

Qualidade de Compensados Fabricados com Adesivos à Base de Tanino-formaldeído de *Pinus oocarpa* e Fenol-formaldeído

Bruno Couto da Silva¹, Michel Cardoso Vieira¹, Gisely de Lima Oliveira¹,
Fabricio Gomes Gonçalves², Nayara Dorigon Rodrigues¹,
Roberto Carlos Costa Lelis¹, Setsuo Iwakiri³

¹Departamento de Produtos Florestais, Instituto de Florestas,
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRJ, Seropédica/RJ, Brasil

²Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Espírito Santo – UFES,
Jerônimo Monteiro/ES, Brasil

³Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba/PR, Brasil

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo avaliar a qualidade de compensados fabricados com adesivos à base de taninos da casca de *Pinus oocarpa* e Fenol-Formaldeído (FF). O plano experimental foi composto de quatro tratamentos: Tanino-Formaldeído (TF); Fenol-Formaldeído (FF); FF + 10%TF (90:10), e FF + 20% TF (80:20). Os painéis foram avaliados nos seguintes aspectos: resistência à flexão estática (MOR); ensaio de cisalhamento na linha de cola; densidade e recuperação em espessura (RE); inchamento mais recuperação em espessura (IR), e absorção em água (AA). Os resultados mostraram que é possível substituir o adesivo FF por tanino em até 20% sem alterar os valores de MOR paralelo e perpendicular à grã das lâminas externas dos compensados. Para obtenção de maior estabilidade dimensional dos compensados fabricados com adesivo à base de tanino, torna-se necessária a adição de parafina. Os resultados mostraram também que não houve diferença significativa nos valores de resistência ao cisalhamento dos compensados para os diferentes tratamentos.

Palavras-chave: tanino, *Pinus oocarpa*, compensado, formaldeído.

Quality of Plywood Manufactured with Tannin-formaldehyde from *Pinus oocarpa* Plus Phenol-Formaldehyde-based Adhesive

ABSTRACT

The aim of this paper was to evaluate the quality of plywood panels manufactured with tannin-based adhesives extracted from the bark of *Pinus oocarpa* and Phenol-Formaldehyde. The experimental plan was composed of four treatments: Tannin-formaldehyde (TF), Phenol-formaldehyde (FF), FF + 10%TF (90:10) and FF + 20%TF (80:20). The quality of plywood panels was evaluated by the static bending (MOR), bonding line shear test of the adhesive, and dimensional stability: thickness swelling, recovery of thickness and water absorption. Results showed that it is possible to substitute Phenol-Formaldehyde adhesive by tannin up to 20% without changing MOR parallel and MOR perpendicular to the grain of the the panels. In order to obtain higher values of physical properties of plywood made with tannin from bark of *Pinus oocarpa*, it is necessary to add paraffin. Results showed that there was no significant difference in values of shear strength for the different treatments.

Keywords: tannin, *Pinus oocarpa*, plywood, formaldehyde.

1. INTRODUÇÃO

Os painéis de madeira compensada podem ser produzidos em uma grande variedade de tipos e qualidade, podendo ser utilizados em diversas áreas, como indústria moveleira, construção civil e naval, e embalagens.

O setor é constituído por um grande número de empresas – estima-se a existência de mais de 200 fábricas de compensado em operação – que, em conjunto, detêm uma capacidade instalada de produção de mais de 4 milhões de metros cúbicos anuais (Mattos et al., 2008).

O mercado nacional de compensado de pinus apresentou grande variação nos últimos anos, de forma que, em 1997, o consumo representava 78% da produção do País e, em 2006, somente 27% da produção foi consumida. Neste período, a produção aumentou em 217%, de 750 mil para cerca de 2,4 milhões de m³, enquanto o consumo variou de 587 mil para 639 mil m³, ou seja, apenas 9%. A produção do compensado de pinus apresentou uma leve queda de 3,5% de 2005 para 2006, embora o nível de consumo deste produto tenha aumentado no mercado interno, passando de 565 mil para 639 mil m³, o que representa um acréscimo de 13,1%. Diante deste quadro, é possível constatar que os níveis de produção do compensado de pinus estão praticamente estagnados desde 2004, com um ligeiro aumento nos níveis de consumo (ABIMCI, 2009).

O mercado mundial de taninos vegetais produz cerca de 160 mil t/ano, sendo aproximadamente 100 mil toneladas provenientes de plantios de acácia; o restante advém de outras espécies, como castanheira (origem italiana), quebracho (argentino) e tara (peruano). A empresa TANAC, localizada no Brasil, possui a maior unidade mundial, com capacidade para 32 mil t/ano. A outra concorrente brasileira, a SETA, tem duas fábricas com capacidade total para 27 mil t/ano. A produção brasileira é similar à de países africanos, também com clima propício para florestas de acácia. A TANAC possui 26 mil hectares próprios, cultivados próximos ao porto de Rio Grande, no Estado do Rio Grande do Sul, de onde também exporta a lenha residual para o Japão (Química, 2004).

Os adesivos sintéticos ureia-formaldeído e fenol-formaldeído são os mais utilizados na colagem de

madeira e seus subprodutos. Uma das vantagens do adesivo fenólico decorre da sua resistência à ação da umidade, sendo, portanto, recomendado para a colagem de produtos expostos ao ambiente. O adesivo ureico, por sua vez, tem um custo mais baixo, porém apresenta baixa resistência à umidade, sendo mais indicado para uso interior (Melo et al., 2010). Nos países em desenvolvimento, o custo do adesivo é muito alto em relação ao custo total dos painéis, o que se deve ao fato de que quase todas as matérias-primas para fabricação de adesivos são feitas à base de produtos derivados do petróleo.

Dessa forma, várias pesquisas têm sido realizadas buscando-se matérias-primas alternativas para a produção de adesivos. Nesse esforço, estão em primeiro plano os adesivos obtidos de matérias-primas naturais, como os taninos.

Os taninos são obtidos de várias fontes renováveis, como, por exemplo, da casca de acácia negra (*Acacia mearnsii*), *Pinus radiata* e da madeira do cerne de quebracho (*Schinopsis* sp.) (Gonçalves & Lelis, 2001). Suas propriedades variam entre espécies ou dentro da mesma espécie, dependendo do tecido vegetal (Mori et al., 2001). O desenvolvimento de adesivos à base de polifenóis naturais (taninos) começou na década de 1950, com os trabalhos de Dalton (1950, 1953) e Plomley et al. (1957). O interesse principal era substituir os fenóis sintéticos, obtidos do petróleo, por fenóis naturais com estruturas semelhantes aos sintéticos.

A crise do petróleo na década de 1970 impulsionou novos estudos sobre o emprego do tanino na substituição de resinas sintéticas (Pizzi & Mittal, 1994). Os taninos são empregados em vários países do mundo na colagem de produtos de madeira, como Alemanha, Inglaterra, Nova Zelândia e Austrália (Roffael, 1994).

No Brasil, nos últimos anos, é crescente o interesse pelo desenvolvimento de adesivos naturais à base de taninos, principalmente da casca e da madeira de eucalipto, pensando-se no aproveitamento dos resíduos gerados pela indústria madeireira (Mori, 2000; Carneiro, 2001; Tostes, 2003).

A quantidade de resíduos produzidos no mundo equivale de 30% a 40% de todo o suprimento mundial de toras (FAO, 2011). Uma grande parte destes resíduos não é aproveitada, sendo normalmente queimada ou descartada no ambiente, provocando,

dessa forma, poluição do solo e do ar (Lima et al., 1988 apud Shimada, 1998).

Além do problema ambiental, a perda do resíduo significa também diminuição dos ganhos financeiros para a indústria madeireira. A casca e a serragem ainda são os resíduos com maiores dificuldades de utilização, embora algumas empresas gerem a própria energia através da queima destes resíduos em caldeiras. No futuro, a eliminação de resíduos pode se tornar mais problemática, uma vez que é esperado aumento na produção de madeira serrada pelas grandes empresas florestais.

Dentre as espécies botânicas, o gênero *Pinus* possui grande potencial para exploração de taninos, por ser amplamente difundido em reflorestamentos pelo Brasil. A casca de pinus é um resíduo para a maioria das indústrias madeireiras, trazendo problemas de descarte de ordem ambiental e econômica. Várias toneladas de resíduo de casca são produzidas anualmente pelas indústrias que consomem madeira de reflorestamentos (Borges et al., 1993). Um possível uso alternativo para essas cascas seria a extração de taninos para produção de adesivos de madeira, sendo que o resíduo obtido depois desta extração poderia ser queimado para geração de energia.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de utilização de taninos da casca de *Pinus oocarpa* var. *oocarpa* como adesivos para colagem de painéis compensados. Desta forma, foram fabricados compensados com adesivo de Tanino-Formaldeído de pinus (TF) e adesivo Fenol-Formaldeído (FF) modificado com tanino, e suas propriedades foram avaliadas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Obtenção das lâminas

Na confecção dos painéis compensados, foram utilizadas lâminas de *Pinus taeda*, com espessura média de 2 mm e umidade de 8%, selecionando-se aquelas sem rachaduras e/ou nós.

2.2. Caracterização dos adesivos

Ostaniños utilizados como adesivos foram obtidos através de extrações de cascas de *Pinus oocarpa* var.

oocarpa, coletadas em povoamentos da Fazenda Monte Alegre, da Empresa DURATEX, em Agudos-SP. A casca foi extraída em autoclave de laboratório por um período de duas horas, numa relação licor: casca igual a 15:1, sendo empregada na extração água sob adição de 5% de sulfito de sódio (base peso seco de cascas). Maiores informações sobre o processo de extração podem ser obtidas em Silva (2009). Com os extratos tânicos, foram confeccionadas soluções tânicas a 45%, utilizadas na forma pura ou em misturas com adesivo Fenol-Formaldeído (FF). As soluções tânicas a 45% apresentavam viscosidade de 587,4 cP, tempo de gel de 1,3 minutos, teor de sólidos de 48,8 % e pH de 5,3.

O adesivo sintético utilizado foi o Fenol-Formaldeído (FF) HL 7090, que apresentava as seguintes características: viscosidade de 809,5 cP; tempo de gel de 53,6 minutos, teor de sólidos de 58,86% e pH de 12,7.

2.3. Confecção dos painéis compensados

Foram produzidos 20 painéis, constituídos por três lâminas de *Pinus taeda*, com as dimensões nominais de 40 × 40 × 0,65 cm. Foram utilizados 320 g/m² de adesivo espalhado de maneira uniforme, com a formulação de 100 × 35 × 35 (adesivo × trigo × água) em apenas uma face da lâmina (linha simples). Foi adicionado como catalisador uma solução de formaldeído a 37%.

Após montagem das lâminas, estas foram sobrepostas alternadamente e deixadas em descanso por 15 minutos. Os painéis foram prensados a uma temperatura de 150 °C, utilizando-se uma prensa hidráulica, de pratos planos horizontais e aquecimento elétrico, com tempo de fechamento de 35 segundos e pressão de 10 kgf/cm² por 10 minutos.

O plano experimental consistiu de quatro tratamentos: (T1) - Tanino-Formaldeído (TF); (T2) - Fenol-Formaldeído (FF); (T3) - FF + 10% Tanino (90:10), e (T4) - FF + 20% Tanino (80:20), sendo feitos cinco repetições para cada tratamento.

2.4. Preparação dos corpos-de-prova para os ensaios físicos e mecânicos

Após a confecção dos painéis, os mesmos foram acondicionados em câmara climática, à temperatura

de (20 ± 1) °C e umidade relativa de $(65 \pm 5)\%$. Após esse período, os painéis foram esquadrejados para retirada de corpos-de-prova para os diferentes ensaios físicos e mecânicos.

2.5. Avaliação das propriedades físicas dos painéis

2.5.1. Umidade dos painéis

Para cada tratamento, determinou-se o teor de umidade dos corpos-de-prova de acordo com a norma ABNT NBR 9484/86 (ABNT, 1986b).

2.5.2. Massa específica aparente dos painéis

A massa específica aparente foi determinada de acordo com o método descrito na norma ABNT NBR 9485 (ABNT, 1986c). O volume aparente foi obtido através de aferição direta, com paquímetro digital, sendo realizadas duas repetições para cada aferição.

2.5.3. Absorção em Água

Os corpos-de-prova foram pesados e a seguir foram imersos em água por duas horas, sendo, a seguir, retirados e pesados novamente. Após a pesagem, os corpos-de-prova foram novamente imersos em água por 24 horas e procedeu-se à nova pesagem. A absorção em água após duas e 24 horas foi realizada segundo a norma ABNT NBR 9486 (ABNT, 1986d).

2.5.4. Recuperação em Espessura (RE) e Inchamento mais Recuperação em Espessura (IR)

Para determinação da Recuperação em Espessura (RE) e do Inchamento mais Recuperação em Espessura (IR), após a absorção de água pelo compensado, utilizou-se a norma ABNT NBR 9535 (ABNT, 1986f), com pequenas modificações.

De cada painel, foram retirados quatro corpos-de-prova, com dimensões de 75×25 mm, acondicionados em câmara climática a (20 ± 1) °C e $(65 \pm 5)\%$ de umidade relativa. Estes corpos-de-prova foram separados em duas séries de dois, sendo uma série considerada a de controle.

Após a primeira medição de espessura, no centro de cada corpo-de-prova, aqueles utilizados como

controle foram secos em estufa a (103 ± 2) °C por 24 horas, levados ao dessecador e medidos novamente.

A outra série de corpos-de-prova foi imersa em água destilada a (20 ± 2) °C por 24 horas. Após este período, os corpos-de-prova foram medidos, secos em estufa a (103 ± 2) °C por 24 horas, levados ao dessecador e medidos novamente. A RE e IR foram calculados com as seguintes fórmulas (Equações 1 e 2):

$$RE = \left[\frac{(e_1 \times e_5)}{(e_2 \times e_3)} \right] - 1 \times 100 \quad (1)$$

na qual: RE = Recuperação em espessura (%); e_1 = soma das espessuras dos corpos utilizados como controle, climatizados (mm); e_2 = soma das espessuras dos corpos utilizados como controle, secos em estufa (mm); $e_3 = e_1$ = soma das espessuras dos corpos antes da imersão em água (mm); e_5 = soma das espessuras dos corpos após a imersão em água, secos em estufa (mm).

$$IR = \left[\frac{(e_1 \times e_4)}{e_2 \times e_3} \right] - 1 \times 100 \quad (2)$$

na qual: IR = Inchamento mais recuperação em espessura (%); e_4 = soma das espessuras dos corpos após a imersão em água (mm).

2.6. Avaliação das propriedades mecânicas dos painéis

2.6.1. Ensaio de resistência à flexão estática

A determinação da resistência máxima à flexão estática (MOR) dos painéis compensados baseou-se na norma ABNT NBR 9433/86 (ABNT, 1986a). Utilizaram-se três corpos-de-prova por painel, sendo um corpo-de-prova com comprimento na direção paralela à grã das lâminas externas e dois com comprimento na direção perpendicular à grã das lâminas externas. Os corpos-de-prova foram retirados dos painéis com largura de 50 mm e comprimento igual a 25 vezes o valor da espessura, acrescentado de 50 mm.

2.6.2. Ensaio de cisalhamento na linha de cola

Os ensaios de resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento foram realizados de acordo com a norma ABNT NBR 9534 (ABNT, 1986e).

Para os ensaios, foram confeccionados dois corpos-de-prova de cada painel destinados ao teste seco (acondicionados em câmara climática). Tendo em vista a baixa resistência dos painéis fabricados com adesivo à base de tanino, optou-se por efetuar os testes sem os ensaios de fervura preconizados na norma para adesivos FF.

2.6.3. Análise estatística

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado com cinco repetições. Após os ensaios dos corpos-de-prova, os dados médios referentes a cada ensaio avaliado foram submetidos à análise de variância. Havendo rejeição da hipótese de nulidade pelo teste F, aplicou-se o teste Tukey no nível de 5% de significância para comparação entre as médias.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Avaliação das propriedades físicas dos painéis

3.1.1. Umidade dos painéis

Os valores médios dos teores de umidade (%) dos painéis fabricados, após climatização em câmara climática a 20 °C e 65% de Umidade Relativa, estão apresentados na Tabela 1.

Observou-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos, ficando o valor médio de umidade em 11,46%. Esses valores ficaram próximos ao esperado para materiais nas condições descritas, que é de 12%.

Tabela 1. Valores médios dos teores de umidade de painéis compensados.

Table 1. Mean values of moisture content of plywood panels.

| Tratamento | Teor de umidade câmara climática (%) |
|-----------------------|--------------------------------------|
| Painéis TF (100:00) | 11,67 |
| Painéis FF (100:00) | 11,31 |
| Painéis FF:TF (90:10) | 11,22 |
| Painéis FF:TF (80:20) | 11,65 |

TF = adesivo de tanino-formaldeído de pinus; FF = adesivo fenol-formaldeído.

Morais (2008) encontrou também valores de teor de umidade (TU) de 12,54%, próximos ao encontrado no presente trabalho.

3.2. Densidade aparente dos painéis

A Tabela 2 mostra os valores médios encontrados para a densidade aparente dos painéis, após climatização a 20 °C e 65% UR.

Observa-se que houve diferença significativa entre os tratamentos. Uma vez que a densidade pode interferir nas propriedades dos painéis, foi feita análise de correlação entre a densidade e as propriedades físicas e mecânicas avaliadas. O resultado demonstrou que as correlações não foram significativas e, assim, não foi necessário proceder à análise de covariância nas propriedades físicas e mecânicas dos painéis fabricados.

3.2.1. Absorção em Água

Os valores médios da Absorção em Água (AA) dos painéis fabricados estão apresentados na Tabela 3.

Tanto após duas horas quanto 24 horas, os painéis compensados fabricados com adesivo de tanino-formaldeído apresentaram os maiores valores de Absorção de Água (AA), sendo significativos aos demais painéis. Após duas horas de imersão em água, os painéis fabricados com adesivo fenol-formaldeído apresentaram os menores valores de AA. Ao se substituir parte do adesivo Fenol-Formaldeído (FF) por tanino da casca de pinus em até 20%, os valores de AA aumentaram, sendo significativos.

Entretanto, após 24 horas de imersão em água, a substituição de parte do adesivo fenólico por adesivo

Tabela 2. Valores médios da densidade aparente dos painéis compensados.

Table 2. Mean values of bulk density of plywood.

| Tratamento | Densidade aparente (g/cm ³) |
|-----------------------|---|
| Painéis TF (100:00) | 0,58 ^b |
| Painéis FF (100:00) | 0,59 ^b |
| Painéis FF:TF (90:10) | 0,69 ^a |
| Painéis FF:TF (80:20) | 0,67 ^a |

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey no nível de 5% de significância.

Tabela 3. Valores médios de Absorção em Água (AA) (%) dos painéis compensados.**Table 3.** Mean values for Water Absorption (AA) (%) of the plywood.

| Tratamento | AA 2 horas | CV (%) | AA 24 horas | CV(%) |
|-----------------------|-------------------|--------|--------------------|-------|
| Painéis TF (100:00) | 95,3 ^a | 1,7 | 107,6 ^a | 7,0 |
| Painéis FF (100:00) | 56,2 ^c | 5,3 | 63,8 ^b | 6,2 |
| Painéis FF:TF (90:10) | 61,0 ^b | 4,7 | 68,2 ^b | 4,2 |
| Painéis FF:TF (80:20) | 63,0 ^b | 3,8 | 70,1 ^b | 5,2 |

Médias seguidas pela mesma letra numa mesma coluna não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey no nível de 5% de significância, com seus respectivos coeficientes de variação.

à base de tanino não acarretou valores significativos de AA, quando comparados com o adesivo fenólico puro.

Trabalhando com compensados à base de adesivo UF e tanino, Ferreira (2004) utilizou tratamentos similares ao deste estudo, adicionando tanino ao adesivo nas proporções 10% e 20%, obtendo para UF puro, UF mais 10% de tanino, UF mais 20% de tanino e tanino puro, valores de AA (2 horas) de 59,29%, 67,22%, 58,81% e 75,43% respectivamente. Já os valores de AA (24 horas) obtidos foram 106%, 117,99%, 107,23% e 135,02%, respectivamente, maiores do que os obtidos neste estudo.

3.2.2. Recuperação em Espessura (RE) e Inchamento mais Recuperação em Espessura (IR)

Os valores médios da Recuperação em Espessura (RE) e Inchamento mais recuperação (IR) dos painéis fabricados estão na Tabela 4.

Conforme também ocorreu na Absorção em Água (AA), os painéis compensados fabricados com adesivo de tanino-formaldeído apresentaram os maiores valores de RE e IR, sendo estes valores superiores estatisticamente aos demais tratamentos.

Para IR, os painéis fabricados com adesivos FF apresentaram os menores valores, confirmando as características deste adesivo de apresentar alta resistência à umidade. Ao se adicionar tanino ao adesivo FF, os valores de IR aumentaram, mas não foram estatisticamente significativos.

Já para RE, não houve diferença significativa nos valores dos painéis fabricados com adesivo FF e nos painéis fabricados com FF e tanino com pinus na proporção 90:10. Quando houve substituição de FF por adesivo à base de tanino na razão de 20%,

Tabela 4. Valores médios de Recuperação em Espessura (RE) e Inchamento mais recuperação (IR) dos painéis compensados.**Table 4.** Mean values of the thickness Recovery (RE) and swelling plus recovery (IR) of the plywood.

| Tratamento | RE (%) | CV (%) | IR (%) | CV (%) |
|-----------------------|------------------|--------|-------------------|--------|
| Painéis TF (100:00) | 6,8 ^a | 10,9 | 15,5 ^a | 19,2 |
| Painéis FF (100:00) | 2,8 ^c | 12,9 | 7,3 ^b | 16,2 |
| Painéis FF:TF (90:10) | 2,9 ^c | 9,4 | 9,6 ^b | 13,5 |
| Painéis FF:TF (80:20) | 4,5 ^b | 13,8 | 9,5 ^b | 15,1 |

Médias seguidas pela mesma letra numa mesma coluna não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey no nível de 5% de significância, com seus respectivos coeficientes de variação.

os valores de RE foram maiores, havendo diferença significativa.

Os valores de IR dos painéis fabricados com adesivo FF ficaram próximos aos encontrados por Iwakiri et al. (2001) em painéis compensados fabricados com lâminas de *Pinus oocarpa*, que foi de 6,71%. Já para RE, os valores encontrados pelos autores foram menores, ficando em 1,58%.

Ferreira (2004), utilizando adesivo FF puro, FF mais 10% de tanino e tanino puro, obteve valores de RE de 8,06%, 22,27% e 16,72%, enquanto os valores de IR foram 12,04%, 24,17% e 17,76%, maiores do que os obtidos neste estudo. Note-se que os valores estão indicados respectivamente a cada tipo de adesivo.

3.3. Avaliação das propriedades mecânicas dos painéis

3.3.1. Ensaio de flexão estática

Os valores médios do Módulo de Ruptura (MOR) no sentido paralelo e perpendicular à grã das

Tabela 5. Valores médios de MOR paralelo e perpendicular à grã das lâminas externas.**Table 5.** Mean values of MOR (kgf/cm²), parallel and perpendicular to the grain of the external veneer.

| Tratamento | Flexão estática | | | |
|-----------------------|-------------------------------------|-------|--|--------|
| | MOR (kgf/cm ²)/paralelo | CV(%) | MOR (kgf/cm ²)/perpendicular | CV (%) |
| Painéis TF (100:00) | 511,5 ^b | 12,1 | 150,9 ^b | 18,5 |
| Painéis FF (100:00) | 710,7 ^a | 7,6 | 215,1 ^a | 19,8 |
| Painéis FF:TF (90:10) | 749,8 ^a | 4,2 | 209,5 ^a | 12,0 |
| Painéis FF:TF (80:20) | 653,7 ^a | 12,2 | 196,4 ^{ab} | 19,3 |

Médias seguidas pela mesma letra numa mesma coluna não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey no nível de 5% de significância, com seus respectivos coeficientes de variação.

lâminas externas dos painéis confeccionados estão apresentados na Tabela 5.

Os painéis fabricados com adesivo TF apresentaram os menores valores de MOR paralelo, sendo significativos aos demais tratamentos. A substituição de FF por adesivo TF em até 20% não acarretou diminuição nos valores de MOR paralelo. Os valores obtidos de MOR paralelo foram superiores aos encontrados para o MOR perpendicular. Para MOR perpendicular, os painéis fabricados com adesivo tanino-formaldeído (TF) apresentaram também os menores valores, só não sendo significativos aos painéis fabricados com FF:TF na razão 80:20. Da mesma forma que no MOR paralelo, a substituição de até 20% de FF por adesivo à base de tanino não acarretou diminuição significativa dos valores de MOR perpendicular.

Os valores encontrados para MOR paralelo dos painéis fabricados com adesivos FF foram bem superiores aos encontrados por Iwakiri et al. (2001) em compensados de *Pinus taeda*, que foram de 584,1 kgf/cm².

Ferreira (2004), utilizando adesivo FF puro, FF mais 10% de tanino e tanino puro, obteve valor de MOR paralelo, respectivamente, de 350,29 kgf/cm², 332,14 kgf/cm² e 241,62 kgf/cm². Para o MOR perpendicular à grã, obteve 95,84 kgf/cm², 87,84 kgf/cm² e 60,04 kgf/cm², respectivamente, sendo estes menores do que os dados obtidos neste estudo.

Morais (2008), utilizando adesivo poliuretano bi-componente, obteve compensados que apresentaram MOR paralelo de 472,26 kgf/cm² e perpendicular de 149,23 kgf/cm², menores do que os obtidos neste estudo.

Tabela 6. Valores médios para resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento dos painéis compensados.

Table 6. Mean values for resistance of shear strength for the plywood.

| Tratamento | Resistência da linha de cola (kgf/cm ²) | CV (%) |
|-----------------------|---|--------|
| Painéis TF (100:00) | 16,67 ^a | 12,8 |
| Painéis FF (100:00) | 17,73 ^a | 18,3 |
| Painéis FF:TF (90:10) | 18,13 ^a | 17,7 |
| Painéis FF:TF (80:20) | 20,80 ^a | 16,2 |

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey no nível de 5% de significância, com seus respectivos coeficientes de variação.

3.3.2. Ensaio de cisalhamento na linha de cola

Os valores médios encontrados para resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento dos painéis fabricados estão apresentados na Tabela 6.

Os resultados mostraram que não houve diferença significativa nos valores de resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento.

Ferreira (2004), utilizando adesivo FF puro, FF mais 10% de tanino e tanino puro, obteve valores de resistência da cola ao esforço de cisalhamento de 31,18 kgf/cm², 20,95 kgf/cm² e 17,71 kgf/cm², respectivamente, sendo estes maiores do que os obtidos neste estudo. Entretanto, a madeira utilizada na manufatura dos compensados foi sumaúma (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn).

Iwakiri et al. (2001), trabalhando com compensados produzidos com madeira de cinco espécies de pinus tropicais e adesivo FF, encontraram valores médios de resistência da linha de cola de 23,38 kgf/cm² (*Pinus caribaea*) a 35,67 kgf/cm² (*Pinus*

taeda) para teste seco, sendo valores bem superiores ao encontrado neste trabalho.

Moubarik et al. (2009) produziram painéis usando tanino da madeira de quebracho e maisena como extensor, e comparando com tratamentos empregando adesivo FF, obtiveram valores médios de 44,21 kgf/cm², maiores do que os obtidos no presente trabalho.

A norma europeia EN 314-2 (1993) estipula as exigências de resistência ao cisalhamento de compensados que serão utilizados em condições úmidas. Esta norma leva em consideração não somente o aspecto de falha na madeira, mas também o valor da tensão de ruptura de maneira combinada. Uma vez que os compensados fabricados com adesivo de tanino não apresentaram condições de serem submetidos aos pré-tratamentos preconizados na norma, optou-se por não utilizar esta norma para comparação de resultados. Desta forma, não foram efetuados os ensaios de ‘falha na madeira’, embora a norma estabeleça que, em casos de tensões de ruptura altas (igual ou superior a 10,2 kgf/cm² ou 1,0 MPa), a porcentagem de falha na madeira pode ser desprezada.

Assim, os compensados fabricados neste trabalho não devem ser empregados em condições úmidas, tendo em vista a baixa resistência dos taninos à umidade.

4. CONCLUSÕES

A substituição de FF por tanino em até 20% altera os valores de Absorção em Água dos painéis nas primeiras horas de contato com a água. Entretanto, após 24 horas, não há mais alteração nos valores;

Tanto para o Módulo de Ruptura paralelo quanto para o Módulo de Ruptura perpendicular à grã das lâminas externas dos painéis, a adição de 10% e 20% de extrato tânico ao adesivo FF não alterou a resistência dos compensados;

Os painéis fabricados com adesivo tanino-formaldeído de pinus apresentaram os menores valores de propriedades físicas, evidenciando a sua baixa resistência à umidade. Assim, no emprego deste adesivo, torna-se necessário utilizar parafina;

A adição de 10% e 20% de tanino ao adesivo FF não alterou a resistência no ensaio de resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento;

É possível utilizar o adesivo FF com 10% a 20% de tanino da casca de *Pinus oocarpa* para fabricação de painéis compensados com boas propriedades físicas e mecânicas.

STATUS DA SUBMISSÃO

Recebido: 26/04/2012

Aceito: 22/09/2012

Publicado: 31/12/2012

AUTOR(ES) PARA CORRESPONDÊNCIA

Bruno Couto da Silva

Departamento de Produtos Florestais, Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ, Rod. BR-465, Km 7, CEP 23890-000, Seropédica, RJ, Brasil
e-mail: mceflorestal@ig.com.br

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira da Indústria da Madeira Processada Mecanicamente - ABIMCI. *Estudo Setorial, Ano Base: 2008*. Curitiba: ABIMCI; 2009. 48 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. *NBR-9433/86: Painéis de madeira compensada: determinação dos módulos de elasticidade em resistência à flexão*. Rio de Janeiro: ABNT; 1986a.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. *NBR-9484/86: Painéis de madeira compensada: determinação do teor de umidade*. Rio de Janeiro: ABNT; 1986b.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. *NBR-9485: Painéis de madeira compensada: determinação da massa específica*. Rio de Janeiro: ABNT; 1986c.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. *NBR-9486: Painéis de madeira compensada: determinação da absorção de água*. Rio de Janeiro: ABNT; 1986d.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. *NBR-9534: Painéis de madeira compensada: determinação da resistência da colagem ao esforço de cisalhamento*. Rio de Janeiro: ABNT; 1986e.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. *NBR-9535: Painéis de madeira compensada: determinação da recuperação em espessura e inchamento mais recuperação em espessura*. Rio de Janeiro: ABNT; 1986f.

- Borges AS, Cincilio G, Brito JO. Considerações energéticas e econômicas sobre resíduos de madeira processada em serrarias. In: *Anais do 7º Congresso Florestal Brasileiro*; 1993; Curitiba. Curitiba; 1993. p. 603-605.
- Carneiro ACO, Vital BR, Pimenta AS, Mori FA. Reatividade dos taninos da casca de *Eucalyptus grandis* para produção de adesivos. *Cerne* 2001; 7(1): 1-9.
- Dalton LK. Tannin-formaldehyde resins as adhesives for wood. *Australian Journal of Applied Science* 1950; 1: 54-70.
- Dalton LK. Resins from sulphited tannins as adhesives for wood. *Australian Journal of Applied Science* 1953; 4: 136-145.
- European Standard - EN. *EN 314-2: Plywood – bonding quality: part 2 - requirements*. CEN members; 1993.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO. *Forest products annual market review: 2010-2011*. New York: United Nations; 2011.
- Ferreira ES. *Utilização dos Polifenóis da Casca de Pinus para Produção de Adesivos para Compensados* [dissertação]. Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro; 2004. 101 p.
- Gonçalves CA, Lelis RCC. Teores de taninos da casca e da madeira de cinco leguminosas arbóreas. *Floresta e Ambiente* 2001; 8(1): 167-173.
- Iwakiri S, Olandoski DP, Leonhardt G, Brand MA. Produção de chapas de madeira compensada de cinco espécies de pinus tropicais. *Ciência Florestal* 2001; 11(2): 71-77.
- Mattos RLG, Gonçalves RM, Chagas FB. Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas. *BND&S* 2008; (27): 121-156.
- Melo RR, Santini EJ, Haselein CR, Stangerlin DM, Muller MT, Del Menezzi CHS. Avaliação das propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis* colados com ureia-formaldeído e tanino-formaldeído. *Floresta*, 2010; 40(3): 497-506.
- Mori FA. *Caracterização parcial dos taninos da casca e dos adesivos produzidos de três espécies de Eucaliptos* [tese]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2000. 73 p.
- Mori C, Pimenta AS, Vital BR, Mori AM. Uso de taninos de três espécies de *Eucalyptus* na produção de adesivos para colagem de madeira. *Revista Árvore* 2001; 25(1): 19-28.
- Morais RDV. *Produção e Caracterização Físico-mecânica do Painel de Compensado de Pinus sp. Produzido com Resina Poliuretana Bi-componente* [dissertação]. Itapeva: Universidade Estadual Paulista; 2008. 74 p.
- Moubarik A, Pizzi A, Allal A, Charrier F, Charrier B. Cornstarch and tannin in phenol-formaldehyde resins for plywood production. *Industrial Crops and Products* 2009; 30: 188-193. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.03.005>
- Pizzi A, Mittal KL. *Handbook of adhesive technology*. New York: Marcel Dekker; 1994. 680 p.
- Plomley KF, Gottstein JW, Hills WR. Tannin-formaldehyde adhesives. *CSIRO Australian Forest Products Newsletter* 1957; 234: 6-8.
- Química – Especialização também atinge o curtimento. *Revista Química e Derivados* 2004; 423 [cited 2011 set. 16]. Available from: www.quimicaederivados.com.br/revista/qd423/couro5.htm.
- Roffael E. Tannine als Bindemittel für Holzwerkstoffe. *Holz-Zentralblatt* 1994; 120(6):90-93.
- Shimada AN. *Avaliação dos taninos da casca de Eucalyptus como preservativo de madeira* [dissertação]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 1998. 53 p.
- Silva FC. *Extração de taninos da casca de Pinus oocarpa var. oocarpa e avaliação de suas propriedades de colagem* [monografia]. Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro; 2009. 30 p.
- Tostes AS. *Tanino da casca de Eucalyptus pellita F. Muel como fonte de adesivos para colagem de chapas de madeira aglomeradas* [dissertação]. Seropédica: Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro; 2003. 85 p.