

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE COMPENSADOS, MDF E MDP PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS AGLOMERADOS

UTILIZATION OF WASTE OF PLYWOOD, MDF AND MDP FOR THE PRODUCTION OF PARTICLEBOARDS

Cristiane Weber¹ Setsuo Iwakiri²

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial de uso de resíduos originados da produção de painéis compensados, MDF e MDP para fabricação de painéis aglomerados. A resina ureia-formaldeído (UF) foi utilizada na produção dos painéis, em proporções de 6% e 10% com base no peso seco das partículas de madeira, juntamente com 2% de catalisador (base sólido de resina) e 1% de parafina (base peso seco das partículas). O delineamento experimental foi composto por 10 tratamentos com três repetições cada, totalizando 30 painéis. Os painéis foram produzidos com resíduos nas proporções de 100%, 50-50% e 33-33-33%. Para avaliação qualitativa, os painéis foram submetidos aos seguintes ensaios das propriedades físico-mecânicas: densidade, absorção de água e inchamento em espessura - 24 horas, flexão estática, arrancamento de parafusos (superfície e topo) e tração perpendicular à superfície. Os resultados foram avaliados conforme os requisitos das normas EN e ABNT. As avaliações gerais dos resultados das propriedades físicas e mecânicas dos painéis indicaram a viabilidade técnica de uso de resíduos de MDF, MDP e compensados, de forma pura e misturadas, para produção de painéis aglomerados. A possibilidade de uso de resíduos contribui de forma significativa em termos econômicos e ambientais.

Palavras-chave: painéis aglomerados; MDF; compensados; resíduos de painéis.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the potential use of plywood, MDF and MDP to manufacture particleboards. The resin urea formaldehyde (UF) was used in the production of the panels in proportions of 6% and 10% based on dry weight of wood particles, along with 2% of catalyst, and 1% of paraffin. The experiment comprised 10 treatments with three replicates each, totaling 30 panels. The panels were manufactured with residues in the proportions of 100%, 50-50% and 33-33-33%. The panels were subjected to the following tests of physical and mechanical properties: board density, water absorption and thickness swelling - 24 hours, static bending, screw withdraw strength (surface and top) and tension perpendicular to surface (internal bond). The results were evaluated according to the requirements of EN and ABNT standards. The general evaluation of the results of physical and mechanical properties of the panels showed the technical feasibility of the use of residues of MDF, MDP and plywood and their mixtures for particleboard manufacture. The possibility of the use of these residues contributes in terms of economical and environmental issues.

Keywords: particleboard; MDF; plywood; waste of panels.

1 Engenheira Florestal, MSc., Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Campus III, Av. Lothário Meissner, 632, CEP 80210-170, Curitiba (PR), Brasil. crisweberflorestal@yahoo.com.br

2 Engenheiro florestal, Dr., Professor Titular do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Campus III, Av. Lothário Meissner, 632, CEP 80210-170, Curitiba (PR), Brasil. setsuo@ufpr.br

INTRODUÇÃO

Os problemas relacionados às questões ambientais como a poluição e a geração de resíduos e suas consequências, estão, em muitos casos, associados aos processos produtivos. O melhor aproveitamento da matéria-prima, por meio de processos que incorporem os princípios de gestão ambiental, vem ganhando importância nas indústrias e instituições de pesquisas, pois, além dos benefícios ambientais e sociais, trazem vantagens econômicas às empresas.

Um indicador desta demanda ambiental é a adesão das empresas aos processos de certificações ambientais e florestais, solicitados pelos mercados, especialmente os internacionais, exigindo do setor produtivo a responsabilidade ambiental e social na exploração dos recursos florestais, com a máxima preservação possível destes recursos.

O consumo de madeira em grande escala pelos diversos setores da sociedade faz com que surjam discussões e questionamentos sobre os impactos dos resíduos madeireiros ao ecossistema, instigando a ciência florestal no desenvolvimento de pesquisas sobre soluções mitigadoras dos impactos ambientais gerados nos processos produtivos, onde a matéria-prima madeira é o principal componente.

Neste contexto, existe a demanda por estudos para viabilizar a utilização de resíduos de painéis de madeira, oriundos do setor moveleiro, da construção civil e outros setores, onde ocorre elevado descarte desses produtos, para produção de “novos” painéis reconstituídos de madeira. Essas pesquisas podem favorecer o melhor aproveitamento da matéria-prima, proporcionando maior valor agregado ao produto.

Os resíduos de painéis de madeira possuem potencial econômico ainda pouco explorado pelas indústrias. A alternativa de seu aproveitamento na produção de novos painéis é uma ideia que vem ao encontro do apelo social atual, favorável à adoção de materiais que provoquem o mínimo impacto ambiental ao ecossistema.

O Brasil possui tecnologia avançada na produção de painéis de madeira reconstituída. É também o país com o maior número de fábricas de última geração. Com investimentos contínuos em tecnologia e automação, as empresas construíram versáteis e modernos parques industriais destinados à instalação de novas unidades, à atualização tecnológica das plantas já existentes, à implantação

de linhas contínuas de produção e aos novos processos de impressão, de impregnação, de revestimento e de pintura (ABIPA, 2010).

As utilizações dos painéis de madeira estão diretamente associadas às propriedades físicas e mecânicas dos mesmos. As restrições técnicas para o uso e a aplicação de diferentes tipos de painéis de madeira envolvem características como resistência mecânica, estabilidade dimensional, uniformidade da superfície, usinabilidade, resistência à fixação de parafusos, entre outros. Os principais usos e aplicações dos painéis de madeira estão associados principalmente aos segmentos da construção civil e de móveis, em função das suas características tecnológicas (ABIMCI, 2009).

Os principais parâmetros do processo produtivo de painéis aglomerados estão relacionados à matéria-prima e às variáveis de processamento e são amplamente descritos por Maloney (1993) e Moslemi (1974). Quanto à matéria-prima, as características da madeira como densidade, pH, extrativos e geometria das partículas interferem no processo de colagem e qualidade dos painéis produzidos. No caso de partículas obtidas a partir da transformação de painéis como compensados, MDF e MDP, algumas características são diferenciadas, tendo em vista que estes painéis possuem na sua estrutura a resina polimerizada, parafina, e já passaram por processo de prensagem à alta temperatura na prensa. Trata-se de um tema ainda pouco explorado e carente de publicações no Brasil. Já, o uso de resíduos de madeira sólida tem sido foco de algumas pesquisas publicadas em periódicos científicos. Iwakiri et al. (2000) utilizou resíduos de madeira de espécies de *Eucalyptus* provenientes de serrarias; Iwakiri et al. (2012) avaliou o potencial de uso de resíduos de serrarias de nove espécies de madeiras tropicais para produção de painéis aglomerados.

Tendo em vista estas peculiaridades em termos de matéria-prima e carência de estudos sobre a utilização destes materiais na produção de aglomerados, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a viabilidade de uso de resíduos de painéis compensados, MDF e MDP para produção de painéis aglomerados.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os resíduos de painéis compensados, MDF e MDP, todos compostos por madeira de *Pinus* spp, foram obtidos em empresas fabricantes de painéis

de madeira, na região metropolitana de Curitiba, no Estado do Paraná. Estes resíduos são gerados nas operações de esquadrejamento e de painéis desclassificados no controle de qualidade do produto final. O destino atual deste material nas indústrias é a geração energética através da queima.

Os resíduos de painéis foram transformados em cavacos e, posteriormente, processados em moinho de martelos, onde passaram por peneiras com três diferentes tamanhos de malhas, 18, 12 e 6 mm, sendo utilizadas para produção dos painéis as partículas que passaram pela malha de 12 mm e ficaram retidas na malha de 6 mm.

A pesquisa consistiu de um experimento com 10 tratamentos e três repetições, totalizando 30 painéis, nos quais foram analisados os três diferentes tipos de resíduos de painéis e misturas destes, além de dois teores de resina UF (Tabela 1).

Os resíduos foram utilizados na produção de painéis de forma pura (100%) ou misturados. As proporções de misturas das partículas, provenientes de resíduos de compensados, MDP e MDF, foram de 50% nos painéis com dois tipos de resíduos e 33% nos painéis com os três tipos de resíduos.

A resina ureia-formaldeído (UF) foi utilizada nas proporções de 6 e 10% de sólidos, a emulsão de parafina foi aplicada na proporção de 1%, ambas em relação à quantidade de massa seca de partículas. O catalisador - sulfato de amônia ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), foi aplicado na proporção de 2%, base sólido de resina. Estes componentes foram adicionados por meio de aspersão, com auxílio de uma pistola, no aplicador do tipo tambor rotatório. A densidade nominal calculada para os painéis foi de 0,80 g/cm³.

O colchão de partículas foi formado manualmente, utilizando-se uma caixa de madeira, com dimensões de 50 cm de largura por 50 cm de comprimento, colocada sobre uma placa de alumínio, na qual as partículas correspondentes a um painel, foram distribuídas uniformemente. Em seguida, o colchão de partículas foi pré-prensado e separadores de 15 mm foram colocados em duas laterais opostas para delimitar a espessura do painel.

Os painéis foram prensados em uma prensa de pratos com aquecimento elétrico, à temperatura de 160°C, pressão específica de 4,0 MPa e tempo de prensagem de 8 minutos. Após a prensagem, os painéis foram esquadrejados e acondicionados em câmara climatizada, com temperatura $20 \pm 3^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $65 \pm 5\%$, para estabilização final para ensaios.

A avaliação da qualidade dos painéis produzidos com resíduos compreendeu a determinação das seguintes propriedades físicas e mecânicas: massa específica aparente, absorção de água e inchamento em espessura, após 24 horas de imersão em água; flexão estática (MOE e MOR); arrancamento de parafusos (superfície e topo) e tração perpendicular à superfície, de acordo com os procedimentos descritos na Norma Europeia EN. Os valores obtidos nos ensaios foram comparados com os requisitos das Normas EN 312:2003 e NBR 14810-2:2006.

Os resultados de densidade dos painéis dos 10 tratamentos foram avaliados inicialmente através da análise de variância (ANOVA). Constatadas as diferenças significativas entre as densidades, foi realizada a análise de covariância (ANACOVA).

TABELA 1: Delineamento experimental.

TABLE 1: Experimental design.

Tratamento	Resíduos	Proporção de resina (%)	Proporção de misturas dos resíduos (%)
T1	MDP	10	100
T2	Compensado	10	100
T3	MDF	10	100
T4	MDP e MDF	10	50/50
T5	MDP e compensado	10	50/50
T6	Compensado e MDF	10	50/50
T7	MDP, compensado e MDF	10	33/33/33
T8	MDP	6	100
T9	Compensado	6	100
T10	MDF	6	100

Todos os testes foram aplicados ao nível de 95% de significância, e o programa estatístico utilizado para a análise foi o *Statgraphics Plus*. Havendo a rejeição da hipótese de igualdade, foi aplicado o Teste de Tukey para comparação das médias entre os tratamentos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Densidade e teor de umidade dos painéis

Os valores médios da densidade e teor de umidade dos painéis são apresentados na Tabela 2.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 2, os valores médios de densidade dos painéis variaram de 0,681 g/cm³ (T8) a 0,765 g/cm³ (T3).

Os resultados indicam que os painéis compostos com 100% de partículas de resíduos de MDF, MDP e compensados e 10% de resina (T1, T2, T3) não apresentaram valores médios de densidade diferentes estatisticamente.

Os valores médios de densidade dos painéis compostos por misturas de resíduos (T4, T5, T6, T7) também não foram estatisticamente diferentes, demonstrando que as misturas de partículas de diferentes tipos de resíduos não interferiram significativamente nesta propriedade. Entre estes tratamentos, os painéis produzidos com os três resíduos (T7) apresentaram a maior média (0,763 g/cm³), enquanto os painéis produzidos com resíduos de compensados e MDF (T6) apresentaram a menor média (0,730 g/cm³).

Os painéis compostos com 100% de partículas de resíduos de MDF, MDP e compensados e 6% de resina (T8, T9, T10), também não apresentaram diferenças estatísticas entre os valores médios de densidade. Na comparação entre os painéis produzidos com 10% e 6% de resina, verificou-se diferença significativa apenas entre os painéis produzidos com resíduos de MDP, nos quais ficou evidente a influência do maior teor de resina na densidade dos painéis.

Com relação aos resultados de teores de umidade dos painéis apresentados na Tabela 2, verifica-se que existem diferenças estatísticas significativas entre as médias dos painéis. Os valores médios variaram entre 7,34 (T3) e 8,96% (T9).

Pode-se constatar que os painéis compensados, cujo resíduo foi utilizado nos tratamentos 2 e 9 de forma pura, originalmente não receberam adição de parafina no processo produtivo, justificando, desta forma, a maior higroscopicidade em relação aos demais tratamentos deste experimento. Os resíduos de MDF e MDP, por terem recebido a aplicação de parafina durante o processo produtivo, a aplicação adicional de mais 1% de parafina na manufatura destes painéis experimentais, resultaram na redução da higroscopicidade destes painéis.

Observa-se que os painéis com resíduos de MDF e proporção de 10 e 6% de resina (tratamentos 3 e 10, respectivamente), apresentaram os menores valores de teor de umidade, o que pode ser justificado pela maior proporção de parafina que, provavelmente, foi determinante para o teor de

TABELA 2: Valores médios da densidade do teor de umidade dos painéis.

TABLE 2: Mean values of density and moisture content of panels.

Tratamentos	Densidade Média (g/cm ³)	Teor de umidade Média (%)
T1 – MDP ¹	0,741 bc	8,67 d
T2 – C ¹	0,729 abc	8,87 e
T3 – MDF ¹	0,765 c	7,34 a
T4 – MDP/MDF	0,743 bc	8,02 b
T5 – MDP/C	0,746 bc	8,64 d
T6 – C/MDF	0,730 abc	8,13 bc
T7 – MDP/C/MDF	0,763 c	8,27 c
T8 – MDP ²	0,681 a	8,65 d
T9 – C ²	0,702 ab	8,96 e
T10 – MDF ²	0,714 abc	7,42 a

Em que: ¹ 10% resina; ² 6% resina. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ao nível de 95% de significância.

umidade inferior.

Em referência a trabalhos publicados sobre painéis de madeira, que comprovam a baixa umidade de equilíbrio em produtos de madeira reconstituída, podemos citar: Hillig, Haselein e Santini (2004) que encontraram valores entre 3,74% e 8,78% para painéis do tipo *flakeboards* de *Pinus elliottii*, *Eucalyptus grandis* e *Acacia mearnsii*; Cabral et al. (2007) encontraram valores de 9,62% a 9,94% para painéis de madeira aglomerada produzidos com *Eucalyptus spp.* e *Pinus elliottii*; e Carneiro et al. (2009) com valores de 9,10% a 10,23% para painéis de madeira aglomerada de *Pinus elliottii*, colados com ureia-formaldeído e adesivos tânicos.

De maneira geral, os teores de umidade dos tratamentos ficaram um pouco abaixo dos valores observados em outros trabalhos. Isto pode ser explicado pelo fato desse material ter passado por aquecimento na fabricação inicial dos painéis e ter sido novamente submetido ao aquecimento a altas temperaturas neste processo produtivo, o que pode ter contribuído para redução de sítios higroscópicos. A redução na higroscopicidade também pode ser causada pela incorporação de resina e parafina, ambas redundantes neste experimento, deixando o painel menos reativo à água.

Absorção de água e inchamento em espessura

Os resultados obtidos nos ensaios de absorção de água e inchamento em espessura – 24 horas – são apresentados na Tabela 3.

Os valores médios de absorção de água após 24 horas de imersão variaram de 16,17% (T4) a 57,41% (T9). Os resultados indicam maior absorção de água dos painéis produzidos integralmente com compensados (T2 e T9) e também os efeitos negativos da incorporação deste material em misturas com resíduos de MDF e MDP (T5, T6, T7). Estas variações podem ser atribuídas ao fato de que na produção de compensados não foi utilizada a emulsão de parafina. Os menores índices de absorção de água foram obtidos para os painéis produzidos com resíduos de MDF e MDP em função da dupla adição de parafina, no processo industrial e no laboratório.

Com exceção de painéis produzidos com resíduos de compensados, não foram constatadas diferenças estatísticas entre os painéis produzidos com 6% e 10% de resina. Para os painéis produzidos com misturas dos três tipos de resíduos, observa-se que a inclusão de resíduos de compensados aumenta significativamente a absorção de água.

Os valores médios de inchamento em espessura após 24 horas de imersão em água variaram entre 6,42% (T3) e 32,26% (T9).

Os maiores valores médios de inchamento em espessura foram obtidos para painéis produzidos com 100% de resíduos de compensados (T2 e T9), seguidos de painéis com 50% de compensados (T5 e T6). A redução no teor de resina de 10% para 6% resultou em aumento significativo de inchamento em espessura para painéis de resíduos de MDP e compensados.

TABELA 3: Valores médios de absorção de água e inchamento em espessura – 24 horas.

TABLE 3: Mean values of water absorption and thickness swelling – 24 hours.

Tratamentos	Absorção de água	Inchamento em espessura
	24 horas(%)	24 horas (%)
T1 – MDP ¹	25,13 cd	10,51 bc
T2 – C ¹	44,33 e	19,80 e
T3 – MDF ¹	18,50 ab	6,42 a
T4 – MDP/MDF	16,17 a	7,05 a
T5 – MDP/C	29,13 d	12,92 c
T6 – C/MDF	21,82 bc	7,96 ab
T7 – MDP/C/MDF	20,56 abc	7,88 a
T8 – MDP ²	29,25 d	16,65 d
T9 – C ²	57,41 f	32,26 f
T10 – MDF ²	17,45 ab	8,65 ab

Em que: ¹ 10% resina; ² 6% resina. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ao nível de 95% de significância.

A mistura de resíduos de MDP, MDF e compensados não contribuíram para o aumento no inchamento em espessura dos painéis. Os painéis produzidos com 100% de resíduos de MDF apresentaram médias de inchamento em espessura estatisticamente inferiores em relação aos demais tipos de painéis. A mistura de resíduos de MDF na composição dos painéis contribuiu para redução do inchamento em espessura.

Portanto, pode-se afirmar que a incorporação de parafina no material original e no processo de manufatura em laboratório reduziu significativamente os valores médios de inchamento em espessura, quando comparados com os painéis de resíduos de compensados.

Com relação aos resultados apresentados na literatura, Iwakiri et al. (2000) obtiveram para painéis produzidos puros ou em misturas a partir de resíduos de serrarias de três espécies de *Eucalyptus* (*Eucalyptus maculata*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus tereticornis*), com densidade nominal de 0,75 g/cm³, e duas proporções de resina UF (8 e 12%), valores médios de absorção de água entre 37,37% a 50,80%, e de 23,51% a 38,81% para inchamento em espessura, ambos após 24 horas de imersão em água. Numa outra pesquisa realizada por Iwakiri et al. (2005), com painéis aglomerados de *Pinus spp.*, com densidade de 0,650 g/cm³ e 8% de resina UF, os valores obtidos para absorção de água e inchamento em espessura foram de 126,58% e 29,99%, respectivamente, após 24 horas de

imersão em água.

Pode-se afirmar que os resultados obtidos nesta pesquisa para painéis aglomerados produzidos com resíduos de MDF, MDP e compensados foram satisfatórios em relação aos resultados de outras pesquisas.

Módulo de ruptura, módulo de elasticidade e tração perpendicular à superfície do painel

Os resultados obtidos para o Módulo de Ruptura e Módulo de Elasticidade em flexão estática paralela e perpendicular e tração perpendicular estão apresentados na Tabela 4.

Os valores médios de Módulo de Ruptura (MOR) variaram de 4,93 MPa (T8) a 9,76 MPa (T3). Verifica-se que os valores médios de MOR dos painéis produzidos com resíduos de MDP (T1) e compensados (T2) não diferiram estatisticamente e foram inferiores em relação aos painéis de MDF (T3). Em relação aos painéis produzidos com misturas de resíduos (T4, T5, T6 e T7), o tratamento 5, produzido com resíduos de MDP e compensado, apresentou valor médio de MOR estatisticamente inferior, em comparação aos demais tratamentos.

Entre os painéis produzidos com resíduos puros e 6% de resina (T8, T9, T10), os painéis produzidos com resíduos de MDP (T8) e compensados (T9) não diferiram estatisticamente entre si e foram inferiores em comparação aos painéis produzidos com resíduos de MDF (T10).

TABELA 4: Valores médios de módulo de ruptura, módulo de elasticidade e tração perpendicular à superfície dos painéis.

TABLE 4: Mean values of modulus of rupture, modulus of elasticity and internal bond.

Tratamento	MOR	MOE	Tração perpendicular à superfície
	Média (MPa)	Média (MPa)	Média (MPa)
T1 – MDP ¹	6,47 abc	1185,43 abc	0,54 de
T2 – C ¹	6,88 bcd	1429,51 bc	0,48 bcde
T3 – MDF ¹	9,76 f	1129,31 ab	0,46 bcd
T4 – MDP/MDF	8,23 cdef	1168,09 abc	0,56 e
T5 – MDP/C	5,75 ab	1522,31 c	0,51 cde
T6 – C/MDF	9,09 ef	1405,76 bc	0,55 e
T7 – MDP/C/MDF	8,44 def	1438,93 bc	0,50 cde
T8 – MDP ²	4,93 a	882,96 a	0,44 bc
T9 – C ²	5,59 ab	1236,38 abc	0,40 b
T10 – MDF ²	7,86 cde	1158,75 ab	0,26 a

Em que: ¹ 10% resina; ² 6% resina. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ao nível de 95% de significância.

Já com relação ao teor de resina, apenas os painéis produzidos com resíduos de MDF com 6% de resina (T10) apresentaram média de MOR estatisticamente inferior em comparação aos painéis produzidos com 10% de resina. Para os demais tratamentos, a redução do teor de resina de 10% para 6% não contribuiu de forma negativa nos resultados de MOR. Entretanto, em termos de médias absolutas, podem-se constatar reduções nos valores de MOR para painéis com menor teor de resina.

Os valores médios de Módulo de Elasticidade (MOE) variaram de 882,96 MPa (T8) a 1522,31 MPa (T5). Os painéis produzidos integralmente com resíduos de MDF, MDP e compensados com 10% de resina (T1, T2, T3) apresentaram médias de MOE estatisticamente iguais, indicando que os diferentes tipos de resíduos não influenciaram nos resultados desta propriedade.

Da mesma forma, os MOE dos painéis produzidos com mistura de resíduos em diferentes proporções (T4, T5, T6, T7), e painéis produzidos integralmente com resíduos de MDF, MDP e compensados com 6% de resina (T8, T9, T10), não diferiram estatisticamente entre si.

Quanto à influência do teor de resina, a redução de 10% para 6% não afetou de forma estatisticamente significativa os resultados de MOE.

Os resultados de MOR e MOE obtidos nesta pesquisa estão compatíveis com os valores apresentados na literatura. Brito (1995) obteve para painéis de madeira aglomerada produzidos com resíduos de serraria (serragem e maravalha) de madeira de *Pinus elliottii*, valores médios na faixa de 9,74 a 13,58 MPa para MOR, e de 1287,21 e 1653,29 MPa para MOE. No trabalho publicado por Iwakiri et al. (2000), para painéis aglomerados produzidos a partir de resíduos de serrarias de *Eucalyptus maculata*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus tereticornis*, com densidade nominal de 0,75 g/cm³ e duas proporções de resina UF (8 e 12%), os valores medos de MOE e MOR foram respectivamente na faixa de 1194,34 e 2260,98 MPa, e de 7,27 e 16,02 MPa. Dacosta et al. (2005) encontraram, para painéis de madeira aglomerada produzidos com resíduos de processamento mecânico de *Pinus elliottii*, com densidade nominal de 0,6 e 0,7g/cm³ e 4%, 8% e 12% de resina UF, valores médios de MOR na faixa de 5,06 a 9,72 MPa, e MOE na faixa de 522,69 a 1183,75 MPa.

Já, com relação à Norma Europeia EN (2003), que estabelece os requisitos mínimos para MOE e MOR de 13 MPa e 1600 MPa, respectivamente, os resultados obtidos nesta pesquisa foram um pouco inferiores aos valores referenciados.

Os valores médios para tração perpendicular à superfície variaram de 0,26 MPa (T10) a 0,56 MPa (T4).

Os painéis produzidos integralmente com resíduos de MDF, MDP e compensados (T1, T2, T3) e, a partir de misturas destes resíduos (T4, T5, T6, T7), não apresentaram diferenças significativas entre si. Já, para os painéis produzidos integralmente com resíduos de MDF, MDP e compensados, mas com 6% de resina (T8, T9, T10), foi constatada diferença significativa entre as médias obtidas entre os tratamentos, sendo que os painéis produzidos com MDP e compensado apresentaram médias de tração perpendicular superiores em relação aos painéis produzidos com MDF.

O aumento no teor de resina resultou em maiores valores médios de tração perpendicular dos painéis produzidos com MDP e MDF, sendo estas diferenças estatisticamente significativas.

Com relação aos trabalhos apresentados na literatura, Brito (1995) obteve para painéis aglomerados produzidos com resíduos de serraria (serragem e maravalha) de *Pinus elliottii*, valores médios de tração perpendicular na faixa de 0,32 a 0,58 MPa. Dacosta et al. (2005), encontraram para painéis aglomerados produzidos com resíduos de processamento mecânico de *Pinus elliottii*, com densidade nominal de 0,60 e 0,70g/cm³, e 4%, 8% e 12% de resina UF, valores médios de tração perpendicular entre 0,09 e 0,23 MPa. Melo e Del Menezzi (2010) obtiveram para painéis de *Eucalyptus grandis*, produzidos com densidade de 0,60, 0,70 e 0,80 g/cm³ e 8% de resina ureia-formaldeído, valores médios de tração perpendicular na faixa de 0,28 e 0,35 MPa. Portanto, pode-se afirmar que os valores médios de tração perpendicular obtidos nesta pesquisa são satisfatórios com relação aos resultados apresentados na literatura.

Com relação aos requisitos exigidos pela norma EN 312:2003, que estabelece para tração perpendicular um valor mínimo é de 0,35 MPa, pode-se afirmar que com exceção dos painéis produzidos com resíduos de MDF com 6% de resina, todos os demais tratamentos atenderam ao valor mínimo especificado pela norma.

Resistência ao arrancamento de parafuso

Os resultados obtidos para os ensaios de resistência ao arrancamento de parafuso estão apresentados na Tabela 5.

Os valores médios de resistência ao arrancamento de parafuso na superfície e no topo variaram respectivamente de 723,73 N (T10) a 1200,12 N (T4) e de 591,13 N (T5) a 1345,69 N (T4).

Os valores médios de resistência ao arrancamento de parafuso na superfície e no topo, obtidos para os painéis produzidos integralmente com resíduos de MDF, MDP e compensados com 6% de resina (T1, T2, T3) e com 10% de resina (T8, T9, T10), não diferiram estatisticamente entre si. Já, para os painéis produzidos com a mistura de resíduos de MDF, MDP e compensados (T4, T5, T6, T7), foi constatada diferença significativa entre as médias obtidas entre os tratamentos, sendo que os painéis produzidos com mistura de MDP e compensado (T5) apresentaram média estatisticamente inferior em relação aos demais tratamentos. Para resistência ao arrancamento de parafuso na superfície, não foram constatadas diferenças estatisticamente significativas entre as médias obtidas para os painéis produzidos com 10% e 6% de resina. Entretanto, para o topo, os painéis produzidos com resíduos de MDP e MDF com 10% de resina apresentaram médias estatisticamente superiores em relação aos painéis produzidos com 6% de resina. Portanto, o aumento no teor de resina influenciou de forma

positiva nos resultados desta propriedade.

Com relação aos requisitos da norma ABNT NBR 14810-3:2006 que estabelece o valor mínimo de 1020 N e 800 N, respectivamente para a resistência ao arrancamento de parafuso na superfície e topo, os tratamentos T1, T4, T6 e T7 atenderam ao especificado para superfície. Para o topo, todos os tratamentos, com exceção do T5, atenderam ao valor mínimo especificado pela norma ABNT.

De uma forma geral, os resultados obtidos nesta pesquisa podem ser avaliados como satisfatório em relação aos apresentados na literatura. Dacosta et al. (2005) obtiveram para painéis aglomerados produzidos com resíduos de processamento mecânico de *Pinus elliottii*, com densidade nominal de 0,60 e 0,70 g/cm³ e 4%, 8% e 12% de resina UF, valores médios de resistência ao arrancamento de parafuso na superfície na faixa de 451,11 e 745,31 N. No trabalho publicado por Melo e Del Menezzi (2010), para painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis*, produzidos com densidade de 0,60, 0,70 e 0,80 g/cm³ e 8% de resina ureia-formaldeído, os valores de arrancamento de parafuso na superfície variaram na faixa de 710 a 966 N.

CONCLUSÕES

Os resultados de absorção de água e inchamento em espessura demonstraram que quantidades de parafina acima de 1% prejudicam estas propriedades.

TABELA 5: Valores médios de resistência ao arrancamento de parafuso na superfície e topo dos painéis.
TABLE 5: Mean values of screw withdraw strength in the face and edge.

Tratamento	Superfície	Topo
	Média (N)	Média (N)
T1 – MDP ¹	1049,48 bcd	1066,75 def
T2 – C ¹	996,36 bcd	1004,31 de
T3 – MDF ¹	887,83 ab	934,03 cd
T4 – MDP/MDF	1200,12 d	1345,69 g
T5 – MDP/C	810,36 ab	591,13 a
T6 – C/MDF	1140,08 cd	1258,63 fg
T7 – MDP/C/MDF	1195,43 d	1201,31 efg
T8 – MDP ²	870,94 ab	718,17 abc
T9 – C ²	905,48 abc	846,75 bcd
T10 – MDF ²	723,73 a	621,74 ab

Em que: ¹ 10% resina; ² 6% resina. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ao nível de 95% de significância.

Com exceção dos painéis produzidos com resíduo de MDF com 6% de resina, todos os demais tratamentos atenderam ao requisito mínimo da norma EN 312:2003 de 0,35 MPa, para tração perpendicular.

De uma forma geral, a redução no teor de resina de 10% para 6% afetou negativamente as propriedades mecânicas dos painéis.

As avaliações gerais dos resultados das propriedades físicas e mecânicas dos painéis indicam a viabilidade técnica de uso de resíduos de MDF, MDP e compensados, de forma pura e misturadas, para produção de painéis aglomerados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIMCI – Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente. **Estudo setorial 2009 - ano base 2008**. Curitiba: ABIMCI, 2009. 54 p.
- ABIPA – Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira. **Nossos produtos**. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/produtosMDP.php>> Acesso em: 17 de novembro de 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 14810 – 3: Chapas de madeira aglomerada – Parte 3 – Métodos de Ensaio**. 2006.
- BRITO, E. O. **Produção de chapas de partículas de madeira a partir de maravalhas e *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii* plantado no Sul de Brasil**. 1995. 123 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.
- CABRAL, C. P. et al. Propriedades de chapas de aglomerado confeccionadas com misturas de partículas de *Eucalyptus* spp. e *Pinus elliottii*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 897-905, 2007.
- CARNEIRO, A. C. O. et al. Propriedades de chapas de aglomerado fabricadas com adesivo tânico de angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina*) e ureia-formaldeído. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 3, p. 521-531, 2009.
- DACOSTA, L. P. E. et al. Qualidade das chapas de partículas aglomeradas fabricadas com resíduos do processamento mecânico da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. **Ciência Florestal**, v. 15, n. 03, p. 311-322, 2005.
- EUROPEAN STANDARD. **EN 312-2003: Particleboards specifications**, USA, 2003.
- HILLIG, E.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J. Estabilidade dimensional de chapas aglomeradas estruturais (flakeboards) fabricadas com madeiras de *Pinus*, *Eucalyptus* e *Acácia negra*. **Scientia Forestalis**, n. 65, p. 80-94, 2004.
- IWAKIRI, S. et al. Resíduos de serrarias na produção de painéis de madeira aglomerada de eucalipto. **Scientia Agraria**, v.1, n. 1-2, p. 23-28, 2000.
- IWAKIRI, S. et al. Avaliação das propriedades de painéis aglomerados produzidos com resíduos de serrarias de nove espécies de madeiras tropicais da Amazônia. **Acta Amazônica**, v. 42, n. 1, p. 59-64, 2012.
- MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing**. 2nd ed. São Francisco: M. Freeman, 1993. 689 p.
- MELO, R. R. de; DEL MENEZZI, C. H. S. Influência da Massa Específica nas Propriedades Físico-Mecânicas de Painéis Aglomerados. **Revista Silva Lusitana**, Lisboa, v. 18, n. 1, jun./2010. Disponível em: <http://www.scielo.oces.mctes.pt/scielo.php?pid=S0870-63522010000100004&script=sci_arttext> Acesso em: 23 de janeiro de 2011.
- MOSLEMI, A. A. **Particleboard: Materials**. London: Southern Illinois University Press, 1974, 244 p. v. 1