

Avaliação de espécies alternativas de rápido crescimento para produção de painéis de madeira aglomerada de três camadas

Evaluation of fast growing alternatives species to three-layer particleboard manufacture

Rosilani Trianoski¹, Setsuo Iwakiri², Jorge Luis Monteiro de Matos³ e José Guilherme Prata⁴**Resumo**

O objetivo deste trabalho foi avaliar a possibilidade de utilização de espécies alternativas de rápido crescimento para a produção de painéis de madeira aglomerada constituídos de três camadas, em conjunto com o *Pinus taeda*. Foram utilizadas as espécies *Acrocarpus fraxinifolius*, *Melia azedarach*, *Grevillea robusta*, *Schizolobium parahyba* e *Toona ciliata*, provenientes de plantios florestais experimentais com 18 anos de idade, localizados em Corupá, Santa Catarina, Brasil, e partículas de *Pinus taeda* coletadas no processo industrial de painéis de madeira aglomerada. O delineamento englobou 12 tratamentos, onde 11 deles foram confeccionados alternando-se as espécies em estudo e o *Pinus taeda* na camada interna e externa (20%-60%-20%) e 1 tratamento com 100% de partículas de *Pinus taeda*, sendo este utilizado como tratamento de referência. Os painéis foram produzidos com massa específica nominal de 800 kg/m³, resina uréia-formaldeído, e ciclo de prensagem com temperatura de 160°C, pressão específica de 4 MPa e tempo de 8 minutos. Os painéis foram caracterizados a partir de ensaios físicos e mecânicos, baseados nas Normas EN e NBR. Concluiu-se que exceto a *Grevillea robusta* todas as demais espécies indicaram viabilidade técnica de utilização em conjunto com o *Pinus taeda*, ampliando a diversificação de uso da matéria prima nos processos industriais.

Palavras-chave: Painéis de madeira aglomerada, *Acrocarpus fraxinifolius*, *Melia azedarach*, *Grevillea robusta*, *Schizolobium parahyba* e *Toona ciliata*.

Abstract

The objective of this research was to evaluate the possible use of fast growing alternative species to production of three-layer particleboard associated with *Pinus taeda* in its composition. Used were the species *Acrocarpus fraxinifolius*, *Melia azedarach*, *Grevillea robusta*, *Schizolobium parahyba* and *Toona ciliata*, from experimental forest plantations with 18 years old, located in Corupá, Santa Catarina, Brazil, and particles of *Pinus taeda* collected in the particleboard factory. The experimental design contained 12 treatments, where 11 of them were composed by these species plus *Pinus taeda* in the core and face (20%-60%-20%), and one treatment with 100% of *Pinus taeda* as control treatment. The panels were produced with nominal density of 800 kg/m³, urea-formaldehyde resin and following parameters of press cycle: temperature of 160°C, specific pressure of 4 MPa and press time of 8 minutes. The quality of panels was evaluated through physical and mechanical properties, based on EN and NBR standards. It was concluded that with exception of *Grevillea robusta*, all others species are technically feasible to be uses together with *Pinus taeda* as raw material for particleboard manufacture.

Keywords: Particleboard, *Acrocarpus fraxinifolius*, *Melia azedarach*, *Grevillea robusta*, *Schizolobium parahyba* e *Toona ciliata*.

INTRODUÇÃO

Os painéis de madeira aglomerada, que são produtos obtidos a partir de partículas de ma-

deira distribuídas aleatoriamente, com a incorporação de um adesivo e aplicação de pressão e temperatura (MOSLEMI, 1974; TSOUIMIS, 1991; MALONEY, 1993; IWAKIRI, 2005), têm apresen-

¹Doutoranda em Engenharia Florestal do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da UFPR - Av. Lothário Meissner, 632, Curitiba, PR - 80210-170 - E-mail: rosilani@ufpr.br

²Professor Doutor do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR - Av. Lothário Meissner, 632, Curitiba, PR - 80210-170 - E-mail: setsuo@ufpr.br

³Professor Doutor do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR - Av. Lothário Meissner, 632, Curitiba, PR - 80210-170 - E-mail: jmatos@ufpr.br

⁴Professor Mestre do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR - Av. Lothário Meissner, 632, Curitiba, PR - 80210-170 - E-mail: prata@ufpr.br

tado nos últimos anos elevadas taxas de crescimento tanto em termos de produção quanto de consumo (ABIPA, 2010).

No Brasil, a principal matéria prima para a produção de painéis de madeira aglomerada é o *Pinus*, por ser uma espécie de baixa massa específica e grande disponibilidade nas plantações florestais (IWAKIRI, 2005), e em menor quantidade o *Eucalyptus* (CABRAL *et. al.*, 2007). Além disso, outras espécies têm sido testadas e muitas ainda devem ser avaliadas tecnologicamente para esta finalidade, tendo em vista a necessidade de ampliar a oferta de matéria prima de qualidade (TRIANOSKI, 2010). As espécies, em função das características diferenciadas do lenho, apresentam diferentes massas específicas e composições químicas, as quais influenciam diretamente sobre a densificação, polimerização do adesivo e consolidação do painel (MOSLEMI, 1974; KELLY, 1977; MALONEY, 1993).

Em conjunto com a avaliação de diferentes espécies, alternativas tecnológicas inerentes ao processo devem ser testadas e aprimoradas. Entre as variáveis de processo, a composição do painel assume considerável importância já que dela também depende a obtenção de um produto adequado às especificações requeridas. Segundo Torgovnikov (1993) os painéis de madeira aglomerada podem apresentar composição homogênea ou multicamadas, e as camadas podem conter partículas de diversas formas e dimensões. Bowyer *et al.*, (2003) complementam que painéis multicamadas são tecnicamente superiores para muitas aplicações já que esta composição possibilita o aumento das propriedades de resistência e melhora o acabamento superficial.

No Brasil, o processo industrial de painéis de madeira aglomerada tem sido realizado com partículas de geometria variada (BRITO *et al.*, 2005), caracterizando com isso a composição multicamada, e os trabalhos experimentais normalmente se utilizam de diferentes espécies ou misturas de espécies, porém com a composição homogênea. Poucos trabalhos têm sido realizados com composição em camadas, principalmente com diferentes espécies.

Considerando a importância da composição do painel e conseqüentemente da interação de diferentes espécies, este trabalho teve como objetivo avaliar a possibilidade de utilização de espécies alternativas de rápido crescimento para a produção de painéis de madeira aglomerada de três camadas, em conjunto com o *Pinus taeda*.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizadas as espécies *Acrocarpus fraxinifolius* (Acrocarpo), *Melia azedarach* (Cinamo-mo), *Grevillea robusta* (Grevilea), *Schizolobium parahyba* (Guapuruvu), *Toona ciliata* (Cedro australiano) e *Pinus taeda*. As cinco primeiras espécies foram coletadas em plantios florestais experimentais com aproximadamente 18 anos de idade, localizados em Corupá, Santa Catarina, Brasil, num total de 5 árvores por espécie. As características dendrométricas e silviculturais completas referentes a estas espécies podem ser obtidas em Trianoski (2010). O *Pinus taeda*, obtido na forma de partículas para camada interna, foi coletado no processo industrial de uma empresa de painéis de madeira aglomerada.

As espécies provenientes dos plantios experimentais foram seccionadas em toretes, retirando-se um disco a cada 0,40m ao longo do fuste para a determinação da massa específica básica, e o restante do material foi seccionado em peças com dimensões adequadas para geração das partículas. A metodologia para obtenção da massa específica básica atendeu os procedimentos prescritos pela Norma COPANT 461/1972 (CONPANT, 1972). A massa específica do *Pinus taeda* foi obtida a partir de amostras e informações cedidas pela indústria de painéis de madeira aglomerada. A massa específica ponderada das composições foi determinada a partir da fórmula mencionada por Moslemi (1974)

Para a obtenção das partículas, as espécies foram descascadas e processadas em picador de disco e as partículas obtidas foram, posteriormente, secas em estufa convencional a um teor de umidade entre 4 e 10%. Ressalta-se, que a espécie *Schizolobium parahyba*, por questões relativas à constituição anatômica da espécie, não possibilitou a geração de cavacos em estado úmido, sendo necessária secagem da madeira anterior ao processamento. Após a secagem, os cavacos de todas as espécies foram reprocessados em moinho de martelo, obtendo-se partículas "sliver".

A classificação das partículas ocorreu por peneiramento em classificador automático, utilizando-se peneiras cujas granulometrias atendem as especificações ASTM: (ASTM 14 e ASTM 30) e que correspondem a 14 e 30 mesh respectivamente. As partículas retidas na peneira de 14 mesh e as que passaram na peneira de 30 mesh foram descartadas. Após esta classificação, foi efetuada a secagem final das partículas, obtendo-se um teor de umidade próximo a 3%.

A produção dos painéis experimentais (convencionais) atendeu o delineamento apresentado na Tabela 1, sendo produzidos painéis homogêneos (3) com partículas de *Pinus taeda*, utilizados como parâmetro de comparação dos resultados, e onze tratamentos com 3 camadas, na proporção de 20-60-20%, também com 3 repetições por tratamento.

Tabela 1. Delineamento experimental.
Table 1. Experimental design.

Tratamento	Composição
1	<i>Pinus taeda</i>
2	<i>Acrocarpus/Pinus/Acrocarpus</i>
3	<i>Cinamomo/Pinus/Cinamomo</i>
4	<i>Grevillea/ Pinus/Grevillea</i>
5	<i>Schizolobium/Pinus/ Schizolobium</i>
6	<i>Toona/Pinus/Toona</i>
7	<i>Pinus/Acrocarpus/Pinus</i>
8	<i>Pinus/Melia/Pinus</i>
9	<i>Pinus/Grevillea/Pinus</i>
10	<i>Pinus/Schizolobium/Pinus</i>
11	<i>Pinus/Toona/Pinus</i>
12	<i>Pinus/Mistura 5 espécies/Pinus</i>

Para a produção dos painéis foi utilizada resina uréia-formaldeído (8%), com teor de sólidos de 67,5%, viscosidade Brookfield de 538 cP, pH de 8,22, densidade de 1.290 kg/m³ e tempo de gelatinização de 1,12 min, e, 1% de parafina.

Os painéis foram manufaturados com dimensões de 500 x 500 x 15 mm e massa específica nominal de 800 kg/m³, e consolidados utilizando os seguintes parâmetros de prensagem: temperatura de 160°C, pressão específica de 4 MPa e tempo de 8 minutos.

Após a manufatura dos painéis, os mesmos foram colocados em uma câmara de climatização com condições ambientais controladas (20±2°C e 65±5% UR), até atingirem umidade de equilíbrio.

As propriedades físicas e mecânicas foram determinadas de acordo com a metodologia proposta pela Norma Européia (European Standard) e pela Norma Brasileira (Associação Brasileira de Normas Técnicas). As propriedades físicas avaliadas foram: massa específica (EN 323:2002), teor de umidade (EN 322:2002), absorção de água e inchamento em espessura após 2 e 24 horas (EN 317:2002) e taxa de recuperação da espessura (Complemento EN 317:2002). As propriedades mecânicas avaliadas foram: flexão estática (EN 310:2002), tração perpendicular à superfície

(EN 319:2002) e resistência ao arrancamento de parafuso (NBR 14810-3:2006). Os valores experimentais foram comparados com os requisitos propostos pela Norma EN 312:2003, NBR 14810-2:2006 e com os valores obtidos a partir do tratamento de referência.

Após o encerramento da fase experimental, foi efetuado tratamento estatístico em cada conjunto de dados a fim de verificar a existência de diferença estatística significativa em cada variável de resposta. Foram efetuados os seguintes testes: Teste de Grubbs para avaliar a ocorrência de outliers ou valores dispersos; Teste de Kolmogorov Smirnov, para verificar se os dados apresentavam aderência a uma distribuição normal, Teste de Bartlett para avaliar a homogeneidade de variâncias, Análise de Variância, e Comparação de Média por meio do Teste de Tukey. Todos os testes estatísticos foram efetuados com o Programa Statgraphics Centurion ao nível de 95% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Propriedades físicas das composições e dos painéis

Massa específica ponderada das espécies, massa específica dos painéis, razão de compactação e teor de umidade

Os resultados médios obtidos para a massa específica ponderada das espécies, massa específica aparente (12%) dos painéis, razão de compactação e teor de umidade são apresentados na Tabela 2.

De acordo com a Tabela 2, verifica-se que todos os tratamentos propostos apresentaram valores médios de massa específica ponderada das espécies, dentro da faixa adequada à produção de painéis de madeira aglomerada conforme mencionado por Maloney (1993).

Em relação à massa específica dos painéis, a Análise de Variância não indicou diferença estatística significativa entre os resultados médios dos doze tratamentos propostos, indicando desta forma, homogeneidade no processo de deposição das partículas e na formação do colchão. Considerando a massa específica nominal (800 kg/m³) verifica-se que, as perdas ocorridas durante o manuseio das partículas durante as etapas de manufatura dos painéis foram baixas, não comprometendo os resultados de massa específica real dos painéis.

Tabela 2. Resultados médios de massa específica ponderada das espécies, massa específica dos painéis, razão de compactação e teor de umidade.

Table 2. Mean values of weighed density of species, board density, compaction ratio and moisture content.

Tratamento	Massa Específica Ponderada das espécies	Massa Específica do Painel	Razão de Compactação	Teor de Umidade
	(kg/m ³)	(kg/m ³)		(%)
1 – Pt	496	788 ab (6,77)	1,57 (3,03)	10,22 a (4,04)
2 – Af/Pt/Af	481	779 a (5,69)	1,62 (2,50)	9,94 abc (2,49)
3 – Ma/Pt/Ma	493	793 a (5,93)	1,60 (2,67)	10,09 abc (2,72)
4 – Gr/Pt/Gr	495	795 a (5,34)	1,61 (2,34)	9,97 abc (3,74)
5 – Sp/Pt/Sp	403	778 (6,30)	1,93 (2,38)	9,87 bc (3,55)
6 – Tc/Pt/Tc	447	795 (6,36)	1,78 (2,54)	10,21 ab (3,30)
7 – Pt/Af/Pt	473	800 a (7,50)	1,70 (3,19)	9,65 c (3,41)
8 – Pt/Ma/Pt	491	791 a (5,83)	1,61 (2,58)	10,42 a (3,37)
9 – Pt/Gr/Pt	495	800 a (4,03)	1,62 (1,79)	9,91 abc (3,60)
10 – Pt/Sp/Pt	357	781 a (6,66)	2,19 (2,17)	9,66 c (3,19)
11 – Pt/Tc/Pt	422	783 a (6,59)	1,86 (2,60)	10,29 ab (3,37)
12 – Pt/5 sp/Pt*	448	774 a (9,09)	1,73 (3,79)	10,07 abc (3,25)

Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna não diferem significativamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade; Valores entre parênteses referem-se ao Coeficiente de Variação; Pt: *Pinus taeda*; Af: *Acrocarpus fraxinifolius*; Ma: *Melia azedarach*; Gr: *Grevillea robusta*; Sp: *Schizolobium parahyba*; Tc: *Toona ciliata*; * Tratamento composto por *Pinus* na Camada externa e pelas espécies Pt, Af, Ma, Gr, Sp, Tc, com proporção de 12% por espécie na camada interna; Massa específica básica das espécies: *Pinus taeda*: 496 kg/m³; *Acrocarpus fraxinifolius*: 458 kg/m³; *Melia azedarach*: 488 kg/m³; *Grevillea robusta*: 494 kg/m³; *Schizolobium parahyba*: 264 kg/m³; *Toona ciliata*: 373 kg/m³;

Os resultados relativos à razão de compactação demonstraram que em todos os tratamentos ocorreu a compressibilidade mínima recomendada de 1,3, garantindo desta forma, contato suficiente entre as partículas. Observa-se ainda, que todos os tratamentos foram superiores ao valor apresentado pelo tratamento testemunha, de 1,57, e que as composições de painéis com as espécies de menor massa específica da madeira, principalmente quando compostas com as espécies *Schizolobium parahyba* e *Toona ciliata*, apresentaram razões de compactação bem superiores aos preconizados em literatura.

Para a variável teor de umidade, observa-se que os resultados médios foram estatisticamente diferentes entre alguns tratamentos, e que após climatização a 12% todas as umidades de equilíbrio apresentaram-se inferiores. Esta redução de

higroscopicidade justifica-se pelo processamento da madeira em partículas, adição de resina e aditivos e aplicação de pressão e alta temperatura durante o ciclo de prensagem (WU, 1999). Em complemento as diferenças estatísticas entre alguns tratamentos, muito provavelmente, estas diferenças estão associadas às características inerentes a espécie, principalmente a composição química da madeira que pode influenciar na formação de sítios higroscópicos responsáveis pela adsorção de água.

Absorção de Água e Inchamento em Espessura e Taxa de Recuperação da Espessura

Os resultados médios obtidos a partir dos ensaios de absorção de água e inchamento em espessura após 2 e 24h de imersão e a taxa de recuperação da espessura são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Resultados médios de absorção de água e inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão em água e taxa de recuperação da espessura.

Table 3. Mean values of water absorption and thickness swelling after 2 and 24 hours in water soaking and recovery of thickness value.

Tratamento	AA 2h ¹	AA 24h ¹	IE 2h ²	IE 24h ²	TNRE ³
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
1 – Pt	7,94 de (10,66)	27,82 cde (10,21)	13,02 bc (8,81)	18,56 c (7,24)	21,50 ef (12,21)
2 – Af/Pt/Af	13,89 a (13,43)	36,78 b (14,16)	14,47 a (8,80)	21,51 b (5,76)	30,75 c (7,19)
3 – Ma/Pt/Ma	11,27 b (15,03)	25,95 de (11,10)	13,12 bc (6,67)	17,44 cd (6,64)	18,95 fg (10,75)
4 – Gr/Pt/Gr	9,64 bcd (14,51)	36,63 b (13,11)	13,17 bc (6,12)	22,16 b (10,13)	50,85 a (12,57)
5 – Sp/Pt/Sp	15,30 a (13,35)	36,42 b (13,96)	14,91 a (6,29)	20,84 b (5,44)	29,75 c (4,97)
6 – Tc/Pt/Tc	9,33 bcde (11,06)	27,19 cde (11,64)	12,89 bc (7,91)	16,36 d (7,97)	18,25 g (8,21)
7 – Pt/Af/Pt	9,69 bcd (20,72)	30,13 cd (19,00)	13,12 bc (7,58)	17,26 cd (6,65)	24,83 d (9,01)
8 – Pt/Ma/Pt	8,07 de (16,99)	24,86 e (12,17)	12,50 c (7,55)	16,68 d (7,91)	18,99 fg (9,30)
9 – Pt/Gr/Pt	7,56 e (12,28)	29,44 cd (9,88)	11,02 d (8,83)	14,59 e (10,48)	40,07 b (9,38)
10 – Pt/Sp/Pt	14,30 a (20,53)	49,42 a (15,88)	14,04 ab (11,34)	26,29 a (9,89)	36,29 b (8,37)
11 – Pt/Tc/Pt	10,44 bc (17,04)	30,55 c (14,22)	14,66 a (9,21)	18,93 c (8,24)	23,45 de (11,43)
12 – Pt/5 sp/Pt	8,91 cde (13,83)	29,55 cd (16,94)	14,09 ab (9,17)	17,84 cd (7,80)	22,37 de (9,23)

Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna não diferem significativamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade; Valores entre parênteses referem-se ao Coeficiente de Variação; ¹Absorção de Água após 2 e 24h; ²Inchamento em Espessura após 2 e 24h; ³Taxa de Recuperação da Espessura.

Os resultados de absorção de água apresentados na Tabela 3, indicaram que após 2 e 24 horas de imersão os valores variaram de 7,56% a 15,30% e de 24,86% a 49,42%, respectivamente. É possível observar que os painéis contendo partículas de *Schizolobium parahyba* em sua composição, foram os que mais tenderam a absorver água, e à medida que se aumentou o percentual de partículas desta espécie (40% no tratamento 5 e 60% no tratamento 10), a propriedade de absorção tendeu a aumentar ao longo do tempo. Este resultado assemelha-se aos estudos conduzidos por Naumann *et al.*, (2008), que avaliando as propriedades de painéis de partículas de *Eucalyptus urophylla* e *Schizolobium amazonicum*, (mesmo gênero), verificaram a mesma tendência, onde à medida que aumentava a proporção de *Schizolobium amazonicum* na composição do painel, resultava em aumento na absorção de água. Em relação à resultados obtidos por outros pesquisadores, os resultados obtidos neste trabalho são superiores aos descritos por Batista *et al.* (2007) que avaliando painéis de 3 camadas produzidos com *Pinus elliottii* e casca de *Eucalyptus pellita* obtiveram valores entre 134,1% a 167,5% e 143,7% a 183,8% após 2 e 24 horas, respectivamente, e a resultados mencionados Iwakiri *et al.* (2010) que obtiveram absorção média de 83,74% a 92,00% para painéis aglomerados confeccionados com *Pinus taeda*, *Pinus caribaea* var. *caribaea* e *Pinus caribaea* var. *bahamensis*.

Para o inchamento em espessura após 2 horas de imersão, os valores médios variaram entre 11,02% e 14,66% e após 24 horas de imersão a variação foi de 14,59% a 26,29%. Verifica-se que

o tratamento que apresentou o melhor resultado para esta propriedade em ambos os tempos de imersão foi o tratamento 9, composto pelo *Pinus taeda* na camada externa e pela *Grevillea robusta* na camada interna. Comparando com os resultados disponíveis em literatura, observa-se resultados similares aos encontrados por Iwakiri *et al.* (2004) que obtiveram valores entre 8,57% a 25,62% para painéis homogêneos de *Grevillea robusta* e aos relatados por Melo e Del Menezzi (2010) que encontraram valores entre 8,68% a 33,90% para painéis de diferentes densidades constituídos com *Eucalyptus grandis*.

Em relação aos resultados de taxa de recuperação da espessura, verifica-se que os resultados médios variaram entre 18,25% a 50,85%, e que o melhor desempenho foi apresentado pelo tratamento 6, o qual é estatisticamente igual aos tratamentos 3 e 8, e a maior taxa foi demonstrada pelo tratamento 4. Observa-se ainda, que as maiores taxas foram constatadas nos tratamentos compostos com a *Grevillea robusta*, sendo possível também, observar uma relação entre esta espécie compor a camada interna ou externa. Apesar do tratamento 9 (Pt/Gr/Pt) conter a maior proporção de *Grevillea*, as partículas de *Pinus taeda* por constituírem as camadas superficiais atuaram como um elemento de restrição ao maior inchamento e, conseqüentemente, a maior taxa de recuperação da espessura.

Propriedades mecânicas dos painéis

Os resultados obtidos a partir da avaliação das propriedades mecânicas dos painéis experimentais são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Resultados médios de flexão estática, tração perpendicular à superfície e resistência ao arrancamento de parafuso.

Table 4. Average values of static bending, internal bond and pullout strength by screw.

Tratamento	Flexão Estática		Tração Perpendicular (MPa)	Resistência ao Arrancamento de Parafuso	
	MOR (MPa)	MOE (MPa)		Superfície (N)	Topo (N)
	1 – Pt	12,79 ef (17,13)	1.788 e (17,00)	1,20 ab (13,42)	1.207 cd (14,10)
2 – Af/Pt/Af	16,36 bc (24,21)	2.247 bc (19,53)	1,18 abc (10,06)	1.409 bcd (14,09)	1.324 de (10,74)
3 – Ma/Pt/Ma	16,93 ab (21,15)	2.405 ab (19,32)	1,22 a (12,02)	1.633 ab (11,34)	1.467 bcd (10,25)
4 – Gr/Pt/Gr	10,87 fg (20,81)	1.878 e (16,45)	0,69 f (21,92)	1.092 d (16,57)	1.194 ef (11,19)
5 – Sp/Pt/Sp	16,38 bc (19,04)	2.137 cd (17,02)	1,05 cd (13,52)	1.367 bcd (15,26)	1.165 ef (9,27)
6 – Tc/Pt/Tc	18,73 a (19,73)	2.529 a (21,30)	0,97 d (16,95)	1.468 bc (16,31)	1.178 ef (13,82)
7 – Pt/Af/Pt	16,97 ab (15,39)	2.199 bc (14,95)	0,83 e (15,59)	1.596 ab (19,19)	1.684 ab (12,32)
8 – Pt/Ma/Pt	16,04 bcd (19,76)	1.955 de (18,10)	1,19 ab (8,92)	1.820 a (16,73)	1.775 a (12,83)
9 – Pt/Gr/Pt	10,51 g (20,41)	1.755 e (19,31)	0,95 de (12,28)	1.150 cd (13,10)	1.025 f (16,24)
10 – Pt/Sp/Pt	14,39 de (24,50)	1.916 de (20,71)	1,19 ab (8,92)	1.322 bcd (13,29)	1.219 ef (10,63)
11 – Pt/Tc/Pt	15,55 bcd (16,03)	1.792 e (14,97)	0,95 de (12,28)	1.597 ab (10,51)	1.601 abc (7,95)
12 – Pt/5 sp/Pt	14,67 cde (22,68)	1.878 e (24,09)	1,06 bcd (15,46)	1.540 ab (12,01)	1.396 cde (12,39)

Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna não diferem significativamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade; Valores entre parênteses referem-se ao Coeficiente de Variação.

A partir dos resultados apresentados na Tabela 4, observa-se que a Análise de Variância indicou diferenças significativas para todas as propriedades analisadas. Para o módulo de ruptura, os resultados variaram entre 10,51 MPa e 18,73 MPa, onde o tratamento 6, com partículas de *Toona ciliata* na camada externa do painel, mostrou-se superior, no entanto, não diferiu significativamente dos tratamentos 3 e 7. O menor resultado para esta propriedade foi obtido para o tratamento 9, que não difere estatisticamente do tratamento 4. Para os últimos dois tratamentos citados, verifica-se que o tratamento com maior percentual de partículas de *Grevillea robusta* proporcionou a menor resistência, evidenciando neste caso, a influência negativa da espécie, provavelmente sobre a polimerização do adesivo. Esta provável influência negativa sobre a colagem pode ser justificada pelo fato de que a *Grevillea robusta* apresenta em sua constituição anatômica elevada quantidade de parênquima radial (TRIANOSKI, 2010), e segundo Lima *et al.* (2007) nas células parenquimatosas, especialmente nas de parênquima radial, são encontradas substâncias gordurosas. De acordo com Trianoski (2010), esta espécie apresentou na extração em etanol-tolueno, reagente que solubiliza ceras, óleos e gorduras, um teor de componentes solúveis de 8,17%, o que pode ser considerado alto já que as espécies normalmente apresentam teor de extrativos totais abaixo de 10% (SJÖSTRÖM, 1981).

Comparando-se com os resultados apresentados por outros pesquisadores, observa-se que os valores de módulo de ruptura obtidos para os painéis propostos foram superiores aos descritos por Batista *et al.* (2007) que avaliando painéis de 3 camadas de *Pinus elliottii* e casca de *Eucalyptus pellita* obtiveram valores de 4,90 MPa a 11,04 MPa, e aos resultados mencionados por Naumann *et al.* (2008) que encontraram valores de 4,26 MPa a 13,96 MPa para painéis constituídos com *Eucalyptus urophylla* e *Schizolobium amazonicum*. Resultados similares aos apresentados nesta pesquisa foram descritos por Iwakiri *et al.* (2010) que obtiveram módulo de 16,36 MPa a 18,08 MPa para painéis de *Pinus caribaea* var. *caribaea* e *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, e por Cabral *et al.* (2007) que estudando as propriedades de painéis confeccionados com misturas de *Eucalyptus* spp e *Pinus elliottii*, obtiveram valores entre 15,32 MPa e 19,14 MPa.

Em relação ao módulo de elasticidade, os valores médios variaram entre 1.755 MPa e 2.529

MPa, onde o tratamento 6 apresentou o melhor desempenho, sendo este estatisticamente igual ao tratamento 3. Considerando os resultados descritos em literatura, nota-se que os valores aqui obtidos, são superiores aos apresentados por Sá (2009) que obteve 1.229,63 MPa a 1.411,95 MPa para painéis aglomerados de *Toona ciliata* e similares a Brito *et al.* (2005) com 1.603,68 MPa a 2.167,45 MPa para painéis homogêneos de *Pinus elliotti* e casca de *Eucalyptus pellita*.

Em comparação com a testemunha, nota-se que para o ensaio de flexão estática, exceto o tratamento 9, composto de partículas de *Grevillea robusta* na camada interna do painel, todos os demais tratamentos são estatisticamente iguais ou superiores ao *Pinus taeda*. Considerando a Norma EN 312:2003, e os requisitos mínimos para os módulos de ruptura e elasticidade (13 MPa e 1600 MPa, respectivamente), exceto os tratamentos 4 e 9, compostos de partículas de *Grevillea robusta*, todos os demais apresentaram-se adequados as especificações requeridas.

Com relação à tração perpendicular, os tratamentos 1, 2, 3, 8 e 9, foram os que apresentaram melhor desempenho. Por outro lado, o tratamento 4, foi significativamente inferior aos demais. Vale salientar que este tratamento, juntamente com o tratamento 9, ambos compostos pela alternância da *Grevillea robusta* e do *Pinus taeda* nas camadas interna e externa, apresentaram ruptura no local de transição das camadas. Este comportamento pode ser explicado pelas diferentes características entre espécies, que ao alternar as camadas, possivelmente, tiveram um contato entre partículas fragilizado. Situação similar foi encontrada por Gouveia *et al.*, (2003), que avaliando tipos de estrutura de colchão e níveis de resina observaram ruptura na transição entre as partículas de *Pinus* e de *Eucalyptus*, devido principalmente à diferença de massa específica entre espécies e a menor interatividade entre a madeira de *Eucalyptus* e o adesivo.

Em comparação com o tratamento de referência, é possível destacar que os tratamentos 4, 5, 6, 7, 9 e 11 são significativamente inferiores. Entretanto, considerando os valores mínimos preconizados pela norma EN 312:2003, todos atendem a especificação de 0,35 MPa.

Considerando resultados mencionados em outros estudos, verifica-se que a tração perpendicular dos painéis avaliados nesta pesquisa apresentou valores superiores aos de Naumann *et al.* (2008) que obtiveram valores entre 0,16 MPa e 0,58 MPa para painéis aglomerados de

Eucalyptus urophylla e *Schizolobium amazonicum*, aos de Batista *et al.* (2007) com valores de 0,04 MPa a 0,22 MPa para painéis de três camadas de *Pinus elliottii* e cascas de *Eucalyptus pellita* e aos descritos por Bianche (2009) que obteve valores entre 0,37 MPa a 0,51 MPa, 0,34 MPa a 0,75 MPa e 0,38 MPa a 0,75 MPa para painéis de *Eucalyptus urophylla* e *Sida spp.*, *Sida spp.* e *Schizolobium amazonicum*, e, *Eucalyptus urophylla* e *Schizolobium amazonicum*, respectivamente. Por outro lado, os resultados mencionados na Tabela 4, são inferiores aos encontrados por Sá (2009) que avaliando o potencial de painéis aglomerados de *Toona ciliata* aos 4 anos, oriundos de 3 localidades de Minas Gerais, obteve valores no intervalo de 1,30 MPa e 1,33 MPa.

Os resultados de resistência ao arrancamento de parafuso na superfície e no topo, apresentaram o tratamento 8 com o melhor desempenho. Considerando a espécie tradicionalmente utilizada, verifica-se que exceto o tratamento 9 (sentido topo), todos os demais tratamentos foram iguais ou superiores em ambas as faces ensaiadas. Em relação à Norma NBR 14810-2:2006, todos os tratamentos apresentaram os requisitos mínimos especificados de 1.020 N e 800 N, para resistência na superfície e no topo, respectivamente. Em comparação com os resultados disponíveis em literatura observa-se que os tratamentos propostos apresentaram valores compatíveis com os descritos por Cabral *et al.* (2007) com 1.078,73 N a 1.558,08 N para painéis de *Eucalyptus spp* e *Pinus elliottii* e por Bianche (2009) que obteve valores entre 1.027,51 N a 1376,00 N para painéis confeccionados com *Eucalyptus urophylla*, *Schizolobium amazonicum* e *Sida spp.*

CONCLUSÕES

Sob o aspecto de estabilidade dimensional o tratamento 6 composto com *Toona ciliata* nas camadas externas e *Pinus taeda* na camada interna, juntamente com o tratamento 8 constituído com *Pinus taeda* nas camadas superficiais e *Melia azedarach* na camada interna foram os que apresentaram os maiores valores médios.

Em termos de resistência mecânica, o tratamento 3 composto com *Melia azedarach* nas camadas externas e *Pinus taeda* na camada interna, juntamente com o tratamento 6 manufaturado com *Toona ciliata* nas camadas externas e *Pinus taeda* na camada interna foram os tratamentos que apresentaram os maiores resultados médios.

A utilização das diferentes espécies em conjunto com o *Pinus taeda* na composição em camadas, indicou possibilidade de uso das espécies *Acrocarpus fraxinifolius*, *Melia azedarach*, *Schizolobium parahyba* e *Toona ciliata*, tanto na camada interna quanto na camada externa, atendendo os requisitos mínimos especificados pela EN 312:2003, e, ampliando a diversificação da matéria prima nos processos industriais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Battistela Florestal pela concessão de uso dos plantios experimentais, a Empresa Berneck SA pela doação das partículas de *Pinus taeda*, resina e aditivos, ao Prof. Antonio Higa, Coordenador do Projeto FINEP/BATTISTELA/UFPR, a FINEP e ao CNPq pela concessão de bolsa de estudos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIPA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/meioambiente.php>> Acesso em 25/01/2010.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14810 – 2 - Chapas de madeira aglomerada – Parte 2 – Requisitos. Rio de Janeiro, 2006.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14810 – 3 -Chapas de madeira aglomerada – Parte 3 – Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro, 2006.

BOWYER, J.L.; SHMULSKY, R.; HAYGREEN, J.G. *Forest products and wood science: an introduction*. Ames: Iowa State Press, 2003. 554p.

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

BIANCHE, J.J. *Propriedades de aglomerados fabricado com partículas de Eucalipto (Eucalyptus urophylla), Paricá (Schizolobium amazonicum) e vassoura (Sida spp.)*. 2009. 81p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

- BRITO, E.O.; BATISTA, D.C.; VIDAURRE, G.B.; SAMPAIO, L.C. Chapas de madeira aglomerada de uma camada de *Pinus elliottii* Engelm com a adição das cascas de *Eucalyptus pellita* F. Muell. *Cerne*, Lavras, v.11, n.4, p.369-375, 2005.
- CABRAL, C.P.; Vital, B.R.; Lucia, R.M.D.; Pimenta, A.S. Propriedades de chapas de aglomerado confeccionadas com misturas de partículas de *Pinus* spp e *Pinus elliottii*. *Revista Árvore*, Viçosa, v.31, n.5, p.897-905, 2007.
- COPANT - Comissão Panamericana de Normas Técnicas. COPANT 461. Determinación del peso específico aparente. 1972.
- EUROPEAN STANDARD. EN 310. Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength. CEN, Portugal, 2002.
- EUROPEAN STANDARD. EN 312. Particleboards – Specifications. CEN, Brussels, 2003.
- EUROPEAN STANDARD. EN 317. Determination of swelling in thickness after immersion in water. CEN, Brussels, 2002.
- EUROPEAN STANDARD. Determinação da resistência à tração perpendicular às faces da placa. EN 319. CEN, Portugal, 2002.
- EUROPEAN STANDARD. EN 322. Determination of moisture content. Brussels, 2002.
- EUROPEAN STANDARD. EN 323. Determinação da massa volúmica. Portugal, 2002.
- GOUVEIA, F.N.; VITAL, B.R.; SANTANA, M.A.E. Avaliação de três tipos de estrutura de colchão e três níveis de resina fenólica na produção de chapas de partículas orientadas – OSB. *Revista Árvore*, Viçosa, v.27, n.3, p.365-370, 2003.
- IWAKIRI, S.; MANHIÇA, A.A.; PARCHEN, C.F.A.; CIT, E.J.; TRIANOSKI, R. Use of from *Pinus caribaea* var. *caribaea* and *Pinus caribaea* var. *bahamensis* for production of particleboards panels. *Cerne*, Lavras, v.16, n.2, p.193-198, 2010.
- IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: Fupref, 2005. 247 p.
- IWAKIRI, S.; SHIMIZU, J.; SILVA, J. C.; DEL MENEZZI, C. H. S.; PUEHRINGER, C. A.; VENSON, I.; LAROCA, C. Produção de painéis de Madeira aglomerada de *Grevillea robusta* A. Cunn. *Revista Árvore*, Viçosa, v.28, n.6, p.56-60, 2004.
- KELLY, M.W. **A Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboards**. Madison: U.S. For. Prod. Lab. General, 1977. 66p. Technical Report
- LIMA, C.; MORI, F.A.; MENDES, L.M.; CARNEIRO, A.C.O. Características anatômicas e química da madeira de clones de *Eucalyptus* e sua influência na colagem. *Cerne*, Lavras, v.13, n.2, p.123-129, 2007.
- MALONEY, T.M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing**. 2ed. São Francisco: Miller Freeman, 1993. 689 p.
- MELO, R.R.; DEL MENEZZI, C.H.S. Influência da massa específica nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados. *Silva Lusitana*, Lisboa, v.18, n.1, p.5-73, 2010.
- MOSLEMI, A.A. **Particleboard**. London: Southern Illinois University Press, 1974. 245p.
- NAUMANN, R.B.; VITAL, B.R.; CARNEIRO, A.C.O.; LUCIA, R.M.D.; SILVA, J.C.; CARVALHO, A.M.M.L.; COLLI, A. Propriedades de chapas fabricadas com partículas de madeira de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake e de *Schizolobium parahyba* Herb. *Revista Árvore*, Viçosa, v.32, n.6, p.1143-1150, 2008.
- SÁ, V.A. **Potencial da madeira de Cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem var. *australis*) na manufatura de produtos de maior valor agregado**. 2009. 82p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.
- SJÖSTRÖM, E. **Wood Chemistry fundamentals and applications**. New York. Academic Press, 1981. 223p.
- TORGOVNIKOV, G.I. **Dielectric properties of Wood and Wood-based materials**. New York: Springer Verlag, 1993, 196p.
- TRIANOSKI, R. **Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas de rápido crescimento para produção de painéis de madeira aglomerada**. 2010. 260p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.
- TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties and utilization**. New York: Thomson Learning, 1991. 494p.
- WU, Q. Application of Nelson's sorption isotherm to wood composites and overlays. *Wood and Fiber Science*, Pennsylvania, v.31, n.2, p.187-191, 1999.

Recebido em 05/17/2010

Aceito para publicação em 18/02/2011