potential uses of the veneer of *Pinus chiapensis*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Pinus maximinoi*, *Pinus oocarpa* e *Pinus tecunumannii*, for plywood manufacturing. The experimental panels were manufactured using five veneers with 2,0 mm thickness and phenol-formaldehyde resin. The board qualities were evaluated based in the glue line shear strength – dry and boiling water tests and static bending tests. The results showed that plywood manufactured with veneer of *Pinus caribaea* and *Pinus tecunumannii* presented the better results of glue line shear strength, modulus of elasticity and rupture in static bending tests in comparison to board made from *Pinus taeda* and commercial plywood of pinus. The results of glue line shear strength of the *Pinus caribaea*, *Pinus oocarpa* and *Pinus tecunumannii* attend to minimum requirement of the EN 314:1993. The boards manufactured with all of the five species of tropical pinus showed the MOR values higher than commercial plywood of pinus.

Keywords: Plywood; tropical pinus; phenol formaldehyde resin.

INTRODUÇÃO

Tendo em vista o aumento expressivo na demanda pela madeira, tanto de florestas nativas tropicais quanto de florestas plantadas, aliado à falta de plantios para reposição florestal em escalas compatíveis com o consumo e às dificuldades quanto à implantação de novas áreas de florestas nativas em regime de produção sustentada, as indústrias de base florestal têm procurado por alternativas que possam suprir a projeção de falta de madeira para as próximas décadas.

A silvicultura brasileira, que já venceu o grande desafio tecnológico de introduzir em escala comercial espécies exóticas de rápido crescimento, como *Pinus taeda*, *Pinus elliottii*, *Eucalyptus grandis*

e *Eucalyptus saligna*, que sustentam o parque industrial madeireiro, tem procurado por outras espécies alternativas para ampliação do potencial de produção florestal do país. Pesquisas têm sido direcionadas para avaliar o potencial de algumas espécies de pinus tropicais em termos silviculturais e qualidade da madeira, visando promover plantios em escala comercial para fins de produção industrial.

Dentre as espécies de pinus tropicais plantadas no Brasil, algumas já em escala comercial e outras ainda em escala experimental, as mais conhecidas são descritas por Shimizu (2007): (i) *Pinus caribaea*, variedades *caribaea*, *bahamensis* e *hondurensis* – todas originárias da América Central, sendo que no Brasil a variedade *hondurensis* é plantada exclusivamente na região tropical, visto que não tolera geada. (ii) *Pinus oocarpa* – é originária do México e América Central e, no Brasil, é plantada principalmente nos estados de São Paulo, Minas Gerais e Bahia. (iii) *Pinus maximinoi* – sua área de ocorrência vai desde o México até a Nicarágua e sua madeira apresenta coloração clara e alta resistência. No Brasil, há plantações em caráter experimental na região norte do Estado do Paraná, sendo uma espécie que poderá figurar como opção para a diversificação de espécies em plantios destinados à produção de madeira sólida. Seu crescimento tem sido maior que o das demais espécies do gênero usadas tradicionalmente na silvicultura intensiva. (iv) *Pinus tecunumannii* – espécie que ocorre desde o sul do México até a Nicarágua, podendo atingir mais de 50 m de altura e diâmetro de até 1,20 m. (v) *Pinus chiapensis* – espécie natural do México e América Central. Trata-se de uma espécie do grupo chamado de “pinus brancos”, que se adaptou bem no Brasil.

De acordo com Baldwin (1981) e Sellers Jr. (1985), a espécie de madeira utilizada na produção de um painel compensado responderá pelas características e propriedades tecnológicas do produto final, interferindo nas propriedades de colagem, estabilidade dimensional e resistência mecânica.

A influência do uso de diferentes espécies de madeira na produção de painéis compensados multilaminados está relacionada a dois fatores principais. O primeiro, se refere às características anatômicas, físicas e químicas da madeira que influenciam nas propriedades de colagem de lâminas. O segundo fator está relacionado com a influência da ligação adesiva e as propriedades da madeira utilizada sobre a resistência mecânica dos painéis produzidos (MARRA, 1992; TSOUMIS, 1991).

Segundo Marra (1993), a influência da estrutura anatômica da madeira na colagem de lâminas está diretamente associada à sua porosidade e permeabilidade à penetração do adesivo líquido na estrutura da madeira e, conseqüentemente, à formação da ligação adesiva entre as duas faces da madeira. A relação direta entre a densidade da madeira e sua porosidade é utilizada como base para o controle dos parâmetros de colagem de madeiras de diferentes espécies e densidades. Quanto às propriedades químicas, o fator mais importante na colagem está relacionado aos extrativos presentes na madeira. Sellers (1985) afirma que a colagem de lâminas de determinadas espécies pode ser prejudicada em função da alta concentração de certos tipos de extrativos na superfície das lâminas, devido à sua migração através de camadas internas durante o processo de secagem. O resultado desse fenômeno é descrito como superfície “contaminada” ou “inativa”, prejudicando a formação da ligação adesiva entre as lâminas.

Por outro lado, a densidade da madeira tem também uma relação direta com a resistência mecânica de painéis compensados. Painéis estruturais com alta resistência só podem ser construídos com madeiras de maior densidade e, portanto, de maior resistência mecânica. Na composição de compensados, lâminas de maior densidade podem ser destinadas às capas e contracapas, por serem estas as áreas submetidas a maiores tensões de tração e compressão (BODIG e JAYNE, 1982). Com base nesse princípio, Iwakiri *et al.* (2000) produziram painéis compensados com lâminas de *Eucalyptus saligna*, mais densas, na capa e contracapa, e de *Pinus elliottii*, menos densas, nas camadas internas. Os resultados de ensaios de flexão estática dos painéis produzidos segundo essa composição apresentaram maiores valores de módulo de elasticidade e módulo de ruptura, em comparação com os painéis produzidos com todas as lâminas de *P. elliottii*.

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a qualidade dos painéis compensados fenólicos produzidos com lâminas de madeiras de cinco espécies de pinus tropicais.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas nesta pesquisa lâminas de madeiras das seguintes espécies de pinus tropicais: *Pinus chiapensis*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Pinus maximinoi*, *Pinus oocarpa* e *Pinus tecunumannii*, além de *Pinus taeda* como parâmetro de referência, tendo em vista ser a espécie mais plantada e utilizada na produção de painéis compensados no Brasil.

As madeiras foram obtidas de plantios florestais localizados no município de Ventania (PR), a partir de árvores com 16 anos de idade. As toras foram transportadas até uma laminadora e após o processo de aquecimento a uma temperatura em torno 60 °C por período de 12 horas, foram processadas num torno desfolhador em lâminas com espessura de 2,0 mm. Após o guilhotinamento e a classificação, as lâminas foram secas ao teor de umidade médio de 12% e enviadas ao Laboratório de Painéis de Madeira da UFPR.

No laboratório, as lâminas foram seccionadas em dimensões finais dos painéis de 50 x 50 cm e ressecadas ao teor de umidade médio de 6%. Para a produção de painéis compensados, foi utilizada resina fenol-formaldeído (FF) com teor de sólidos de 49%, pH de 12,6 e viscosidade Brookfield de 580 cP. O adesivo para aplicação foi preparado com a seguinte formulação em partes por peso: resina FF = 100, farinha de trigo = 5, farinha de casca de coco = 5, água = 5. As lâminas, em número de cinco por painel, foram coladas com gramatura de 360 g/m² (linha dupla). A prensagem foi conduzida com pressão específica de 10 kgf/cm², temperatura de 140 °C e tempo de prensagem de 10 minutos. Foram produzidos três painéis por tratamento, conforme plano experimental apresentado na tabela 1.

Após o acondicionamento dos painéis na câmara climática à temperatura de 20±2 °C e umidade relativa de 65±3%, foram retirados os corpos de prova para os seguintes ensaios laboratoriais, conforme procedimentos descritos na norma europeia EN (1993): resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento – teste seco e de fervura (EN 314:1993) –, flexão estática para determinação de módulo de elasticidade e de ruptura (EN 310:1003). Os resultados dos ensaios foram avaliados através de ANOVA e teste de Tukey ao nível de probabilidade de 95%.

Tabela 1. Plano experimental.

Table 1. Experimental chart.

Tratamento	Espécie
T1	<i>Pinus taeda</i>
T2	<i>Pinus chiapensis</i>
T3	<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>
T4	<i>Pinus maximinoi</i>
T5	<i>Pinus oocarpa</i>
T6	<i>Pinus tecunumannii</i>

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento

Os resultados dos ensaios de resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento para o teste seco e de fervura estão apresentados na tabela 2.

Tabela 2. Resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento.

Table 2. Glue line shear strength.

Tratamento	RLC teste seco (MPa)		RLC teste fervura (MPa)	
	Média	CV (%)	Média	CV (%)
T1 – <i>P. taeda</i>	2,04 ab	20,62	1,32 bc	17,37
T2 – <i>P. chiapensis</i>	1,82 a	15,88	0,98 a	40,29
T3 – <i>P. caribaea</i>	2,13 b	21,15	1,30 bc	15,50
T4 – <i>P. maximinoi</i>	1,79 a	18,70	0,88 a	23,37
T5 – <i>P. oocarpa</i>	1,88 ab	17,47	1,18 b	22,91
T6 – <i>P. tecunumannii</i>	2,16 b	23,49	1,42 c	13,53

Médias seguidas de mesma letra são estatisticamente iguais ao nível de probabilidade de 95%. RLC: resistência da linha de cola; CV: coeficiente de variação.

Nos ensaios de resistência da linha de cola (teste seco), os painéis compensados de todas as cinco espécies de pinus tropicais apresentaram valores médios estatisticamente iguais em relação aos painéis-testemunhas de *P. taeda*. Entre as cinco espécies de pinus tropicais, maiores valores de resistência da linha de cola foram obtidos para painéis de *P. caribaea* e *P. tecunumannii*.

Os resultados obtidos para teste de fervura indicam, para painéis de *P. caribaea*, *P. oocarpa* e *P. tecunumannii*, valores médios de resistência da linha de cola estatisticamente iguais em relação aos painéis-testemunhas de *P. taeda*. Entre as cinco espécies de pinus tropicais, essas três espécies apresentaram médias estatisticamente superiores em relação aos painéis de *P. chiapensis* e *P. maximinoi*. Os valores médios de resistência da linha de cola no teste de fervura, obtidos para os painéis produzidos com lâminas de *P. caribaea*, *P. oocarpa* e *P. tecunumannii*, atendem ao requisito mínimo de 1,0 MPa, conforme estabelecido pela norma europeia EN 314:1993.

Prata (2006) obteve para sua avaliação sobre 12 painéis comerciais produzidos com espessura nominal de 12 mm, constituídos de cinco camadas e colados com resina fenólica, valores médios de resistência da linha de cola no teste de fervura variando na faixa de 0,78 a 1,33 MPa. Os resultados obtidos nesta pesquisa para as cinco espécies de pinus tropicais variaram de 0,88 a 1,42 MPa. Os painéis de *P. tecunumannii* e de *P. caribaea* apresentaram valores médios de resistência da linha de cola próximos ao valor máximo obtido pelo autor. Cabe ressaltar também que os valores médios de resistência da linha de cola no teste de fervura obtidos para as cinco espécies de pinus tropicais estão dentro da faixa de valores obtidos para painéis comerciais de pinus.

Módulo de elasticidade e módulo de ruptura em flexão estática

Os resultados encontrados para o módulo de elasticidade e módulo de ruptura nos ensaios de flexão estática estão apresentados na tabela 3.

Tabela 3. Módulo de elasticidade e módulo de ruptura em flexão estática.

Table 3. Modulus of elasticity and modulus of rupture in static bending.

Tratamento	MOE (MPa)		MOR (MPa)	
	Média	CV	Média	CV
T1 – <i>P. taeda</i>	5.223 a	45,30	81,48 c	22,63
T2 – <i>P. chiapensis</i>	4.627 a	11,29	51,26 a	14,07
T3 – <i>P. caribaea</i>	7.843 b	19,04	75,19 bc	12,53
T4 – <i>P. maximinoi</i>	5.326 a	40,99	61,90 ab	21,33
T5 – <i>P. oocarpa</i>	5.195 a	24,84	60,79 a	13,25
T6 – <i>P. tecunumannii</i>	6.394 ab	26,34	62,11 ab	18,04

Médias seguidas de mesma letra são estatisticamente iguais ao nível de probabilidade de 95%. MOE: módulo de elasticidade; MOR: módulo de ruptura; CV: coeficiente de variação.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 3, os painéis de *P. caribaea* apresentaram valor médio de MOE estatisticamente superior em relação aos dos painéis-testemunhas de *P. taeda* e demais espécies de pinus tropicais, com exceção de *P. tecunumannii*. O valor médio de MOE de 7.843 MPa obtido para os painéis produzidos com lâminas de *P. caribaea* foi bem superior em comparação aos painéis-testemunhas produzidos com lâminas de *P. taeda*. Cabe ressaltar também que os painéis de *P. tecunumannii*, *P. oocarpa* e *P. maximinoi* apresentaram valores médios de MOE estatisticamente iguais em relação aos painéis-testemunhas de *P. taeda*.

Para o MOR, apenas os painéis de *P. caribaea* apresentaram valor médio estatisticamente igual em relação aos painéis de *P. taeda*. Os painéis produzidos com lâminas de *P. chiapensis*, *P. maximinoi*, *P. oocarpa* e *P. tecunumannii* apresentaram médias estatisticamente inferiores em relação aos painéis de *P. taeda*.

De acordo com o catálogo técnico da Associação Brasileira da Indústria da Madeira Processada mecanicamente (ABIMCI, 2002), os painéis comerciais de *Pinus taeda* com espessura de 12 mm e produzidos com resina fenol-formaldeído para fins estruturais têm, como valores referenciais, MOE de 6.899 MPa e MOR de 38,1 MPa. Como pode se constatar nos resultados da Tabela 3, o valor médio de MOE de 7.843 MPa, obtido para painéis produzidos com lâminas de *P. caribaea*, é superior ao valor referencial de 6.899 MPa. Com relação ao MOR, os painéis produzidos com as cinco espécies de pinus tropicais apresentaram valores médios expressivamente superiores em relação ao valor referencial de 38,1 MPa.

Prata (2006) encontrou, para painéis comerciais de pinus com 12 mm de espessura, produzidos com resina fenólica, valor médio de MOE de 6.270 MPa e MOR de 25,53 MPa. Nesta pesquisa, os

painéis de *P. caribaea* e *P. tecunumannii* apresentaram valores médios de MOE superiores em relação ao valor médio obtido pelo autor. Já para o MOR, os valores médios obtidos para os painéis de todas as espécies de pinus tropicais foram expressivamente superiores ao valor médio de 25,53 MPa obtido pelo autor para painéis comerciais de pinus.

Com base nas referências de painéis comerciais, os resultados de MOE e MOR obtidos nesta pesquisa apontam que, com exceção de *P. chiapensis*, todas as demais espécies de pinus tropicais apresentam grande potencial para produção de painéis compensados estruturais.

CONCLUSÕES

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

- Os valores médios de resistência da linha de cola no teste de fervura obtidos para os painéis de *Pinus caribaea*, *Pinus oocarpa* e *Pinus tecunumannii* atendem ao requisito mínimo de 1,0 MPa, conforme estabelecido pela norma europeia EN 314:1993.
- Todas as cinco espécies de pinus tropicais avaliadas nesta pesquisa apresentaram valores médios de MOR expressivamente superiores em relação aos painéis comerciais de pinus produzidos com resina fenólica dentro dos padrões técnicos de exportação.
- As avaliações gerais dos resultados indicam a potencialidade de uso das cinco espécies de pinus tropicais para produção de painéis compensados para fins estruturais.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRAPROCESSADA MECANICAMENTE (ABIMCI). **Catálogo técnico de compensados de pinus**. Curitiba, 2002. 16 p.

BODIG J.; JAYNE, B. A. **Mechanics of wood and wood composites**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1982. 711 p.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 310:1993**: Wood based panels – Determination of modulus of elasticity and modulus of rupture in static bending. Brussels. 1993.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 314:1993**: Wood based panels - Glue line shear test. Brussels. 1993.

IWAKIRI, S.; NIELSEN, I. R.; ALBERTI, R. A. R. Avaliação da influência de diferentes composições de lâminas em compensados estruturais de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v. 6, n. 2, p. 019-024, 2000.

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

PRATA, J. G. **Desempenho de um sistema de qualidade em uma fábrica de painéis compensados**. 106 f. (Dissertação – Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

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

SHIMIZU, J. Y. **Pinus na silvicultura brasileira**. Disponível em: <www.ambientebrasil.com.br>. Acesso em: 11/12/2007.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood**: Structure, properties and utilization. New York: Chapman & Hall, 1991. 494 p.