

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DE PAINÉIS AGLOMERADOS DE *Eucalyptus grandis* COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS MADEIREIROS

Fernanda Cristina Pierre^{1*}, Adriano Wagner Ballarin¹, Hernando Lara Palma¹

*Autor para correspondência: fcpierre@uol.com.br

RESUMO: A madeira de florestas plantadas constitui a principal fonte de matéria-prima para produção de painéis aglomerados no Brasil. O aproveitamento dos resíduos florestais para produção desses painéis ainda não foi implementado em nível industrial. Este trabalho teve por objetivo avaliar as propriedades físicas dos painéis de madeira aglomerada (MDP – *medium density particleboard*) de três camadas, fabricados industrialmente na linha de produção da empresa Eucatex S.A. Indústria e Comércio, utilizando madeira de *Eucalyptus grandis* e resíduos industriais madeireiros (material reciclado de paletes e serragem), em diferentes proporções, variando de 10% a 35% em volume. O material foi disponibilizado pela empresa, na unidade industrial MDP localizada no município de Botucatu – SP, onde foram fabricados os painéis em escala industrial. Os ensaios físicos foram realizados no Laboratório de Processo da Eucatex e no Laboratório de Ensaios de Materiais do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrônomicas – UNESP – Botucatu, SP. Os resultados obtidos revelaram que os painéis estudados tiveram bom desempenho físico, atendendo, no geral, as especificações técnicas estabelecidas pelas normas técnicas, mesmo nos tratamentos com as maiores proporções de adições. O teor de umidade final do painel teve efeito nas propriedades estudadas com tendência generalizada de redução nos valores de absorção de água e inchamento em espessura quando o teor de umidade final do painel aumentou de 9% para 12,5%.

Palavras-chave: painéis de partículas, MDP, resíduos de madeira, propriedades físicas.

PHYSICAL CHARACTERIZATION OF PARTICLEBOARD¹ PANELS MADE FROM *Eucalyptus grandis* WITH ADDITION OF INDUSTRIAL WOOD RESIDUES

ABSTRACT: In Brazil, the wood from planted forests constitutes the main material source for the production of particleboards. The utilization of forest residues for production of these panels was not implemented in industrial level yet. This work had the objective of evaluating the physical properties of three layers particleboard, industrially manufactured, using wood of *Eucalyptus grandis* from plantation and industrial wood residues in different ratios (addition from 10% to 35% in volume). The material (*Eucalyptus grandis* wood and industrial residues – recycled pallets and sawdust) was supplied by Eucatex S. A. Ind. e Com. located in Botucatu – Sao Paulo State, Brazil, where the panels had been manufactured in Eucatex plant. Physical tests were carried out at the Process Laboratories of Eucatex and in the Materials Testing Laboratory, Rural Engineering Department of the College of Agronomic Sciences – Sao Paulo State University - UNESP. Results revealed that panels had very good physical performance, attending, in general, to all the technical specifications established by the product standards, even in the treatments with higher addition of residues. The final moisture content of the panel presented effect in the properties studied with general trend of reduction in water absorption and swelling in thickness when the moisture content increased from 9% for 12,5%.

Keywords: particleboard, MDP, wood industries residues, physical properties.

1 INTRODUÇÃO

A prática de utilização de resíduos industriais madeireiros na indústria de painéis reconstituídos é bastante comum no exterior, sobretudo nos países da Europa. Como matérias-primas para a produção dos painéis aglomerados são empregados resíduos industriais de madeira, resíduos da exploração florestal, madeiras de qualidade inferior, não industrializáveis de outra forma, madeiras provenientes de florestas plantadas e reciclagem de madeira sem serventia.

No Brasil, a madeira de florestas plantadas – em especial, de eucalipto e de pinus – constitui a principal fonte de matéria-prima para produção desses painéis. Embora o propósito inicial das primeiras indústrias de painéis aglomerados no mundo tenha sido o aproveitamento dos resíduos florestais, no Brasil essa prática ainda é incipiente em nível industrial, restringindo-se a trabalhos acadêmicos, realizados em escala laboratorial.

A despeito da prática nacional de utilização de madeira de florestas plantadas na produção destes painéis, atualmente, devido, sobretudo, à grande disponibilidade de

¹ Universidade Estadual Paulista - Botucatu, São Paulo, Brasil

resíduos gerados por outros segmentos do setor florestal, as indústrias têm-se mostrado mais receptivas à incorporação desses resíduos (de serrarias, por exemplo) nos processos produtivos.

A grande maioria das pesquisas do desempenho físico-mecânico de painéis produzidos com mistura de espécies e com adição de resíduos da indústria madeireira tem sido conduzida em escala laboratorial, avaliando-se o desempenho de painéis de uma única camada (monocamadas).

Pesquisas realizadas por Iwakiri et al. (1996), para painéis produzidos com mistura de madeiras de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus dunnii*, demonstraram que com o aumento na razão de compactação, em função da maior proporção de pinus no painel, resulta em aumento nos valores médios de absorção de água e inchamento em espessura. Na pesquisa desenvolvida com a mistura de madeiras de *Pinus elliottii* e *Mimosa scabrella*, Iwakiri et al. (1995) concluíram que a mistura destas espécies, em proporção de 50% cada, resulta em painéis com melhores propriedades físico-mecânicas. Os autores ressaltam a importância destes resultados, tendo em vista a viabilidade de melhor aproveitamento da madeira de *Mimosa scabrella*, utilizada principalmente como lenha e fonte de carvão, um produto de maior valor agregado.

Iwakiri et al. (2000) avaliaram a viabilidade de utilização da madeira de *E. maculata*, *E. grandis* e *E. tereticornis*, na forma de resíduos de processamento em serrarias, para produção de painéis de madeira aglomerada. Os resultados dos ensaios indicaram que os painéis produzidos com a madeira destas espécies apresentaram propriedades físico-mecânicas (absorção de água e inchamento em espessura após 2 e 24 horas, ligação interna, módulo de elasticidade e módulo de ruptura em flexão estática) satisfatórias, em comparação com algumas espécies referenciais como *Pinus elliottii*, *Mimosa scabrella* e *Eucalyptus dunnii*.

Pedrazzi et al. (2006) avaliaram a qualidade de painéis aglomerados fabricados com partículas tipo palitos e serragem de madeira de *Eucalyptus saligna*, colados com adesivo à base de uréia-formaldeído. Os resultados mostraram que os valores de absorção de água aumentaram com a redução da densidade dos painéis, tanto para painéis produzidos com partículas na forma de palitos e serragem. Para inchamento em espessura, os valores aumentaram com a diminuição do teor de adesivo, independentemente do tipo de partícula utilizada. Os resultados permitiram concluir que, usando-se tanto partículas tipo palitos

quanto a serragem, com maiores porcentagens de adesivo e maiores densidades, podem ser produzidas chapas com qualidade satisfatória, pois os valores médios encontrados nas propriedades de rigidez, resistência, absorção de água e inchamento em espessura, ficaram dentro dos exigidos pelos padrões de qualidade internacional.

Dacosta et al. (2005) avaliaram propriedades físicas de painéis de madeira aglomerada, confeccionados com resíduos de *Pinus elliottii* Engelm., provenientes de serraria (partículas produzidas de resíduos sólidos e serragem) e marcenaria (maravalha). Os resultados evidenciaram que os painéis manufaturados com partículas do tipo maravalha colados com maiores porcentagens de adesivo e maiores densidades apresentaram boa qualidade.

O objetivo deste trabalho foi avaliar as propriedades físicas de painéis de madeira aglomerada de três camadas - MDP, fabricados industrialmente, utilizando madeira de *Eucalyptus grandis* em associação com resíduos provenientes de indústrias madeireiras (serragem e material sólido reciclado de paletes) em diferentes proporções.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho de pesquisa foi desenvolvido na empresa Eucatex S.A. Indústria e Comércio localizada em Botucatu/SP, na Fazenda São Francisco de Assis, a 25 km do centro urbano, que produz painéis de madeira aglomerada de três camadas (MDP) utilizando prensa contínua. Todos os insumos da pesquisa foram integralmente preparados e dosados na linha industrial da empresa, produzindo-se painéis na dimensão comercial 2750 mm x 1860 mm x 15mm. Os painéis foram produzidos com madeira de *Eucalyptus grandis* e resíduos das indústrias madeireiras em diferentes proporções.

2.1 Matéria-prima utilizada na fabricação dos painéis aglomerados

Foi utilizada madeira - na forma de toretes - de *Eucalyptus grandis*, proveniente de plantios próprios da empresa Eucatex no Município de Botucatu no estado de São Paulo. Os resíduos industriais madeireiros utilizados na fabricação dos painéis aglomerados foram material reciclado e serragem.

O material reciclado foi composto de cavacos obtidos por um picador mecânico a partir de paletes e resíduos sólidos de madeira dos gêneros pinus e eucalipto (aproximadamente 50% de cada uma das espécies),

coletado no município de Salto/SP. A serragem utilizada foi proveniente de serrarias da região de Itapeva/SP, resultante do desdobro de madeiras de pinus.

A resina utilizada na produção dos painéis foi uréia-formaldeído em solução aquosa com um conteúdo de sólidos de 66 a 68% para a camada interna do painel e de 64 a 66% para a camada externa. A viscosidade da resina utilizada para as partículas da camada interna variou de 250 a 450 cP e para a camada externa de 250 a 350 cP. A quantidade de adesivo aplicado foi 7,5% em relação à base peso seco das partículas (b.p.s.p.) na camada interna e 9,5% b.p.s.p. na camada externa.

2.2 Fabricação dos painéis

Os painéis de madeira aglomerada de três camadas (MDP) com adição de resíduos industriais madeireiros foram produzidos na linha industrial de empresa Eucatex com uma densidade nominal projetada de 650 kg/m³.

Não existem referenciais teóricos que balizem as porcentagens de resíduos acrescentados em processos industriais. Assim, com base em experiências anteriores da empresa, foram estabelecidos cinco tratamentos com diferentes composições de materiais, conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1 - Tratamentos experimentais realizados.

Table 1 – Experimental Design.

Tratamento	Identificação	Composição dos painéis
1	100T	100% madeira de toretes de eucalipto
2	90T10S	90% madeira de toretes de eucalipto / 10% serragem
3	85T15S	85% madeira de toretes de eucalipto / 15% serragem
4	80T20R	80% madeira de toretes de eucalipto / 20% reciclado
5	65T20R15S	65% madeira de toretes de eucalipto / 20% reciclado / 15% serragem

Para cada tratamento foram produzidos três painéis (3 repetições). Os painéis de cada tratamento foram produzidos com intervalos de 5 horas entre um tratamento e outro, para não haver contaminação dos materiais entre tratamentos. A produção dos painéis seguiu uma seqüência de operações, onde destacam-se cinco etapas principais:

- Produção de cavacos a partir de toretes e dosagem dos cavacos (provenientes dos toretes e do material reciclado);
- Geração de partículas, adição da serragem (ou material reciclado), secagem e classificação;
- Aplicação de resina uréia-formaldeído (7,5% e 9,5% b.p.s.p., nas camadas interna e externa, respectivamente) e aditivos (catalisador – cloreto de amônia – e parafina sólida – 0,4 b.p.s.p.);
- Formação do colchão com dosagem dos materiais em esteira formadora
- Prensagem a quente dos painéis em prensa hidrodinâmica contínua com temperatura variando de 198°C a 140°C, tempo de prensagem de 3,2 s por mm de espessura do painel e com pressão específica média de 3,3 MPa.

2.3 Ensaios físicos em corpos-de-prova dos painéis

Após a fabricação dos painéis aglomerados de todos os tratamentos descritos na Tabela 1, eles foram encaminhados a uma área de estoque da empresa para estabilização final, à temperatura ambiente. Os painéis de todos os tratamentos foram seccionados em quatro faixas de 1860 mm x 600 mm, para retirada de corpos-de-prova, conforme ilustrado na Figura 1.

As propriedades físicas foram avaliadas nos teores de umidade final do painel de 9% (climatização ao tempo na indústria) e em torno de 12% (climatização em câmara com temperatura e umidade controladas), buscando-se, também, quantificar suas variações “intra-painel”.

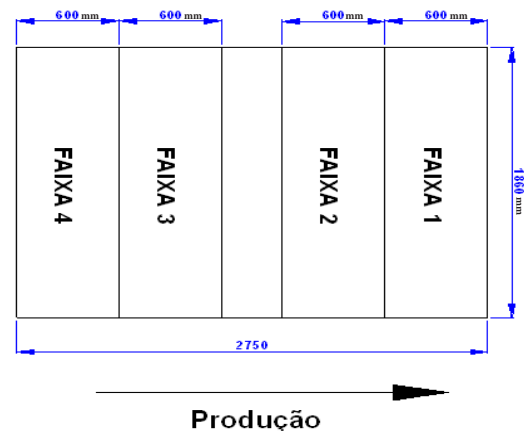


Figura 1 – Seccionamento do painel aglomerado em quatro faixas.

Figure 1 – Partition of the panel in four tracks.

mediante a amostragem em diferentes posições ao longo de seu comprimento. As faixas 1 e 3 foram reservadas para a produção dos corpos-de-prova nas condições de temperatura e umidade ambiente durante a etapa de climatização e estoque na indústria. De forma semelhante, as faixas 2 e 4 foram utilizadas para a produção de corpos-de-prova ensaiados após climatização em câmara climática do Laboratório de Ensaio de Matérias do Departamento de Engenharia Rural - FCA/UNESP, nas condições de $65 \pm 5\%$ de umidade relativa e temperatura de $20 \pm 3^\circ\text{C}$.

Os ensaios físicos realizados em corpos-de-prova de todos os tratamentos foram: determinação da densidade aparente e determinação do inchamento em espessura e absorção de água (2 horas). Seguiram, no geral, as metodologias preconizadas pela NBR 14810-3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2006b).

2.4 Modelo experimental e análise dos resultados

O modelo experimental utilizado foi o delineamento em parcelas sub divididas (faixas), considerando-se 5 tratamentos, 4 faixas (posições ao longo do comprimento do painel) e 3 repetições. As quatro faixas retratam o efeito da posição ao longo do comprimento (2 faixas – borda e centro do painel) e o efeito da umidade (2 faixas) no desempenho físico do painel. Adotaram-se três repetições, número considerado adequado para um produto industrial. Os resultados foram avaliados por meio de análises de variância (ANOVA) para a verificação dos efeitos dos tratamentos e faixas, considerando-se, também as interações com efeitos significativos a 5% de probabilidade. Os resultados obtidos nos ensaios de caracterização tecnológica dos painéis foram comparados com os valores das normas nacional NBR 14810-2 (ABNT, 2006a) e internacional EN 312-2 (EUROPEAN STANDARD, 2003).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os corpos de prova das faixas 1 e 3 foram analisados após atingir a umidade de equilíbrio, que foi de 9%, variando de 8,7% a 9,2%. Os corpos-de-prova das faixas 2 e 4 foram analisados após climatização em câmara, quando atingiram a umidade média de equilíbrio de 12,5%, com valores individuais variando de 11,3% a 13,6%. Essa faixa de variação da umidade de equilíbrio contém a umidade de equilíbrio de 13,45%, reportada por

Silva et al. (2006) e obtida por meio de estimativa teórica para painéis aglomerados em ambiente interno.

3.1 Densidade aparente dos painéis

A Tabela 2 apresenta resumo da análise de variância da densidade aparente e a Tabela 3 sumariza os resultados médios obtidos nos tratamentos e faixas dos painéis.

Tabela 2 – Resumo da análise de variância para a densidade aparente.

Table 2 – Summary of the analysis of variance for density.

Causa da variação	GL	F	Pr > F
Tratamento	4	33,70 *	<,0001
Faixa	3	3,75 *	0,0213
Tratamento*Faixa	12	1,72	0,1124

(*) – significativo ao nível de 5%

Tabela 3 - Valores médios de densidade aparente (kg/m^3).

Table 3 - Average values of density (kg/m^3).

Trat.	Ident.	Faixa				Média
		1	2	3	4	
1	100T	650,40 Aa	651,32 Aa	649,24 Aa	649,66 Aa	650,16
2	90T10S	640,22 Ba	639,53 Ba	640,04 Ba	639,60 Ba	639,85
3	85T15S	638,55 Ba	638,71 Ba	634,04 Bb	636,10 Bab	636,85
4	80T20R	630,90 Ca	633,67 Ba	632,53 Ba	633,01 Ba	632,53
5	65T20 R15S	635,84 Ba	638,92 Ba	636,69 Ba	637,77 Ba	637,30
	Média	639,18	640,43	638,51	639,23	

Notas: Letras maiúsculas comparam valores médios dos tratamentos e minúsculas comparam valores médios das faixas; Médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem estatisticamente

Por meio da análise de variância (Tabela 2) observou-se que os efeitos tratamento e faixa interferiram significativamente na densidade dos painéis.

Os resultados apresentados na Tabela 3 demonstraram o efeito dos tratamentos. Os valores de densidade dos painéis produzidos com 100% de madeira de *Eucalyptus grandis* (T1-100T) diferem estatisticamente e são superiores aos valores de densidade dos painéis produzidos com essa madeira mais adições de resíduos (tratamentos T2 a T5).

Os valores médios de densidade variaram na faixa de 630,90 a 651,32 kg/m³, próximos da densidade nominal projetada de 650 kg/m³. A NBR 14810-2 (ABNT, 2006a) especifica que a densidade para painéis de madeira aglomerada pode variar de 551 a 750 kg/m³. Desta forma, pode-se afirmar que todos os painéis, inclusive os com associação de resíduos nas porcentagens estudadas, atenderam os requisitos normativos quanto à densidade aparente.

O efeito das faixas na densidade dos painéis também pode ser verificado, embora de maneira mais sutil. Constatou-se diferença estatística exclusivamente no tratamento 3, entre as faixas 1 e 2 (densidades superiores) e a 3 (inferior); a faixa 4 se posicionou intermediariamente. Essas diferenças não puderam ser associadas à posição (borda e centro) nem tampouco às umidades de equilíbrio (9% e 12,5%) dos painéis.

3.2 Absorção de água após 2 horas

A Tabela 4 apresenta resumo da análise de variância da absorção de água dos painéis após 2 horas dos painéis de imersão e a Tabela 5 sumariza os resultados médios obtidos nos tratamentos e faixas. Verifica-se o efeito da faixa, mas não do tratamento nesta propriedade, indicando que a adição de resíduos não alterou significativamente essa propriedade.

Os valores médios de absorção de água 2 horas variaram na faixa de 7,10 % a 13,04 %. Observa-se que as faixas 2 e 4 apresentaram valores de absorção de água inferiores àqueles das faixas 1 e 3, por utilizarem corpos-de-prova com umidade de equilíbrio média de 12,5%. Estatisticamente, o efeito da faixa do painel nesta propriedade só pode ser confirmado para o tratamento 4 – adição de 20% de resíduos – sendo os menores valores relativos às faixas 2 e 4. Não foi encontrada uma explicação plausível para esse comportamento.

Tabela 4 - Resumo da análise de variância para a absorção de água 2 horas.

Table 4 - Summary of the analysis of variance for water absorption 2 hours.

Causa da variação	GL	F	Pr > F
Tratamento	4	1,11	0,4058
Faixa	3	11,20 *	<,0001
Tratamento*Faixa	12	1,61	0,1431

(*) – significativo ao nível de 5%

Tabela 5 - Valores médios da absorção de água após 2 horas de imersão (%).

Table 5 - Average values of water absorption after 2 hours of immersion (%).

Trat.	Ident.	Faixa				Média				
		1	2	3	4					
1	100T	9,50	Aa	8,54	Aa	11,46	Aa	8,78	Aa	9,62
2	90T10S	9,85	Aa	9,31	Aa	12,31	Aa	9,54	Aa	10,30
3	85T15S	9,42	Aa	8,66	Aa	9,48	Aa	7,62	Aa	8,85
4	80T20R	13,04	Aa	7,10	Ab	10,62	Aab	7,37	Ab	9,56
5	65T20R15S	11,13	Aa	8,04	Aa	10,11	Aa	8,38	Aa	9,49
	Média	10,66		8,39		10,86		8,38		

Notas: Letras maiúsculas comparam valores médios dos tratamentos e minúsculas comparam valores médios das faixas; Médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem estatisticamente

Nas normas referenciais deste trabalho (NBR 14810-2:2006 e EN 312-2:2003), não há especificação de valores máximos para esta propriedade. A empresa Eucatex, em seu código normativo interno, utiliza como referencial máximo permitido para a absorção de água o valor de 15%. Dessa forma, para os padrões da empresa, os tratamentos estão conformes, atendendo o especificado, mesmo quando da adição de resíduos.

Os valores aqui obtidos para a absorção de água – 2 horas são significativamente inferiores àqueles obtidos em painéis monocamadas. Iwakiri et al. (2000), analisando painéis monocamadas produzidos com 8% de resina uréia-formaldeído com *Eucalyptus maculata*, *E. grandis*, *E. tereticornis* e mistura dessas três espécies obtiveram absorções de 41,74%, 24,75%, 21,56% e 34,11%, respectivamente. Bianche et al. (2012) estudando painéis produzidos em laboratório com misturas de partículas de *Eucalyptus urophylla*, *Schizolobium amazonicum* e *Sida* spp., com teores de resina uréia-formaldeído de 6% e 8%, constataram absorções ainda maiores, quando às partículas de *E. urophylla* eram adicionadas partículas das outras duas espécies. Brito et al. (2006), avaliando painéis monocamadas fabricados com partículas provenientes de toretes e de maravalhas de *Pinus elliottii* Engelm, com 8% de teor de resina uréia-formaldeído (b.p.s.p), obtiveram valores de absorção de água – 2 horas entre 47,9% e 55,41%. Em trabalho mais recente, Iwakiri et al. (2012), avaliando painéis aglomerados monocamadas produzidos com resíduos (puros) de serrarias de nove espécies de madeiras tropicais obtiveram absorção de água – 2 horas

variando de 6,77% a 17,62%, valores mais próximos dos aqui reportados.

Os resultados baixos de absorção de água – 2 horas obtidos neste trabalho, quando confrontados com os obtidos por outros pesquisadores em painéis monocamadas – várias espécies e várias combinações de partículas – permitem ressaltar a importância da utilização de painéis de três camadas para obtenção de maior desempenho nessa propriedade.

3.3 Inchamento em espessura após 2 horas

A Tabela 6 apresenta resumo da análise de variância do inchamento em espessura após 2 horas de imersão dos painéis e a Tabela 7 sumariza os resultados médios obtidos nos tratamentos e faixas.

Assim como observado para a absorção de água, verifica-se estatisticamente o efeito da faixa, mas não do tratamento. Portanto, a adição de resíduos não alterou significativamente essa propriedade.

Iwakiri et al. (1996), estudando a mistura de espécies de *Eucalyptus dunnii* e *Pinus elliottii*, observaram que, com o aumento da proporção de pinus no painel, se elevavam os valores médios de inchamento em espessura. Este fato não foi constatado neste trabalho, pois os tratamentos com adição de resíduo de pinus (T2 a T5) apresentaram valores de inchamento em espessura estatisticamente iguais ao do referencial (T1), sem adição de resíduos.

Os valores médios de inchamento em espessura 2 horas variaram na faixa de 1,80 a 3,31%. O tratamento 3 apresentou o melhor desempenho (menor valor da propriedade), embora ele não tenha sido estatisticamente diferenciado dos demais. No tratamento 4, as faixas 1 e 3 apresentaram valores superiores e significativamente diferentes das faixas 2 e 4, assim como na propriedade de absorção de água e esse desempenho inferior pode ser atribuído às diferentes umidades de equilíbrio entre

Tabela 6 - Resumo da análise de variância para inchamento em espessura após 2 horas (%).

Table 6 - Analysis of variance for thickness swelling after 2 hours (%).

Causa da variação	GL	F	Pr > F
Tratamento	4	0,96	0,4682
Faixa	3	13,48 *	<,0001
Tratamento*Faixa	12	1,66	0,1262

(*) – significativo ao nível de 5%

Tabela 7 - Valores médios do inchamento em espessura após 2 horas de imersão (%).

Table 7 - Average values of thickness swelling 2 hours (%).

Trat.	Ident.	Faixa								Média
		1		2		3		4		
1	100T	2,58	Aa	1,98	Aa	3,06	Aa	1,86	Aa	2,37
2	90T10S	2,11	Aa	2,37	Aa	3,31	Aa	2,37	Aa	2,52
3	85T15S	2,42	Aa	2,03	Aa	2,28	Aa	1,89	Aa	2,16
4	80T20R	3,26	Aa	1,80	Ab	2,91	Aa	2,00	Ab	2,49
5	65T20R15S	2,47	Aa	2,00	Aa	2,93	Aa	2,20	Aa	2,40
Média		2,57		2,04		2,90		2,06		

Notas: Letras maiúsculas comparam valores médios dos tratamentos e minúsculas comparam valores médios das faixas; Médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem estatisticamente

as faixas consideradas: faixas com menor umidade de equilíbrio, em tese, tendem a absorver mais água e a inchar mais, quando da imersão em água.

Os valores máximos para esta propriedade estão especificados na NBR 14810 (ABNT, 2006a) e EN 312-2 (EUROPEAN STANDARD, 2003) como 8%. Dessa forma, todos os tratamentos e faixas atenderam o especificado.

Os valores de inchamento para painéis aglomerados reportados na literatura apresentam grande variação. Os valores aqui obtidos podem ser considerados melhores que os obtidos por Iwakiri et al. (2000), para painéis monocamadas produzidos com 8% de resina e madeiras de *Eucalyptus saligna* (inchamento 2h de 32,24%), *E. citriodora* (19,70%) e *E. pilularis* (15,98%) e misturas destas espécies (13,58%).

Contudo, apresentam-se na mesma ordem de grandeza dos reportados por Dacosta et al. (2005) e Iwakiri et al. (2012). Dacosta et al. (2005) que produziram painéis aglomerados monocamadas com 8% de resina e dois tipos de partículas de *Pinus elliottii* Engelm. (partículas de toretes e de maravalha). Os inchamentos em espessura reportados por esses autores foram: painéis produzidos com partículas de toretes (7,00% a 11,06%), painéis com maravalha (3,16% a 3,71%) e misturados - 50% cada (4,55% a 7,14%). Iwakiri et al. (2012) obtiveram inchamentos em espessura – 2 horas variando de 4,01% a 8,51%. Os melhores resultados obtidos por Dacosta et al. (2005) e Iwakiri et al. (2012) ainda assim foram superiores aos aqui observados.

4 CONCLUSÕES

A adição de resíduos (serragem e material reciclado de paletes) em proporções variando de 15 a 35% na produção de painéis aglomerados de três camadas (MDP) não alterou significativamente o seu desempenho físico, avaliado em termos de absorção de água - 2h e inchamento em espessura - 2h. Os painéis atenderam às especificações mínimas de desempenho para essas propriedades, mesmo nos tratamentos com as maiores proporções de adições.

Destacam-se as seguintes conclusões específicas:

- Os valores de densidade dos painéis produzidos com 100% de madeira de *Eucalyptus grandis* (T1) foram superiores aos valores de densidade dos painéis produzidos com essa madeira mais adição de resíduos (T2 a T5), contudo o espectro de variação das densidades (632,53 kg/m³ a 650,16 kg/m³) não foi grande;

- Nas propriedades absorção de água - 2h e inchamento em espessura - 2h o melhor desempenho (menor valor da propriedade) foi observado nos painéis com adição de 15% de serragem (T3);

- No geral, houve efeito significativo do teor de umidade final do painel nas propriedades absorção de água e inchamento em espessura, com tendência generalizada de melhora do desempenho quando a umidade de equilíbrio do painel aumentava de 9% para 12,5%.

Na continuidade dessa linha de pesquisa, sugere-se a avaliação do desempenho físico e mecânico de painéis industriais produzidos com maiores proporções de resíduos industriais florestais, fazendo-se, para isso, adaptação dos equipamentos industriais ora utilizados.

5 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-2**: chapas de madeira aglomerada: parte 2: requisitos. São Paulo, 2006a. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-3**: chapas de madeira aglomerada: parte 3: métodos de ensaio. São Paulo, 2006b. 51 p.

BIANCHE, J. J.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; PEREIRA, F. A.; SANTOS, R. C.; SORATTO, D. N. Propriedades de painéis aglomerados fabricados com partículas de eucalipto (*Eucalyptus urophylla*), paricá (*Schizolobium amazonicum*) e vassoura (*Sida* spp.). **Cerne**, Lavras, v.18, n.4, p.623-630, 2012.

BRITO, E. O.; SAMPAIO, L. C.; OLIVEIRA, J. N.; BATISTA, D. C. Chapas de madeira aglomerada

utilizando partículas oriundas de madeira maciça e de maravalhas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 72, p. 17-21, dez. 2006.

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 elliottii* Engelm. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 4, p. 421-429, 2005.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Norma EN 312**: particleboard, specifications. Bruxelas, 2003. 22 p.

IWIWAKIRI, S.; VIANEZ, B. F.; WEBER, C.; TRIANOSKI, R.; ALMEIDA, V. C. Avaliação das propriedades de painéis aglomerados produzidos com resíduos de serrarias de nove espécies de madeiras tropicais da Amazônia. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 42, n.1, p. 59-64, 2012.

IWAKIRI, S.; KLOCK, U.; ROCHA, M. P.; SEVERO, E. T. D.; RINCOSKI, C. R.; BORTOLETTO JUNIOR, G.; PIO, N. S. Mistura de espécies na produção de chapas de partículas estruturais “waferboard”. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 14, n. 1/2, p. 107-114, 1995.

IWAKIRI, S.; LATORRACA, J. V. F.; SILVA, D. A.; GABARDO, J. L.; KLITZKE, R. J.; FOFANO JUNIOR, A.; FABROWSKI, F.; TORREÃO, M. Produção de chapas de partículas de madeira aglomerada de *Pinus elliottii* (Engelm) e *Eucalyptus dunnii* (Maid). **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 15, n. 1, p. 33-41, 1996.

IWAKIRI, S.; CUNHA, A. B.; ALBUQUERQUE, C. E. C.; GORNIK, E.; MENDES, L. M. Resíduos de serrarias na produção de painéis de madeira aglomerada de eucalipto. **Scientia Agraria**, Piracicaba, v.1, n. 1/2, p. 23-28, 2000.

PEDRAZZI, C.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; SCHNEIDER, P. R. Qualidade de chapas de partículas de madeira aglomerada fabricadas com resíduos de uma indústria de celulose. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 2, p. 201-212, 2006.

SILVA, G.A.; MENDES, L. M.; CALEGÁRIO, N.; MORI, F. A.; SILVA, J. R. M.; SANTOS, I. F. Estimativa da umidade de equilíbrio de painéis de madeira. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.70, p.23-29, 2006.

Recebido: 19 de maio de 2011; aceito: 30 de setembro de 2013.

