

Produção de painéis aglomerados homogêneos a partir  
de fibras oversize residuais de uma indústria de MDFProduction of homogeneous particleboard from  
residual oversize fibers of a MDF industryMorgana Cristina França<sup>1</sup>, Aleksandro Bayestorff da Cunha<sup>2</sup>, Rosilani Trianoski<sup>3</sup>,  
Marcos Benedito Schimalski<sup>2</sup> e Polliana D'Angelo Rios<sup>2</sup>**Resumo**

O objetivo do presente estudo foi avaliar a viabilidade técnica da produção de painéis aglomerados a partir de fibras *oversize* retiradas do processo de produção de MDF. A matéria-prima utilizada foi composta por partículas *flake*, de uma empresa de MDP, e fibras resinadas retiradas antes da formação do colchão dos painéis MDF, ambas formadas pelo *mix* de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*. O delineamento experimental envolveu 5 tratamentos homogêneos, nas proporções 100 partes de partículas para 0 partes de fibras, 75:25, 50:50, 25:75, 0:100. Saliencia-se que cada composição foi fabricada com 12% de resina ureia formaldeído e 1% de emulsão parafina. Os ensaios foram desenvolvidos de acordo com a ASTM (1993); DIN (1982) e ABNT (2006). Na análise dos resultados foi aplicada a Análise de Variância e Teste de Scott-Knott a 95% de probabilidade. Como resultados, foi verificada a influência positiva da utilização de fibras *oversize* resinadas nas propriedades tecnológicas dos painéis. Desta forma, os melhores tratamentos do estudo foram os compostos por 75% e 100% de fibras *oversize*.

**Palavras-chave:** painel de madeira reconstituída, resíduos de processo; granulometria.

**Abstract**

The objective of this study was to evaluate the technical feasibility of production of particleboard from oversize fibers taken from the MDF production process. The raw material used was composed of flake particles, a MDP company, and resin-coated fibers removed before the formation of the mattress of MDF panels, both formed by the mix of *Pinus taeda* and *Pinus elliottii*. The experiment involved 5 homogeneous treatments in proportions of 100 parts of particulate 0 shares fibers, 75:25, 50:50, 25:75, 0: 100. Please note that each composition was manufactured with 12% urea formaldehyde resin and 1% paraffin emulsion. Assays were developed in accordance with ASTM (1993), DIN (1982) and ABNT (2006). In the analysis of the results the analysis of variance and the Scott-Knott test at 95% probability was applied. As a result a positive influence of the use of oversize fibers in technological properties of the panels was found. The best study treatments were composed of 75% to 100% oversize fibers.

**Keywords:** Wood panel, process residue and adhesive, grain size.

**INTRODUÇÃO**

A cadeia produtiva do setor brasileiro de florestas plantadas caracteriza-se pela grande diversidade de produtos, compreendendo um conjunto de atividades que incluem a produção, a colheita e a transformação da madeira até a obtenção dos produtos finais.

Atualmente o consumo de madeira de florestas plantadas é distribuído em setores como: celulose, painéis de madeira industrializada, serrados, compensados, carvão vegetal, lenha e outros, sendo que os três últimos são responsáveis pelo maior consumo de madeira na forma de toras com 38,7% do total (ABRAF, 2013).

<sup>1</sup>Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. UDESC – Universidade do Estado de Santa Catarina - Av. Luiz de Camões, 2090, Bairro Conta Dinheiro - 88520-000- Lages, SC, Brasil – 88520-000 – E-mail: [morganaa\\_franca@hotmail.com](mailto:morganaa_franca@hotmail.com).

<sup>2</sup>Professor Doutor do Departamento de Engenharia Florestal. UDESC – Universidade do Estado de Santa Catarina - Av. Luiz de Camões, 2090, Bairro Conta Dinheiro - 88520-000- Lages, SC, Brasil – 88520-000 – E-mail: [alexsandro.cunha@udesc.br](mailto:alexsandro.cunha@udesc.br); [marcos.schimalski@udesc.br](mailto:marcos.schimalski@udesc.br); [polliana.rios@cav.udesc.br](mailto:polliana.rios@cav.udesc.br).

<sup>3</sup>Professora Doutora do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. UFPR – Universidade Federal do Paraná. Av. Lothário Meissner, 632 – 80210-170 - Jardim Botânico - Curitiba, PR. E-mail: [rosillani@gmail.com](mailto:rosillani@gmail.com).

Entretanto, segundo dados da FAO (2013), um dos setores que vem crescendo fortemente nos últimos anos é o de painéis de madeira industrializada com incremento de 8,9% ao ano. Esse fato também é comprovado pelo aumento da produção de 3,5 milhões de metros cúbicos em 2003 para 7,8 milhões em 2013, da mesma forma que o consumo aparente de 3,2 milhões de metros cúbicos para 7,5 milhões. Desta forma, o Brasil foi considerado o sétimo produtor mundial de painéis em 2012 (FAO, 2013).

Dentre os painéis que tiveram sua produção mais acentuada, pode-se destacar os painéis MDP (*Medium Density Particleboard*). Segundo Biazus et al. (2010), o MDP é o painel de madeira reconstituída mais produzido e consumido no mundo. No Brasil, apresenta uma produção anual de aproximadamente 3 milhões de metros cúbicos (ABIPA, 2012), com aproximadamente 2% da produção mundial. Mattos et al. (2008) acrescenta que mais de 95% de toda a produção brasileira é utilizada apenas para o abastecimento do mercado interno. Silva (2012) complementa que a importância mercadológica do MDP se concentra no abastecimento de indústrias produtoras de móveis para o uso residencial e comercial, onde este produto se mostra como a principal matéria prima.

Os painéis de partículas de média densidade, conhecidos popularmente como aglomerados, caracterizam-se como painéis produzidos a partir de partículas de madeira distribuídas aleatoriamente, com a incorporação de um adesivo e aplicação de pressão e temperatura a fim de se obter um produto específico (MOSLEMI, 1974; MALONEY, 1993).

Tratando-se da matéria prima utilizada na fabricação dos painéis, Dacosta et al. (2005a) salientam que todo e qualquer material lignocelulósico pode ser utilizado como matéria-prima para a fabricação de chapas de partículas. Entretanto, só as madeiras de folhosas e de coníferas se apresentam como fonte permanente e ininterrupta de elementos lignocelulósicos para a produção desses produtos. No Brasil, a madeira de *Pinus* é a principal matéria-prima utilizada na produção de painéis aglomerados (IWAKIRI et al., 2005).

Além da madeira oriunda de desbastes, os painéis podem ser fabricados com a utilização de alguns resíduos e sobras de madeira de processos industriais como: peças processadas e acabadas, apresentando boa qualidade técnica e comercial, mas que não foram usadas nos produtos finais (TEIXEIRA, 2005); rolo-resto proveniente do processo de laminação; retalhos resultantes do processo de esquadreamento dos painéis de madeira e o rejeito (peças que ao sofrer o processamento, ficaram abaixo dos padrões técnicos ou comerciais, geralmente por apresentarem defeitos de qualidade) (TEIXEIRA, 2005), onde se enquadram as fibras *oversize*.

As fibras *oversize*, são fibras superdimensionadas retiradas do processo de produção de painéis MDF (*Medium Density Fiberboard*) que já receberam resina ureia formaldeído e emulsão de parafina, porém no momento da classificação, acabam não se adequando a granulometria padrão utilizada pela empresa. Desta forma, após a classificação, são descartadas e encaminhadas para queima na caldeira. Cabe salientar que são fibras que já receberam resina uréia formaldeído, portanto, a queima deste material pode ocasionar a emissão de gases tóxicos, como o formaldeído para a atmosfera.

De acordo com Cempre/Senai (2000), a indústria moderna percebe que é responsabilidade de todos agirem de modo a minimizar e prevenir impactos ambientais negativos sobre o meio ambiente, incluindo este conceito no planejamento estratégico das empresas. Em diversos setores industriais a introdução de prática de prevenção à poluição e a busca de tecnologias mais limpas têm demonstrado que a filosofia de prevenção à poluição não é somente uma ferramenta efetiva para um gerenciamento ambiental mais eficiente, como também traz uma série de benefícios econômicos.

Desta forma, a utilização de sobras e resíduos de madeira na fabricação de painéis de madeira reconstituída serve para aumentar a sustentabilidade na utilização das florestas, especialmente das plantadas, como insumo na produção madeirável (FAGUNDES, 2003).

Sendo assim, o objetivo do presente estudo foi avaliar a viabilidade técnica da produção de painéis aglomerados a partir de fibras *oversize* residuais retiradas do processo de produção de painéis MDF.

## MATERIAL E MÉTODOS

A matéria-prima utilizada para a produção dos painéis foi composta por partículas e fibras de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, sem distinção entre as espécies nos materiais fornecidos pelas empresas.

As partículas foram provenientes do processo produtivo de painéis MDP da empresa Bonet Madeiras e Papéis Ltda, situada no município de Santa Cecília - SC, sendo retiradas após o processo de cepilhamento das toras, ou seja, após a transformação das toras em partículas tipo *flake*.

Já as fibras foram retiradas do processo de produção de painéis MDF da Indústria de Compensados Sudati Ltda - unidade localizada em Otacílio Costa, SC. Este material foi coletado após o processo de secagem e classificação, sendo selecionado o material com maior granulometria (fibras *oversize*) que é rotineiramente descartado do processo e enviado para queima na caldeira. Cabe salientar que as fibras já estavam com adesivo (12% psp (base peso seco das partículas / fibras)) e emulsão de parafina (0,5% psp), tendo em vista que estes materiais são incorporados após o processo de desfibramento e antes do processo de secagem.

Foram utilizados 5 tratamentos em camada homogênea, havendo mistura das partículas e fibras *oversize* resinadas em diferentes proporções, (100% partículas : 0% fibras *oversize* (T1); 75% : 25% (T2); 50% : 50% (T3); 25% : 75% (T4); 0% : 100% (T5)). Acrescentou-se ainda resina ureia formaldeído a 12%, que apresentava, conforme boletim técnico da empresa, teor de sólidos de 66%, gel time de 65s e viscosidade Brookfield de 255 cps e emulsão de parafina 1% psp que continha 45% de teor de sólidos.

Como não houve seleção do material fornecido pelas empresas, foi realizada apenas a secagem em estufa de circulação forçada de ar até teor de umidade em base seca de aproximadamente 4%.

Desta forma, foram produzidos 3 painéis por tratamento com massa específica nominal de 0,65 g/cm<sup>3</sup> e dimensões de 40 X 40 X 1,55 cm. Efetuou-se a prensagem a frio por um período de 10 minutos e pressão de 5 kgf/cm<sup>2</sup>, para então ser realizada a prensagem a quente com temperatura de 160°C, pressão de 40 kgf/cm<sup>2</sup> durante 8 minutos.

As propriedades físicas (massa específica, espessura, teor de umidade, absorção de água, inchamento em espessura, taxa de não retorno em espessura (TNRE)) e a tração perpendicular foram determinadas de acordo com a ASTM (1993). Já a determinação das propriedades mecânicas de flexão estática foram baseados na DIN (1982) e o arrancamento de parafuso de superfície e de topo na ABNT (2006).

Os dados foram testados quanto à presença de *outliers* (boxplot), normalidade da distribuição (Shapiro-Wilk) e homogeneidade de variâncias (Levene). Para contornar o problema de dados que não obedeceram aos pressupostos da normalidade dos dados e da homogeneidade das variâncias foi realizada a transformação Box-Cox. Por fim, foi aplicado a Análise da Variância, e em caso de diferença estatística foi aplicado o teste de comparação de médias de Scott - Knott a 95% de probabilidade. Além disso, os resultados foram comparados com a literatura disponível e com as normas de qualidade nacional (ABNT, 2013) e internacionais (ANSI, 2009; CS, 1968; EN, 2003).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Propriedades Físicas

Na tabela 1 observa-se que a amplitude de variação dos valores médios entre os tratamentos para massa específica, espessura e teor de umidade dos painéis foi de 0,614 a 0,606 g/cm<sup>3</sup>, 15,53 a 16,42 mm e 8,29 a 9,66%, respectivamente. Ao mesmo tempo, constata-se que os coeficientes de variação foram baixos, demonstrando homogeneidade dos resultados.

**Tabela 1.** Valores médios de massa específica, espessura e teor de umidade.

**Table 1.** Mean values for density, thickness and moisture content.

Composição	Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	Espessura (mm)	Teor de Umidade (%)
P <sub>100%</sub> - F <sub>0%</sub>	T <sup>1</sup> 0,606 <sub>3,59</sub> a	T <sup>1</sup> 16,42 <sub>1,09</sub> e	T <sup>1</sup> 9,66 <sub>2,10</sub> c
P <sub>75%</sub> - F <sub>25%</sub>	T <sup>2</sup> 0,608 <sub>6,30</sub> a	T <sup>2</sup> 16,12 <sub>0,21</sub> d	T <sup>2</sup> 9,55 <sub>2,26</sub> c
P <sub>50%</sub> - F <sub>50%</sub>	T <sup>3</sup> 0,619 <sub>3,02</sub> a	T <sup>3</sup> 15,96 <sub>0,46</sub> c	T <sup>3</sup> 9,21 <sub>2,29</sub> b
P <sub>25%</sub> - F <sub>75%</sub>	T <sup>4</sup> 0,608 <sub>3,99</sub> a	T <sup>4</sup> 15,67 <sub>1,10</sub> b	T <sup>4</sup> 8,93 <sub>0,46</sub> b
P <sub>0%</sub> - F <sub>100%</sub>	T <sup>5</sup> 0,614 <sub>2,62</sub> a	T <sup>5</sup> 15,53 <sub>0,52</sub> a	T <sup>5</sup> 8,29 <sub>1,91</sub> a
<b>Média</b>	<b>0,611</b>	<b>15,94</b>	<b>9,13</b>

Legenda: P: partícula, F: fibra, sobrescrito: tratamento, subscrito: coeficiente de variação (%). Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si.

Para massa específica, os valores obtidos foram estatisticamente equivalentes entre os tratamentos, porém não atingiram o valor da massa específica nominal de 0,65 g/cm<sup>3</sup>. Este fato também foi verificado por Iwakiri et al. (2008), que produzindo painéis aglomerados de *Pinus spp* com massas específicas de 0,60 g/cm<sup>3</sup>; 0,70 g/cm<sup>3</sup>; 0,80 g/cm<sup>3</sup> e 0,90 g/cm<sup>3</sup>, obtiveram 0,57 g/cm<sup>3</sup>; 0,64 g/cm<sup>3</sup>; 0,70 g/cm<sup>3</sup> e 0,78 g/cm<sup>3</sup>, e Iwakiri et al. (2001), que utilizando cinco espécies de pinus tropicais na produção de painéis aglomerados encontraram valores de massa específica no intervalo de 0,65 g/cm<sup>3</sup> a 0,69 g/cm<sup>3</sup>, ou seja, inferior e meta de 0,70 g/cm<sup>3</sup>.

Iwakiri et al. (2012) esclarece que a diferença entre massa específica obtida em relação a massa específica nominal podem ser atribuídas às condições operacionais em nível laboratorial, sem a automação e controle de precisão do processo industrial, ocasionando perdas de material durante o processo de manufatura dos painéis.

Eleotério Jr. (2000) destaca também que no espalhamento das fibras e partículas durante a prensagem, ocorre a dispersão da massa para uma área maior que a planejada para o painel. O mesmo autor complementa que outro fator determinante desse desvio pode estar relacionado ao inchamento do painel em alguns décimos de milímetros após o alívio da pressão.

Comparando os valores da massa específica com as normas de qualidade, observa-se que para ABNT (2013) que determina valores entre 0,551 a 0,750 g/cm<sup>3</sup> e para CS (1968) que especifica valores entre 0,600 a 0,800 g/cm<sup>3</sup>, todos os tratamentos foram enquadrados como de média massa específica. Porém, segundo especificações da ANSI (2009), nenhum tratamento atingiu o valor de 0,640 g/cm<sup>3</sup>, que é o mínimo estabelecido pela norma para tal classificação.

Em relação à espessura, verifica-se diferença estatística entre os tratamentos, onde o tratamento superior foi aquele composto por 100% de fibras oversize (T5) e o inferior o composto por 100% de partículas (T1). Diferentemente de Haselein et al. (2002), que obteve espessuras estatisticamente iguais em sua pesquisa com partículas de *Pinus elliottii* em variadas dimensões para a produção de painel aglomerado.

Denota-se também que, com o aumento da porcentagem das fibras oversize resinadas nos tratamentos, houve uma redução da espessura. Acredita-se este fato seja decorrente da baixa granulometria e alta flexibilidade das fibras, e da quantidade de adesivo presente na estrutura em função das duas aplicações efetuadas (empresa + laboratório), o que acabam gerando uma estrutura livre de vazios.

Mendes (2010) cita também que o aumento da espessura dos painéis acima do proposto pode ser resultado da liberação parcial das tensões de compressão, porém, ocorrida logo após o final da prensagem na fase de produção do painel.

Para o teor de umidade, destaca-se diferença estatística entre os tratamentos, com destaque para o tratamento T5 composto por 100% de fibras oversize e os tratamentos T1 e T2 que foram inferiores e iguais estatisticamente. Acredita-se que a maior porcentagem de adesivo presente no tratamento T5 pode ter provocado impermeabilização dos mesmos, reduzindo dessa forma a susceptibilidade a absorção de umidade. Fato este pode ser comprovado com a redução do teor de umidade quando aumentada a porcentagem de fibras oversize resinada nos tratamentos.

Comparando os valores médios a norma ABNT (2013), que estabelece valores intermediários de 5 a 11% e ANSI (2009) valor máximo de 10%, todos os tratamentos se enquadram nas especificações das normas de qualidade.

Para a estabilidade dimensional dos painéis, observa-se na tabela 2 que os valores médios variaram de 5,45 a 40,41% e 24,34 a 88,91% para absorção de água (AA) após 2 horas e 24 horas de imersão, respectivamente. Já para inchamento em espessura (IE) a 2 horas, houve variação de 2,22 a 13,30% e para 24 horas de 10,19 a 23,40%.

**Tabela 2.** Valores médios para absorção de água e inchamento em espessura.  
**Table 2.** Mean values for the water absorption and thickness swelling.

Composição	Absorção de Água (%)		Inchamento em Espessura (%)	
	2 horas	24 horas	2 horas	24 horas
P <sub>100%</sub> – F <sub>0%</sub>	T <sup>1</sup> 40,41 <sub>4,69</sub> e	T <sup>1</sup> 88,41 <sub>6,94</sub> d	T <sup>1</sup> 13,30 <sub>4,55</sub> d	T <sup>1</sup> 23,40 <sub>6,21</sub> c
P <sub>75%</sub> – F <sub>25%</sub>	T <sup>2</sup> 29,49 <sub>13,63</sub> d	T <sup>2</sup> 44,09 <sub>4,00</sub> c	T <sup>2</sup> 7,51 <sub>6,24</sub> c	T <sup>2</sup> 16,73 <sub>2,56</sub> b
P <sub>50%</sub> – F <sub>50%</sub>	T <sup>3</sup> 10,88 <sub>16,56</sub> c	T <sup>3</sup> 36,10 <sub>13,69</sub> b	T <sup>3</sup> 6,49 <sub>6,22</sub> c	T <sup>3</sup> 14,07 <sub>7,00</sub> b
P <sub>25%</sub> – F <sub>75%</sub>	T <sup>4</sup> 7,19 <sub>10,12</sub> b	T <sup>4</sup> 28,04 <sub>5,90</sub> a	T <sup>4</sup> 3,96 <sub>17,46</sub> b	T <sup>4</sup> 10,87 <sub>11,64</sub> a
P <sub>0%</sub> – F <sub>100%</sub>	T <sup>5</sup> 5,45 <sub>8,92</sub> a	T <sup>5</sup> 24,34 <sub>15,57</sub> a	T <sup>5</sup> 2,22 <sub>12,99</sub> a	T <sup>5</sup> 10,19 <sub>1,99</sub> a
<b>Média</b>	<b>18,68</b>	<b>44,20</b>	<b>6,70</b>	<b>15,05</b>

Legenda: P: partícula, F: fibra, sobrescrito: tratamento, subscrito: coeficiente de variação (%). Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si.

Para absorção de água, observa-se diferença estatística entre os tratamentos, tanto em 2 horas de imersão como em 24 horas, em que, na primeira situação, o melhor tratamento foi o T5 e o pior o T1. Para absorção 24 horas, repete-se o melhor e o pior tratamento da absorção 2 horas, porém com o tratamento T4 equivalendo na superioridade com o T5.

Em relação ao inchamento em espessura, destaca-se que os tratamentos apresentaram o mesmo comportamento da absorção de água, tanto na análise a 2 horas quanto na análise a 24 horas. Com resultados superiores para os painéis com maior porcentagem de fibras *oversize*.

Observa-se novamente que, com o aumento da porcentagem de fibras *oversize* reduziram os valores de AA e IE. Este fato pode ter ocorrido devido a elevada porcentagem de adesivo presente nas fibras, proporcionando uma maior ligação entre elas, e conseqüentemente uma redução dos espaços vazios, o que dificulta a entrada de água.

Comparando com outros estudos, cita-se Mendes (2001), que utilizando 6 espécies de *Pinus spp* na fabricação de painéis reconstituídos, não obteve diferença estatística mediante a comparação das composições em seu estudo. Analisando apenas os tratamentos compostos por 100% de *Pinus spp.*, Gorski (2014) obteve diferença estatística apenas no IE a 2 horas em seus painéis reconstituídos. É importante destacar que os estudos supracitados envolveram o mesmo teor de resina em todos os painéis, reforçando ainda mais a influência da quantidade de resina os resultados obtidos no presente estudo.

Em relação ao atendimento aos critérios das normas de qualidade, verifica-se que quanto ao inchamento 24 horas, todos os tratamentos condizem com as normas CS (1968) e ANSI (2009) que estabelecem valores máximos de 35% e 40%, respectivamente. No entanto, em relação a norma ABNT (2013) que institui inchamento máximo de 18%, apenas o tratamento 1 composto por 100% de partículas não atingiu o valor determinado. E segundo a EN (2003) que estabelece 15% como máximo, os tratamentos 1 e 2 não se enquadraram.

Analisando a tabela 3, observa-se que os tratamentos apresentaram-se diferentes estatisticamente, com valores médios superiores para aqueles compostos por 75% e 100% de fibras *oversize* (tratamentos T4 e T5, respectivamente). Trianoski (2010) obteve para *Pinus taeda* valor de 21,50% para inchamento residual. Iwakiri e Keinert Jr. (1990) analisando o comportamento de 3 novas espécies do gênero *Pinus* para produção de chapas estruturais "waferboard" obtiveram valores que variaram de 17,61% a 25,05%.

**Tabela 3.** Valores médios para taxa de não retorno em espessura.

**Table 3.** Mean values for the rate of no return in thickness.

Composição	Taxa de não retorno em espessura (%)
P <sub>100%</sub> – F <sub>0%</sub>	T <sub>1</sub> 21,20 <sub>15,66</sub> c
P <sub>75%</sub> – F <sub>25%</sub>	T <sub>2</sub> 13,48 <sub>5,80</sub> b
P <sub>50%</sub> – F <sub>50%</sub>	T <sub>3</sub> 10,94 <sub>13,11</sub> b
P <sub>25%</sub> – F <sub>75%</sub>	T <sub>4</sub> 9,30 <sub>26,15</sub> a
P <sub>0%</sub> – F <sub>100%</sub>	T <sub>5</sub> 5,89 <sub>10,84</sub> a
<b>Média</b>	<b>12,16</b>

Legenda: P: partícula, F: fibra, sobrescrito: tratamento, subscrito: coeficiente de variação (%). Médias seguidas de mesma na coluna não diferem estatisticamente entre si.

Destaca-se ainda que os resultados foram semelhantes aos de absorção de água e inchamento em espessura, onde houve influência positiva no aumento da porcentagem de fibras *oversize* nos painéis.

### Propriedades Mecânicas

Na tabela 4, observa-se diferença estatística para módulo de elasticidade entre as diferentes composições, onde, os tratamentos com 50% (T3), 75% (T4) e 100% (T5) de fibras *oversize* apresentaram-se estatisticamente iguais e superiores. Ressalta-se ainda que os painéis homogêneos tiveram incremento dos valores com o aumento da quantidade de fibras *oversize* resinadas.

**Tabela 4.** Valores médios para flexão estática.  
**Table 4.** Mean values for static bending.

Composição	Flexão Estática (MPa)	
	MOE	MOR
P <sub>100%</sub> – F <sub>0%</sub>	T1 1623,00 <sub>9,90</sub> b	T1 11,20 <sub>15,67</sub> c
P <sub>75%</sub> – F <sub>25%</sub>	T2 1630,39 <sub>10,58</sub> b	T2 13,57 <sub>17,25</sub> c
P <sub>50%</sub> – F <sub>50%</sub>	T3 1856,08 <sub>5,21</sub> a	T3 19,97 <sub>11,67</sub> b
P <sub>25%</sub> – F <sub>75%</sub>	T4 1910,46 <sub>7,37</sub> a	T4 20,88 <sub>15,50</sub> b
P <sub>0%</sub> – F <sub>100%</sub>	T5 1967,46 <sub>7,00</sub> a	T5 25,83 <sub>11,43</sub> a
<b>Média</b>	<b>1797,48</b>	<b>18,29</b>

Legenda: P: partícula, F: fibra, sobrescrito: tratamento, subscrito: coeficiente de variação (%). MOE: módulo de elasticidade, MOR: módulo de ruptura. Médias seguidas de mesma na coluna não diferem estatisticamente entre si.

Comparando os resultados de MOE com as normas ABNT (2013) e EN (2003) que estabelecem valor mínimo de 1600 MPa, constata-se que todos os tratamentos se enquadraram. Quanto a ANSI (2009), os tratamentos T1 e T2 atenderam o valor mínimo de 1550 MPa da classe M1, os tratamentos T3, T4 e T5 o valor de 1700 MPa da classe MS e nenhum dos tratamentos atingiram os valores mínimos de 2000 MPa e 2500 MPa das classes M2 e M-3i, respectivamente. Em relação a CS (1968) que exige valor mínimo de 2430 MPa, nenhum dos tratamentos foi enquadrado.

Para o módulo de ruptura (Tabela 4), também houve diferença estatística entre os diferentes tratamentos, onde T5 foi estatisticamente superior aos demais, já o T1 e o T2 apresentaram-se estatisticamente iguais, porém inferiores. Novamente o aumento da quantidade de fibras *oversize* fez com que os valores de MOR fossem superiores.

Comparando os valores de MOR com as normas ABNT (2013), CS (1968), ANSI (2009), nas classes M1 e MS, que exigem valores mínimos de 11 MPa, 11 MPa, 10 MPa e 11 MPa, respectivamente, destaca-se que todos os tratamentos atingiram o valor mínimo. Já para a EN (2003) e para a classe M2 da ANSI (2009), apenas o tratamento 1, fabricado com 100% de partículas, não atingiu o valor limítrofe de 13 MPa. E ainda para a classe M3i da ANSI (2009), que estabelece valor mínimo de 15 MPa, apenas os tratamentos com mais de 50% de fibras *oversize* se enquadraram.

Dacosta (2004) encontrou fato semelhante em seu trabalho, onde os valores de MOR e MOE foram elevados com o aumento do teor de adesivo dos painéis. Weber (2011) também obteve diferença estatística entre os diferentes tratamentos do seu estudo. Já Iwakiri e Keinert Jr. (1990) produzindo painéis *waferboard* com 4 espécies de *Pinus*, não obtiveram diferença estatística entre os 4 tratamentos (*Pinus taeda*, *Pinus serotina*, *Pinus palustris* e *Pinus glabra*), porém no estudo mencionado a granulometria das partículas e a quantidade de adesivo foi a mesma para todos os tratamentos.

Relacionando ainda os resultados com outros autores destaca-se, Weber (2011) que obteve valores médios, para o módulo de elasticidade que variaram de 882,96 MPa a 1522,31 MPa, da mesma forma para módulo de ruptura, que variaram de 4,93 MPa a 9,76 MPa. Dacosta et al. (2005b), que estudou painéis de madeira aglomerada, fabricados com resíduos do processamento mecânico de *Pinus elliottii*, com e 4%, 8% e 12% de resina uréia formaldeído, atingiram os valores para MOR de 5,06 a 9,72 MPa, e de 522,69 a 1183,75 MPa para MOE. Batista et al. (2007) avaliando painéis de 3 camadas de *Pinus elliottii* e casca de *Eucalyptus pellita* obtiveram valores de MOR 4,90 MPa a 11,04 MPa e para MOE 714,91 MPa a 1868,85 MPa.

Na tabela 5 estão apresentados os valores médios de tração perpendicular para os cinco tratamentos. Em que, os resultados variaram de 0,59 MPa para o T5, fabricado com 100% de fibras, até 0,39 MPa para o T1, formado com 100% de partículas. Já Iwakiri et al. (2001) utilizando 5 espécies de pinus tropicais, para a confecção de painéis puros (uma única espécie), obtiveram valores limítrofes superiores (0,71 a 1,03 MPa) ao presente estudo.

Analisando a Tabela 5, observa-se que houve diferença estatística entre as diferentes composições analisadas da mesma forma que Iwakiri et al. (2001), Haselein et al. (2002) e Iwakiri et al. (2005). Destacando uma melhor ligação interna para os tratamentos que apresentavam uma maior porcentagem de fibras *oversize*, sobressaindo-se os tratamentos com 75% e 100% (T5 e T4, respectivamente) dessa matéria prima, porém o tratamento com 100% de partículas (T1) apresentou-se inferior estatisticamente.

**Tabela 5.** Valores médios referentes a tração perpendicular.**Table 5.** Mean values for the perpendicular traction.

Composição	Tração perpendicular (MPa)
P <sub>100%</sub> – F <sub>0%</sub>	T <sup>1</sup> 0,39 <sub>9,33</sub> d
P <sub>75%</sub> – F <sub>25%</sub>	T <sup>2</sup> 0,47 <sub>7,22</sub> b
P <sub>50%</sub> – F <sub>50%</sub>	T <sup>3</sup> 0,49 <sub>6,76</sub> b
P <sub>25%</sub> – F <sub>75%</sub>	T <sup>4</sup> 0,56 <sub>7,00</sub> a
P <sub>0%</sub> – F <sub>100%</sub>	T <sup>5</sup> 0,59 <sub>11,29</sub> a
Média	0,50

Legenda: P: partícula, F: fibra, sobrescrito: tratamento, subscrito: coeficiente de variação (%). Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si.

Vital et al. (1974), afirmam que a tração perpendicular aumenta, geralmente, com o aumento da densidade dos painéis porém, no presente estudo, além da massa específica, confere-se que houve dois fatores que tiveram uma influência, inclusão das fibras *oversize* e a quantidade de resina, primeiramente aplicada na linha de produção da empresa (12%) e posteriormente no laboratório (12%). Brito e Peixoto (2000) complementam que painéis feitos com partículas menores apresentaram uma maior resistência à tração perpendicular quando comparadas à partículas maiores. Os autores ainda descrevem que partículas menores são responsáveis por uma melhor uniformização do material e pela formação de menores espaços internos.

Comparando os resultados as normas ABNT (2013) e EN (2003), que estabelecem o valor mínimo de 0,35 MPa e ainda, com a ANSI (2009), que estabelece nas classes de qualidade 0,36 MPa (classes M-1 e MS), todos os tratamentos atingiram os valores mínimos. Para para a classe M-2 apenas o tratamento 1 não alcançou o valor médio de 0,40 MPa e para a classe M3-1 que exige um mínimo de 0,50 MPa, apenas os tratamentos T4 e T5 obedeceram aos pressupostos da norma.

Para o arrancamento de parafuso de superfície e de topo, os resultados médios estão apresentados na tabela 6. Os valores para superfície ficaram entre 1592,36 e 1328,18 N e para topo 1054,29 e 860,91 N, ambos para os tratamentos T5 e T1, respectivamente. Trianoski (2010) obteve para painéis aglomerados de *Pinus taeda* valores médios inferiores para superfície (1206,71 N) e superiores para topo (1295,95 N). Já Trianoski et al. (2011), obteve valores inferiores de superfície (1031,86 N) e para topo (846,06 N), da mesma forma que Iwakiri et al. (2012), que obteve para superfície e topo valores médios de 1031,00 e 905,00 N, respectivamente, utilizando a espécie *Pinus taeda*.

**Tabela 6.** Valores médios para resistência ao arrancamento de parafuso.**Table 6.** Mean values for the screw withdrawal resistance.

Composição	Arrancamento de Parafuso (N)	
	Superfície	Topo
P <sub>100%</sub> – F <sub>0%</sub>	T <sup>1</sup> 1328,18 <sub>6,67</sub> c	T <sup>1</sup> 860,91 <sub>5,15</sub> b
P <sub>75%</sub> – F <sub>25%</sub>	T <sup>2</sup> 1373,18 <sub>17,77</sub> c	T <sup>2</sup> 933,27 <sub>21,43</sub> b
P <sub>50%</sub> – F <sub>50%</sub>	T <sup>3</sup> 1410,45 <sub>14,69</sub> b	T <sup>3</sup> 934,09 <sub>20,46</sub> b
P <sub>25%</sub> – F <sub>75%</sub>	T <sup>4</sup> 1569,36 <sub>9,67</sub> a	T <sup>4</sup> 1042,30 <sub>24,90</sub> a
P <sub>0%</sub> – F <sub>100%</sub>	T <sup>5</sup> 1592,36 <sub>10,07</sub> a	T <sup>5</sup> 1054,29 <sub>2,05</sub> a
Média	1454,71	964,97

Legenda: P: partícula, F: fibra, sobrescrito: tratamento, subscrito: coeficiente de variação (%). Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si.

Em relação à tabela 6 ressalta-se similaridade no comportamento do arrancamento de parafuso da superfície e do topo, sendo que os dois apresentaram diferença estatística quando analisado as diferentes composições, e ainda que os tratamentos T4 e T5 apresentaram-se estatisticamente iguais e superiores aos demais. Comprovando-se novamente a influência positiva da incorporação de uma maior porcentagem das fibras *oversize* resinadas nas propriedades dos painéis.

Destaca-se também que a média do arrancamento de parafuso de superfície (1454,71 N) foi superior a de topo (964,97 N). Trianoski (2010) esclarece que em termos gerais e considerando os lados superfície e topo, normalmente a superfície tende a apresentar os maiores resultados de resistência, devido principalmente ao gradiente de densidade formado durante o processo de prensagem e a localização do parafuso no ensaio de topo estar localizado exclusivamente no centro do painel, onde geralmente ocorre a menor densificação.

Comparando os resultados encontrados com os parâmetros da ANSI (2009) que determina carga mínima de 700 N para topo e 800 N para superfície na classe MS, 800 N e 900 N na M-2 e 900 N e 1000 N na M-3i, observa-se que todos os tratamentos se enquadram na classe MS e M-2 e na classe M3-i apenas o tratamento T1 não atingiu o valor mínimo para arrancamento de parafuso de topo.

Já de acordo com a norma ABNT (2013), destaca-se que todos os tratamentos atingiram o determinado para arrancamento de parafuso de superfície (1020 N), e de topo (800 N).

## CONCLUSÕES

A massa específica média dos painéis dos cinco tratamentos foi de 0,61 g/cm<sup>3</sup>, ou seja, abaixo da desejada de 0,65 g/cm<sup>3</sup>. Quanto à espessura, houve interferência positiva do aumento da quantidade de fibras *oversize* resinadas na redução do inchamento dos painéis após a etapa de prensagem.

Para a estabilidade dos painéis, os melhores valores de absorção de água e inchamento em espessura (24 horas), foram obtidos nos tratamentos T4 e T5, ambos com 75% e 100% de fibras *oversize* resinadas. Entretanto, em relação as normas de qualidade somente os tratamentos T1 e T2 com 0% e 25% de fibras, não se enquadraram na EN (2003).

Para as propriedades mecânicas, os melhores resultados foram encontrados nos tratamentos com grande quantidade de fibras *oversize* resinadas (acima de 75%)

## AGRADECIMENTOS

As empresas Bonet Madeiras e Papéis Ltda, Indústria de Compensados Sudati Ltda e Isogama Indústria Química Ltda. Ao SENAI – Unidade Lages.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14810-3: Chapas de madeira aglomerada – Métodos de Ensaio. 2006.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14810: Painéis de madeira de média densidade: requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013. 69 p.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - D-1037: Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, 1993.

ANSI - AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. A 208.1: Mat formed wood particleboard: specifications. Gaithersburg: National Particleboards Association, 2009. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAPÉIS DE MADEIRA (ABIPA). **Números [produção madeireira no Brasil]**. São Paulo, 2012. Disponível em: < <http://abipa.org.br/numeros.php>>. Acesso em: 15 de setembro de 2014.

ABRAF - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). **Anuário estatístico da ABRAF 2013**: Ano base 2012. Brasília, 2013.

BATISTA, C. D.; BRITO, E. O.; SETUBAL, V. G.; GÓES, L. G. Fabricação de aglomerados de três camadas com madeira *Pinus elliottii* Engelm. e casca de *Eucalyptus pellita* F. Muell. *Cerne*, Lavras, v. 13, n. 2, p. 178-187, 2007.

BIAZUS, A; HORA, A. B.; LEITE, B. G. P. Panorama de mercado: painéis de madeira. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 32, p. 49-90, 2010.

BRITO, E. O.; PEIXOTO, G. L. Avaliação da granulometria de partículas de *Pinus taeda* combinadas com adesivos comerciais para a fabricação de aglomerados. **Revista Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 7, n. 1, p. 60-67, 2000.

CEMPRE/SENAI. **Reduzindo, reutilizando, reciclando** – a indústria ecoeficiente. São Paulo. 2000.

CS - COMMERCIAL STANDART. 236-66: Mat formed wood particleboard, 1968.

DACOSTA, L. P. E. **Utilização de resíduos do processamento mecânico da madeira para a fabricação de chapas de partículas aglomeradas**. 2004. 101 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2004.

DACOSTA, L. P. E.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; SCHNEIDER, P. R.; CALEGARI, L. Propriedades físicas de chapas de partículas aglomeradas fabricadas com resíduos do processamento mecânico da madeira de *Pinus elliotii* Engelm. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 4, p. 421-429. 2005a.

DACOSTA, L. P. E.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, É. J.; SCHNEIDER, P. R.; CALEGARI, L. Qualidade das chapas de partículas aglomeradas fabricadas com resíduos do processamento mecânico da madeira de *Pinus elliotii* Engelm. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 3, p. 311-322, 2005b.

DIN – NORMEN FÜR HOLZFASERPLATEN SPANPLATTEN SPERRHOLZ. 52362: Testing of wood chipboards bending test, determination of bending strength. Berlin, 1982. 40 p.

ELEOTÉRIO JR., J. R. **Propriedades físicas de painéis MDF de diferentes densidades e teores de resina**. 2000. 121 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luís de Queiroz”. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2000.

EN - EUROPEAN STANDARD. 312-2: particleboards: specifications. London: British Standard Institution, 2003. 22 p.

FAGUNDES, H. A. V. **Diagnóstico da produção de madeira serrada e geração de resíduos do processamento de madeira de florestas plantadas no Rio Grande do Sul**. 2003. 180 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

GORSKI, L. **Painéis de partículas orientadas (OSB) da madeira de *Pinus spp.* e *Eucalyptus benthamii***. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2014.

HASELEIN, C. R.; CALEGARI, L.; BARROS, M. V.; HACK, C.; HILLIG, E.; PAULESKI, D. T.; POZZERA, F. Resistência mecânica e à umidade de painéis aglomerados com partículas de madeira de diferentes dimensões. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 127-134, 2002.

IWAKIRI, S.; KEINERT JR., S. Utilização de diferentes espécies do gênero *Pinus* para produção de painéis “waferboard”. **IPEF**, n. 43/44, p. 65-69, jan./dez. 1990.

IWAKIRI, S.; SILVA, J. R. M.; MATOSKI, S. L. S.; LEONHADT, G.; CARON, J. Produção de chapas de madeira aglomerada de cinco espécies de *Pinus* tropicais. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 8, n. 1, p. 137-142, 2001.

IWAKIRI, S.; ANDRADE, A. S.; CARDOSO JR., A. A.; CHIPANSKI, E. R.; PRATA, J. G.; ADRIAZOLA, M. K. O. Produção de painéis aglomerados de alta densificação com uso de resina melamina-uréia-formaldeído. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 4, p. 323-328, 2005.

IWAKIRI, S.; STINGHEN, A. B. M.; SILVEIRA, E. L.; ZAMARIAN, E. H. C.; PRATA, J. G.; BRONOSKI, M. Influência da massa específica sobre as propriedades mecânicas de painéis aglomerados. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 3, p. 487-493, 2008.

IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; TRIANOSKI, R.; PRATA, J. G. Produção de painéis aglomerados homogêneos e multicamadas de *Melia azedarach* (CINAMOMO) e *Pinus taeda* com diferentes teores de resina. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 3, p. 465-470, 2012.

- MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing**. San Francisco: M. Freeman, 1993. 689 p.
- MATTOS, R. L. G., GONÇALVES, R. M., CHAGAS, F. B. Painéis de Madeira no Brasil: Panorama e Perspectivas. **BNDS Setorial**, Rio de Janeiro, n. 27, p. 121-156, mar. 2008.
- MENDES, L. M. **Pinus spp. na produção de painéis de partículas orientadas**. Curitiba, 2001. 156 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.
- MENDES, R. F. **Efeito do tratamento térmico sobre as propriedades de painéis OSB**. 2010. 115 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.
- MOSLEMI, A. A. **Particleboard**. Illionis: Southern Illionis University, 1974. v. 2, 245 p.
- FAO - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA. In **Infopédia**. Porto: Porto Editora, 2013.
- SILVA, D. A. L. **Avaliação do ciclo de vida da produção do painel de madeira MDP no Brasil**. 2012. 207 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.
- TEIXEIRA, M. G. **Aplicação dos conceitos da ecologia industrial para a produção de painéis ecológicos: o exemplo do resíduo de madeira**. 2005. 159 p. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2005.
- TRIANOSKI, R. **Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira aglomerada**. 2010. 260 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2010.
- TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; PRATA, J. G. Viabilidade da utilização de *Acrocarpus fraxinifolius* em diferentes proporções com *Pinus spp.* para produção de painéis aglomerados. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 91, p. 343-350, 2011.
- VITAL, B. R.; LEHMANN, W. F.; BOONE, R. S. How species and board densities affect properties of exotic hardwood particleboards. **Forest Products Journal**, Madison, v. 24, n. 12, p. 37-45, 1974.
- WEBER, C. **Estudo sobre viabilidade de uso de resíduos de compensados, MDF e MDP para produção de painéis aglomerados**. 2011. 87 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

Recebido em 20/03/2015

Aceito para publicação em 29/01/2016