

PRODUÇÃO DE COMPENSADOS DE *Pinus taeda* E *Pinus oocarpa* COM RESINA FENOL-FORMALDEÍDO

Setsuo Iwakiri¹, Claudio S. Del Menezzi², Christine Laroca³,
Ivan Venson³, Selma Schmidlin Matoski³

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade de painéis compensados de *Pinus taeda* e *Pinus oocarpa*, com 20 e 24 anos de idade, respectivamente, produzidos com três diferentes formulações de adesivo fenol formaldeído. Os resultados da resistência da linha de cola não apresentaram diferenças estatísticas entre as espécies e diferentes formulações do adesivo. Nos testes de fervura, todas as chapas apresentaram classificação “BR” (resistente à fervura) e as chapas de *Pinus oocarpa* produzidas com as formulações (1) e (3) alcançaram a classificação “WBP” (resistente a intempéries e fervura). As diferentes formulações do adesivo não influenciaram nos módulos de elasticidade (MOE) e ruptura (MOR). As chapas de *Pinus taeda* com formulações (1) e (2) apresentaram MOE estatisticamente superiores em relação a *Pinus oocarpa*. O MOR das chapas de *Pinus oocarpa* com a formulação (2) foi superior em relação a *Pinus taeda*. As propriedades mecânicas dos compensados foram provavelmente influenciadas pelas variações da madeira de lenhos juvenil e adulto, largura dos anéis de crescimento e lenhos inicial e tardio.

Palavras-chave: fenol-formaldeído, compensados, linha de cola.

Pinus taeda AND *Pinus oocarpa* PLYWOOD MANUFACTURING WITH FENOL-FORMALDHEIDE RESIN

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate the quality of the plywood, manufactured from *Pinus taeda* and *Pinus oocarpa*, with 20 and 24 years old respectively, using three different formulations of the fenol-formaldheyde resin. The results of the glue line shearing tests not showed statistical differences between the species and three resin formulations. In the hot water test, all of the boards were classified as “BR” and, the boards of the *Pinus oocarpa* produced with formulations (1) and (3), were classified as “WBP”. The different resin formulations not influenced on the modulus of elasticity (MOE) and modulus of rupture (MOR) The boards of *Pinus taeda* with formulations (1) and (2) showed higher values of MOE in comparison of the *Pinus oocarpa*. The MOR of the *Pinus oocarpa* with formulation (2) was higher than *Pinus taeda*. The mechanical properties of the plywood were probably influenced by wood variability related to sapwood and hartwood, thickness of growth rings and, springwood and summerwood.

Key words: phenol-formaldehyde, plywood, glue line.

¹ Professor do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, UFPR, Av. Lothário Meissner 3400, J. Botânico, Curitiba-PR, 80035-050, setsuo@cw matrix.com.br

² Aluno de Doutorado em Engenharia Florestal, UFPR, Curitiba-PR

³ Aluno de Mestrado em Engenharia Florestal, UFPR, Curitiba-PR

1 INTRODUÇÃO

Um crescimento acentuado de uso de lâminas de *Pinus spp* para produção de compensados tem sido verificado nos últimos anos. Segundo ABINCE (1998), 70% das lâminas consumidas pelas indústrias de compensados no início da década de 1990, eram madeiras de folhosas provenientes da região norte do país. Este quadro vem se alterando gradativamente nos últimos anos e há tendências para reversão no futuro próximo, com a participação maior da madeira de pinus em relação a de folhosas, para produção de lâminas e compensados.

A utilização cada vez maior de pinus na produção de lâminas é favorecida principalmente em razão da existência de grandes áreas de plantios na região sul do país e do seu rápido crescimento. Outro fator determinante é o custo de transporte de madeiras tropicais da região norte para o sul, além dos aspectos relativos à preservação ambiental e da certificação florestal.

A madeira de pinus apresenta algumas limitações quanto à qualidade das lâminas produzidas. No entanto, as indústrias de compensados utilizam as lâminas de pinus para formação do miolo do painel, cujo volume é mais substancial, enquanto as lâminas de madeiras tropicais de espessuras menores são empregadas nas capas como revestimento do painel. Várias espécies de pinus têm sido pesquisadas na produção de compensados. Iwakiri et al. (2001), num estudo realizado com madeiras de *Pinus caribaea*, *Pinus chiapensis*, *Pinus maximinoi*, *Pinus oocarpa* e *Pinus tecunumannii*, para produção de compensados, obtiveram resultados qualitativamente satisfatórios em relação aos painéis de *Pinus taeda*. O aumento no número de espécies alternativas para laminação e produção de compensados significa ampliar a oferta de matéria-prima de qualidade para o setor madeireiro e, ao mesmo tempo, contribuir para a preservação ambiental.

As espécies de rápido crescimento apresentam vantagens em termos de incremento volumétrico

da madeira. No entanto, isso reflete em algumas

limitações técnicas relacionadas ao processo de colagem da madeira. A baixa densidade e a alta porosidade da madeira são fatores de grande influência sobre a mobilidade do adesivo, formação e resistência da linha de cola (Marra, 1992). Tsoumis (1991), menciona as diferenças entre os lenhos inicial e tardio, juvenil e adulto como fatores importantes que devem ser considerados na colagem de lâminas de madeiras provenientes de espécies de rápido crescimento. No sentido de viabilizar o uso destas espécies, Bendsten (1978) sugere que os conceitos tradicionais devem ser adaptados às características da matéria-prima.

De acordo com Sellers (1985) e Baldwin (1993), os fatores básicos que interferem no processo de colagem da madeira variam com a madeira, adesivo e condições de colagem. A seleção do tipo de adesivo depende do uso final das chapas. O adesivo à base de resina fenol-formaldeído é empregado na fabricação de compensados para uso exterior, devido à sua alta resistência à umidade. Diferentes formulações de adesivo, com a incorporação de proporções diferenciadas de extensores e água, podem ser adotadas para otimizar a relação custo-benefício, na colagem de lâminas para compensados.

Assim, este trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar o efeito de três formulações de adesivo fenol-formaldeído na qualidade de chapas de madeira compensada de *Pinus taeda* e *Pinus oocarpa*, com 20 e 24 anos de idade.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os compensados foram fabricados com lâminas de madeira de *Pinus taeda* e *Pinus oocarpa*, obtidas de árvores com 20 e 24 anos de idade, respectivamente, provenientes de plantios da empresa INPACEL S.A., localizados no município de Arapoti, estado do Paraná.

Foi utilizado o adesivo fenol-formaldeído, com viscosidade de 450 cp e teor de sólidos de 49%, empregando-se três formulações, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Formulações do adesivo fenol-formaldeído.**Table 1.** Formulations of the phenol-formaldehyde adhesive.

Formulação (partes/peso)	(1)	(2)	(3)
Resina	100	100	100
Albex 7 (casca coco)	10	10	10
Extensor (trigo)	-	5	25
Água	-	10	50
Gramatura (g/m ²) face dupla	360	380	430

As lâminas de madeira com espessura de 3,2mm foram seccionadas com dimensões de 500 x 500mm, em função do comprimento e largura do painel. Após a classificação, as lâminas foram secas até um teor de umidade em torno de 6%.

Para cada espécie, foram produzidos 3 painéis por formulação, perfazendo um total de 18 painéis para as duas espécies estudadas. O método de análise estatística adotado foi o fatorial com 2 espécies, 3 formulações e 3 repetições, em delineamento inteiramente casualizado.

Os painéis foram prensados nas condições a seguir:

temperatura = 140°C;
 pressão específica = 10 kgf/cm²;
 tempo de prensagem = 8 minutos.

Após o acondicionamento dos painéis, até obter um teor de umidade de equilíbrio de 12±1%, foram retirados os corpos de prova para realização de ensaios de resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento e flexão estática (módulos de elasticidade e ruptura). Os ensaios foram realizados de acordo com os procedimentos descritos na norma ASTM D-805 (1982).

Os resultados foram avaliados por meio da análise de variância e teste de Tukey, com probabilidade de 5%. O teste foi aplicado sobre todas as médias independente da espécie, permitindo comparações dos valores médios entre as espécies com a mesma formulação e entre as diferentes formulações dentro da mesma espécie.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento

De acordo com a Tabela 2, os valores médios de resistência da linha de cola, no teste seco, variaram de 18,8 a 28,1 kgf/cm² para chapas de *Pinus taeda* e de 19,2 a 26,1 kgf/cm² para chapas de *Pinus oocarpa*. Todos os valores obtidos estão acima do valor mínimo de 18 kgf/cm², recomendado pela norma britânica B.S. 1203 (1954). Embora não tenham sido constatadas diferenças estatisticamente significativas, as médias absolutas das chapas produzidas com a formulação (3), com menor proporção relativa de resina, apresentaram valores inferiores de resistência da linha de cola.

No teste de fervura, os valores médios de resistência da linha de cola variaram de 9,4 a 12,6 kgf/cm² para chapas de *Pinus taeda* e de 11,8 a 14,6 kgf/cm² para chapas de *Pinus oocarpa*. Na comparação com a norma B.S. 1203 (1954), todos os valores se enquadram na categoria “BR” (resistente à fervura), que indica, como referência, o valor mínimo de 7,0 kgf/cm². As chapas de *Pinus oocarpa* produzidas com as formulações (1) e (3) apresentaram valores acima de 14,1 kgf/cm², sendo, portanto, classificadas como “WBP” (resistente a intempéries e fervura), de acordo com a referida norma britânica.

Tabela 2. Valores médios da resistência da linha de cola
Table 2. Average values of glue line shearing test

Espécie	Formulação	LCS (kgf/cm ²)	LCF (kgf/cm ²)
<i>Pinus taeda</i>	(1)	21,8 a	12,6 a
	(2)	28,1 a	11,8 a
	(3)	18,8 a	9,4 a
<i>Pinus oocarpa</i>	(1)	23,1 a	14,6 a
	(2)	26,1 a	11,8 a
	(3)	19,2 a	14,0 a

As médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade. O teste foi aplicado sobre todas as médias independente da espécie.

LCS: linha de cola teste seco

LCF: linha de cola teste fervura

(1), (2), (3): formulações do adesivo

A análise estatística demonstrou não haver diferenças significativas a 5% de probabilidade, entre as médias das chapas de *Pinus taeda* e *Pinus oocarpa*, produzidas com três diferentes formulações do adesivo. As médias absolutas da resistência da linha de cola para as três diferentes formulações demonstram que as chapas de *Pinus oocarpa* são iguais ou superiores às chapas de *Pinus taeda*.

3.2 Flexão estática

De acordo com a Tabela 3, os valores médios de módulo de elasticidade variaram de 103.520 a 119.162 kgf/cm² para chapas de *Pinus taeda* e de 75.485 a 103.663 kgf/cm² para chapas de *Pinus oocarpa*. Na comparação entre as espécies, as chapas de *Pinus taeda* apresentaram valores de MOE estatisticamente superiores em relação às chapas de *Pinus oocarpa*, para as formulações (1) e (2). Para as chapas produzidas com a formulação (3) não houve diferença significativa entre as espécies.

Na comparação entre as três diferentes formulações do adesivo, tanto para as chapas de *Pinus taeda*, como para as de *Pinus oocarpa*, não foram constatadas diferenças estatisticamente significativas para o MOE.

Os valores médios de módulo de ruptura variaram de 576 a 790 kgf/cm² para chapas de *Pinus taeda* e de 542 a 621 kgf/cm² para chapas de *Pinus oocarpa*. Na comparação entre as espécies, as chapas de *Pinus taeda* apresentaram valores de MOR estatisticamente superiores em relação às chapas de *Pinus oocarpa*, apenas para a formulação (2). Para as chapas produzidas com as formulações (1) e (3), não foram constatadas diferenças estatisticamente significativas entre as espécies estudadas.

Na comparação entre as três diferentes formulações do adesivo, tanto para as chapas de *Pinus taeda*, como para as de *Pinus oocarpa*, não foram constatadas diferenças estatisticamente significativas para o MOR.

Tabela 3. Valores médios de módulos de elasticidade (MOE) e ruptura (MOR)**Table 3.** Average values of the modulus of elasticity and rupture

Espécie	Formulação	MOE (kgf/cm ²)	MOR (kgf/cm ²)
<i>Pinus taeda</i>	(1)	115.713 bc	660 ab
	(2)	119.162 c	790 b
	(3)	103.520 abc	576 ab
<i>Pinus oocarpa</i>	(1)	75.485 a	564 a
	(2)	86.382 ab	542 a
	(3)	103.663 abc	621 ab

As médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade. O teste foi aplicado sobre todas as médias independente da espécie.

Os valores médios de MOE e MOR obtidos nesta pesquisa foram superiores aos resultados obtidos por Iwakiri et al.(2000), para as mesmas espécies estudadas. Os autores obtiveram, para o MOE, valores médios de 58.005,37 kgf/cm² para chapas de *Pinus taeda* e de 64.771,08 kgf/cm² para *Pinus oocarpa*. Para o MOR, os valores médios obtidos foram de 584,10 kgf/cm² para chapas de *Pinus taeda* e de 522,50 kgf/cm² para *Pinus oocarpa*. É importante ressaltar que foram utilizadas nesta pesquisa lâminas de madeira provenientes de árvores com 20 e 24 anos de idade, respectivamente para *Pinus taeda* e *Pinus oocarpa*. Na pesquisa anterior, realizada por Iwakiri, et al. (2000), as lâminas de madeira foram obtidas de árvores com 10 anos de idade, portanto, com grande percentual de madeira de lenho juvenil, em comparação às árvores com mais de 20 anos de idade. O fato de não haver diferenças estatísticas entre as três diferentes formulações do adesivo pode ser atribuída, em parte, à grande variabilidade das madeiras de espécies de rápido crescimento, especialmente em relação à largura dos anéis de crescimento e diferenças de densidade entre os lenhos inicial e tardio. Dessa forma, as lâminas podem conter percentuais bem diferenciados de lenhos inicial e tardio, influenciando não apenas na mobilidade do adesivo, mas também a sua disposição nas camadas externas ou interna, na composição estrutural do painel.

4 CONCLUSÕES

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

Para resistência da linha de cola, tanto no teste seco como fervura, não foram constatadas diferenças estatisticamente significativas entre as chapas de *Pinus taeda* e *Pinus oocarpa* e também entre as três diferentes formulações do adesivo;

Nos testes de fervura, todas as chapas alcançaram a classificação “BR” (resistente à fervura), sendo que as chapas de *Pinus oocarpa*, produzidas com as formulações (1) e (3), alcançaram a classificação “WBP” (resistente a intempéries e fervura);

As chapas de *Pinus taeda*, produzidas com as formulações (1) e (2), apresentaram valores de MOE estatisticamente superiores em relação às chapas de *Pinus oocarpa*;

As chapas de *Pinus oocarpa*, produzidas com a formulação (2), apresentaram valores de MOR estatisticamente superiores em relação às chapas de *Pinus taeda*;

Tanto para o MOE como para o MOR, não foram constatadas diferenças estatísticas entre as chapas produzidas com diferentes formulações do adesivo.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos às empresas INPACEL PAPEL E CELULOSE S/A e ALBA QUÍMICA S/A, respectivamente, pela doação de lâminas de madeira e resina fenol-formaldeído.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Testing veneer, plywood and other glued veneer constructions.** ASTM D-805. Philadelphia, 1982.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA COMPENSADA E INDUSTRIALIZADA. **Relatório estatístico.** São Paulo, 1998.
- BALDWIN, R. F. **Plywood manufacturing practices.** San Francisco: Miller Freeman, 1995. 388 p.
- BENDSTEN, B. A. Properties of wood from improved and intensively managed trees. **Forest Products Journal**, Madison, v. 28, p. 61-72, 1978.
- BRITISH STANDARD INSTITUTION. **Specification for synthetic resin adhesives for plywood. B.S. 1203.** London, 1954. 11 p.
- IWAKIRI, S.; OLANDOSKI, D. P.; LEONHARDT, G.; BRAND, M. A. Produção de Chapas de Madeira Compensada de Cinco Espécies de Pinus Tropicais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 71-77, dez. 2001.
- 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.