

PRODUÇÃO DE PAINÉIS AGLOMERADOS COM MISTURAS DE SEIS ESPÉCIES DE MADEIRAS DA AMAZÔNIA E *Pinus taeda*

Setsuo Iwakiri^{1*}, Rosilani Trianoski¹, Claudete Catanhede do Nascimento², Rafael da Rosa Azambuja³, Samantha Rodrigues Campelo³, Rodrigo Scoczynski Ribeiro³

¹ Universidade Federal do Paraná - Departamento de Engenharia Florestal, Curitiba, Paraná, Brasil, setsuo@ufpr.br*; rosilani@ufpr.br

² Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - Departamento de Silvicultura Tropical, Manaus, Amazonas, Brasil, catanhed@inpa.gov.br

³ Universidade Federal do Paraná- Departamento de Engenharia Florestal, Curitiba, Paraná, Brasil, rafael.r.azambuja@gmail.com, samcampelo@hotmail.com, rsc0.ribeiro@gmail.com

Recebido para publicação: 14/04/2015 – Aceito para publicação: 20/02/2016.

Resumo

Este estudo teve como objetivo avaliar a qualidade de painéis aglomerados produzidos com misturas de seis espécies de madeiras tropicais da Amazônia e *Pinus taeda*. As espécies estudadas foram: *Eschweilera odora*, *Byrsonima crispa*, *Swartzia recurva*, *Eschweilera coriacea*, *Manilkara amazonica* e *Pouteria guianensis*. O plano experimental consistiu em mistura de três espécies tropicais e, mistura destas na proporção de 50% com *Pinus taeda*. Foram produzidos painéis experimentais com densidade nominal de 0,75 g/cm³, utilizando a resina uréia-formaldeído na proporção de 8% de sólidos - base peso seco das partículas. Os painéis foram prensados com pressão específica de 4,0 MPa, temperatura de 160 °C e tempo de prensagem de 8 minutos. Apesar das diferenças entre massa específica, teores de extractivos totais e pH das madeiras, além da razão de compactação dos painéis, não foram constatadas interações claras entre estas variáveis e as propriedades dos painéis aglomerados. Com base nas comparações com os requisitos normativos e resultados obtidos para a espécie referencial – *Pinus taeda*, pode-se afirmar que as seis espécies de madeiras tropicais estudadas apresentam potencial para produção de painéis aglomerados.

Palavras-chave: Espécies tropicais; mistura de espécies; resina uréia-formaldeído.

Abstract

Particleboard production with mixture of six wood species of the Amazonia and Pinus taeda. This study aimed to evaluate the quality of particleboard produced from the mixture of six wood species of the Amazon and *Pinus taeda*. The Amazonia wood species studied were: *Eschweilera odora*, *Byrsonima crispa*, *Swartzia recurva*, *Eschweilera coriacea*, *Manilkara amazonica* and *Pouteria guianensis*. The experimental design consisted of a mixture of three tropical species, in a proportion of 50% and *Pinus taeda*. Experimental panels were produced with 0.75 g/cm³ nominal density, using urea-formaldehyde resin at 8% based on solid dry weight of the particles. The panels were pressed with the following conditions: 4.0 MPa specific pressure, 160 °C temperature and a 8 minutes of pressing time. Despite the differences in density, extractives content and pH of the wood, besides of the board compression ratio, clear interactions between these variables and the properties of the particle boards were not found. Based on comparisons with standard requirements and results for the reference species - *Pinus taeda*, it can be concluded that the wood of six tropical species studied have potential for particleboard production.

Keywords: Tropical species; mixture of species; urea-formaldehyde resin.

INTRODUÇÃO

As principais indústrias de painéis aglomerados, no Brasil, estão instaladas nas regiões sul e sudeste, a fim de atender à demanda dos principais pólos moveleiros localizados nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. As florestas plantadas de *Pinus taeda* e eucalipto são as bases de suprimento de madeira para estas indústrias. Tendo em vista que as regiões norte e centro-oeste do país possuem extensas áreas de florestas tropicais nativas para processamento industrial, estudos devem ser realizados sobre a viabilidade de utilização de madeiras tropicais para produção de painéis aglomerados. O aproveitamento de resíduos provenientes do processamento primário e secundário da madeira, além de espécies pouco conhecidas comercialmente, pode ser uma alternativa interessante para instalação de pequenas fábricas de painéis aglomerados na região amazônica. Este tipo de iniciativa pode abrir perspectivas de instalação de pólos moveleiros na região, diminuindo a dependência de importação de móveis das regiões sul e sudeste do país a custos elevados.

Uma intensificação no uso da madeira como matéria-prima para fins industriais ou construtivos só pode ocorrer a partir do conhecimento adequado de suas propriedades, sejam elas físicas, químicas ou mecânicas. A madeira, por ser material orgânico, heterogêneo e composto basicamente de celulose, hemiceluloses, lignina e extrativos, apresenta enorme versatilidade de usos para obtenção de uma série de produtos (GONÇALVES *et al.*, 2009).

Vários estudos têm sido desenvolvidos para avaliar o potencial de espécies alternativas provenientes de florestas plantadas e de nativas para produção de painéis aglomerados. Iwakiri *et al.* (2012) estudaram a viabilidade de uso de resíduos de nove espécies de madeiras tropicais para produção de painéis aglomerados, obtendo resultados satisfatórios; Zeller *et al.* (2013) avaliaram as propriedades de painéis aglomerados produzidos com madeira *Schizolobium amazonicum* e *Cecropia* sp. e concluíram que ambas as espécies são adequadas para esta finalidade. Quanto às espécies alternativas de florestas plantadas, vários exemplos demonstraram potencial para produção de aglomerados, conforme relatados por Trianoski (2013a) para espécie *Cryptomeria japonica*; Trianoski (2013b) para espécie *Acrocarpus fraxinifolius*, e Trianoski (2014) para espécie *Toona ciliata*.

As propriedades anatômicas, físicas e químicas das diferentes espécies são parâmetros importantes na fabricação de produtos colados de madeira. Segundo Maloney (1993), as propriedades da madeira possuem forte influência na formação da ligação adesiva e, geralmente, as madeiras de folhosas apresentam mais dificuldades para colagem do que as de coníferas.

A escolha de espécies de madeira para produção de painéis aglomerados deve ser baseada em alguns parâmetros importantes como a densidade, pH e extrativos (MOSLEMI, 1974). A densidade da madeira é um dos requisitos básicos na escolha de espécies para produção de aglomerados, devido a sua influência na razão de compactação, que é a relação entre a densidade do painel e a densidade da madeira. Segundo os autores, a razão de compactação deve ser de no mínimo 1,3 para assegurar uma área de contato adequada entre as partículas para densificação suficiente do painel. Maloney (1993) afirma que, para painéis de mesma densidade, os que forem produzidos com madeira de baixa densidade, apresentarão propriedades mecânicas superiores, entretanto, a sua estabilidade dimensional será inferior. Segundo o autor, nos painéis com maior razão de compactação, há maior quantidade de partículas de madeira e, consequentemente, ocorrerá maior densificação do painel, resultando em maior inchamento higroscópico da madeira e liberação de maiores tensões de compressão geradas durante o processo de prensagem à alta temperatura. Moslemi (1974) afirma que as espécies com densidade de até 0,55 g/cm³ são as mais adequadas para produção de painéis de partículas de madeira, por atingirem uma razão de compactação entre 1,3 e 1,6. Numa pesquisa conduzida por Vital *et al.* (1974) sobre painéis aglomerados produzidos com *Virola* spp., de massa específica aparente de 0,43 g/cm³, o aumento na razão de compactação dos painéis de 1,2 (baixa) para 1,6 (alta), resultaram em aumentos significativos nos resultados de tração perpendicular e flexão estática (MOE e MOR).

Para viabilizar o uso de espécies de madeira de maior densidade, Moslemi (1974) sugere a mistura de espécies de maior e menor densidade para possibilitar o processo de colagem e formação do painel. A mistura de diferentes espécies na composição do painel aglomerado é muito importante no sentido de ampliar a oferta de matéria-prima para estas indústrias que requerem grandes volumes de madeira.

Com relação ao pH e extrativos da madeira, Moslemi (1974) afirma que estes parâmetros podem influenciar diretamente na cura da resina e, consequentemente, na qualidade dos painéis produzidos. O pH da madeira pode variar de 3,0 a 5,5. De acordo com Maloney (1993), madeiras com pH muito ácido podem causar a pré-cura da resina uréia-formaldeído durante a fase de fechamento da prensa, prejudicando o grau de adesão entre as partículas e reduzindo os valores das propriedades mecânicas dos painéis. Por outro lado, madeiras que apresentam pH pouco ácido requerem quantidade um pouco maior de catalisador para acelerar a cura da resina uréia-formaldeído. Quanto a influência dos extrativos na polimerização e cura do adesivo, Maloney (1993) afirma que madeiras com elevados teores de extrativos apresentam dificuldades de colagem resultando em baixa resistência da ligação adesiva entre as partículas.

Tendo em vista a necessidade de realização de mais estudos sobre o comportamento das espécies de madeiras da Amazônia na produção de painéis aglomerados, este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade de painéis aglomerados produzidos em misturas, com seis espécies de madeiras tropicais da Amazônia e *Pinus taeda*.

MATERIAL E MÉTODOS

Material

Foram utilizadas nesta pesquisa madeiras de *Eschweilera odora*, *Byrsonima crispa*, *Swartzia recurva*, *Eschweilera coriacea*, *Manilkara amazonica* e *Pouteria guianensis*, provenientes da Estação Experimental ZF-2 do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, localizada no município de Manaus, estado do Amazonas. A madeira de *Pinus taeda* foi empregada como base para comparações de resultados e em mistura com as espécies

de madeiras tropicais, tendo em vista ser a principal espécie empregada na produção industrial de painéis aglomerados no Brasil.

Para a produção de painéis aglomerados foi utilizada a resina ureia-formaldeído com teor de sólidos de 66,5%, pH 7,8 e viscosidade Brookfield de 742 cP. O sulfato de amônia foi utilizado com catalisador para cura da resina.

Determinação das propriedades da madeira

A massa específica básica das madeiras de seis espécies tropicais foi determinada a partir das amostras retiradas do material coletado para produção de painéis, com base nos procedimentos descritos na norma COMISSÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS (COPANT) 461 (1972). O teor de extrativos totais e o pH das espécies foram determinados a partir das partículas utilizadas na produção de painéis, com base nas normas NBR 14853:2002 e TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY (TAPPI) 252:2002, respectivamente.

Produção dos painéis aglomerados

Os painéis aglomerados foram produzidos, em laboratório, com a mistura de três espécies tropicais, e mistura destas na proporção de 50% com *Pinus taeda*, conforme o plano experimental apresentado na tabela 1. A escolha de três espécies para cada uma das misturas (MA1 e MA2) foi definida sem uma sistematização, na proporção de 1/6 por espécie.

As partículas de madeira foram geradas num picador de disco com as seguintes dimensões nominais: comprimento de 25 mm, espessura de 0,7 mm e largura variável. Após a secagem até 3% de umidade, as partículas foram reprocessadas no moinho de martelo e classificadas em peneira de malha 0,6 para retirada de “finos”.

A resina ureia-formaldeído catalisada com sulfato de amônia foi aplicada sobre as partículas em quantidade de 8% de sólidos em relação à sua massa seca. Foi aplicada também 1% de emulsão de parafina com objetivo de reduzir a absorção de água. Para a formação do colchão de partículas foi utilizada uma caixa formadora vazada com dimensões laterais de 50 cm x 38 cm. Os cálculos para definição de quantidade de materiais para formação de um painel foram feitos para densidade nominal de 0,75 g/cm³ e dimensões de 50 cm x 38 cm x 1,3 cm. Os painéis foram prensados à temperatura de 160 °C, pressão específica de 4,0 MPa e tempo de prensagem de 8 minutos. Foram produzidos quatro painéis por tratamento, perfazendo um total de vinte e quatro painéis experimentais.

Tabela 1. Plano experimental.

Table 1. Experimental design.

Tratamento	Espécies presentes na mistura
MA1	1/3 <i>Eschweilera coriacea</i> +1/3 <i>Manilkara amazonica</i> + 1/3 <i>Pouteria guianensis</i>
MA2	1/3 <i>Byrsinima crispa</i> + 1/3 <i>Eschweilera odora</i> + 1/3 <i>Swartzia recurva</i>
MA1+Pi	1/6 <i>Eschweilera coriacea</i> +1/6 <i>Manilkara amazonica</i> +1/6 <i>Pouteria guianensis</i> +1/2 <i>Pinus taeda</i>
MA2+Pi	1/6 <i>Byrsinima crispa</i> +1/6 <i>Eschweilera odora</i> +1/6 <i>Swartzia recurva</i> + 1/2 <i>Pinus taeda</i> .
Pi	<i>Pinus taeda</i>

MA1: mistura das espécies amazônicas 1; MA2: mistura das espécies amazônicas 2; Pi: *Pinus taeda*.

Após a prensagem, os painéis foram esquadrejados e acondicionados em câmara climática com temperatura de 20 ± 2 °C e umidade relativa de $65 \pm 3\%$, até sua estabilização à umidade média de 12%.

Para avaliação das propriedades físico-mecânicas foram retirados de cada painel cinco corpos-de-prova para ensaios de massa específica aparente, quatro para flexão estática, cinco para tração perpendicular, cinco para absorção de água e inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão em água e, seis para arrancamento de parafusos, três na superfície e três no topo. Os ensaios foram realizados de acordo com os procedimentos descritos nas normas europeias EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (EN) 323 (2003), EN 310 (2003), EN 319 (2003), EN 317 (2003) e NBR 14810-3:2006, respectivamente.

A análise estatística foi realizada segundo um delineamento inteiramente ao acaso e os resultados obtidos foram avaliados por meio de análise de variância e teste de Tukey ao nível de probabilidade de 95%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Propriedades da madeira

Na tabela 2 estão apresentados os valores médios de massa específica básica, teor de extrativos totais e pH da madeira das espécies estudadas.

A *Eschweilera odora* foi a espécie tropical que apresentou menor massa específica básica com 0,637 g/cm³ e a *Manilkara amazonica* a que apresentou maior valor médio com 0,841 g/cm³. As médias obtidas para todas as seis espécies foram bem superiores ao valor médio de massa específica básica do *Pinus taeda* de 0,450 g/cm³.

Os valores médios de teor de extrativos totais variaram de 3,16% para *Pouteria guianensis* a 9,24% para *Manilkara amazonica*. Com exceção das madeiras de *Pouteria guianensis* e *Byrsonima crispa*, as demais espécies tropicais apresentaram valores de extrativos totais bem superiores ao valor médio obtido para *Pinus taeda* de 3,37%. Prata (2010) obteve para *Pinus taeda* valor de extrativos totais de 3,48%. Almeida (2013) também encontrou altos valores de extrativos totais para quatro espécies de madeiras tropicais: Guajuvira (11,77%), Muiracatiara (11,90%), Jatobá (12,02%) e Ipê (13,02%).

Tabela 2. Propriedades da madeira das espécies.

Table 2. Properties of the wood species.

Espécie	ME _{básica} (g/cm ³)	Extrativos totais (%)	pH
<i>Byrsonima crispa</i>	0,689 (15,09%)	3,19 (3,07%)	5,35 (5,14%)
<i>Eschweilera coriacea</i>	0,748 (16,45%)	7,79 (4,26%)	4,91 (2,75%)
<i>Eschweilera odora</i>	0,637 (9,74%)	7,68 (9,08%)	5,00 (4,61%)
<i>Manilkara amazonica</i>	0,841 (9,92%)	9,24 (5,82%)	3,99 (6,90%)
<i>Pouteria guianensis</i>	0,738 (4,24%)	3,16 (7,36%)	6,16 (4,88%)
<i>Swartzia recurva</i>	0,749 (5,33%)	6,53 (5,29%)	5,18 (3,80%)
<i>Pinus taeda</i>	0,450 -	3,37 (6,12%)	4,58 (0,88%)

ME_{básica}: Massa específica básica; Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação.

Com relação ao pH, os valores médios variaram de 3,99 para *Manilkara amazonica* até 6,16 para *Pouteria guianensis*. Estes valores estão próximos dos limites mínimo e máximo de pH de 3,0 a 6,0 para espécies de madeira, conforme relatado por Moslemi (1974). A madeira de *Manilkara amazonica* apresentou pH abaixo do valor obtido para *Pinus taeda* de 4,58. Prata (2010) obteve para *Pinus taeda* pH de 4,7. Almeida (2013) encontrou para seis espécies comerciais de madeiras da Amazônia (Tauari, Amendoim, Guajuvira, Muiracatiara, Jatobá e Ipê) valores de pH de 4,53 a 5,90.

Massa específica e razão de compactação

Na tabela 3 estão apresentados os valores médios de massa específica básica da madeira com a mistura de espécies, massa específica aparente dos painéis e razão de compactação.

Tabela 3. Massa específica e razão de compactação dos painéis.

Table 3. Density and compression ratio of the panels.

Tratamento	ME _{misturas} (g/cm ³)	ME _{12%} (g/cm ³)	RC
MA1	0,773	0,746 a (7,06%)	0,96 e (6,86%)
MA2	0,692	0,742 ab (3,98%)	1,07 d (3,23%)
MA1+Pi	0,612	0,729 ab (4,75%)	1,19 c (5,04%)
MA2+Pi	0,571	0,726 b (4,38%)	1,27 b (5,02%)
Pi	0,450	0,695 c (5,61%)	1,54 a (5,74%)

MA1: mistura das espécies amazônicas 1; MA2: mistura das espécies amazônicas 2; Pi: *Pinus taeda*; ME_{12%}: Massa específica a 12% de umidade; RC: Razão de Compactação; Médias seguidas da mesma letra na mesma coluna são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade. Valores entre parêntese indicam o coeficiente de variação.

Os valores médios de massa específica dos painéis variaram de 0,695 g/cm³ (*Pinus taeda taeda taeda*) a 0,757 g/cm³ (*E. coriacea*, *M. amazonica* e *P. guianensis*). Os painéis de *Pinus taeda* apresentaram média estatisticamente inferior em relação aos demais tratamentos. Ocorreram pequenas variações entre os valores de massa específica aparente determinados para os painéis e o valor pré-determinado de 0,75 g/cm³. Tal resultado pode estar relacionado à perda de material durante a manufatura dos painéis e retorno em espessura após

prensagem a quente seguida de acondicionamento. A madeira de *Pinus taeda*, por ter menor massa específica, resultou em maior retorno em espessura após acondicionamento, o que pode ter sido um dos fatores que contribuiu para a redução na massa específica dos painéis.

A razão de compactação dos painéis variou entre 0,96 (*E. coriacea*, *M. amazonica* e *P. guianensis*) e 1,54 (*Pinus taeda*). Todos os painéis produzidos com as espécies tropicais, puras e em mistura com *Pinus taeda*, apresentaram razão de compactação abaixo de 1,3, valor considerado mínimo por Maloney (1993) e Moslemi (1974). A mistura das espécies tropicais com madeira de *Pinus taeda* elevou a razão de compactação, mas não o suficiente para atingir o valor mínimo de 1,3.

Propriedades físicas dos painéis

Na tabela 4 estão apresentados os valores médios de absorção de água e inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão em água.

Os valores médios de absorção de água variaram de 12,83% a 48,71% após 2 horas, e de 11,48% a 88,02% após 24 horas de imersão em água. Tanto para 2 horas, quanto para 24 horas de imersão em água, os painéis de *Pinus taeda* apresentaram médias superiores em relação aos demais tratamentos, sendo estatisticamente superior para 24 horas de imersão. Menor absorção de água foi obtida para painéis de *E. coriacea*, *M. amazonica* e *P. guianensis*. Pode-se constatar também que a inclusão da madeira de *Pinus taeda* na mistura com as espécies tropicais elevam os valores de absorção de água.

Tabela 4. Resultados médios das propriedades físicas dos painéis.

Table 4. Average results of the physical properties of the panels.

Tratamento	AA 2h (%)	AA 24h (%)	IE 2h (%)	IE 24h (%)
MA1	12,83 d (44,03%)	11,48 e (44,03%)	2,67 d (56,50%)	8,44 d (26,54%)
MA2	20,67 c (17,91%)	42,05 d (13,75%)	7,67 c (18,97%)	18,50 c (8,90%)
MA1+Pi	24,95 b (32,60%)	57,81 c (11,31%)	6,55 c (21,57%)	18,54 c (10,67%)
MA2+Pi	45,46 a (17,31%)	73,36 b (7,60%)	13,94 b (22,61%)	27,08 b (11,78%)
Pi	48,71 a (15,21%)	88,02 a (6,01%)	16,67 a (26,20%)	34,97 a (11,96%)

MA1: mistura das espécies amazônicas 1; MA2: mistura das espécies amazônicas 2; Pi: *Pinus taeda*; AA: Absorção de água; IE: Inchamento em espessura; Médias seguidas da mesma letra na mesma coluna são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade. Valores entre parêntese indicam o coeficiente de variação.

A menor massa específica da madeira de *Pinus taeda*, e seu efeito no aumento da razão de compactação dos painéis, não contribuiu para redução na absorção de água, conforme relatam Vital et al. (1974) que constataram uma redução na absorção de água com o aumento na razão de compactação dos painéis aglomerados de 1,2 para 1,6. Os autores atribuíram a esta redução a maior compactação das partículas de madeira e consequente bloqueio à entrada de água pela redução na porosidade dos painéis. Por outro lado, a maioria das espécies tropicais apresentaram altos teores de extrativos que pode ter contribuído para elevar o efeito hidrofóbico das partículas de madeira resultando em menor absorção de água dos painéis.

Os resultados obtidos nesta pesquisa foram satisfatórios quando comparados a algumas referências apresentadas na literatura. Naumann et al. (2008) encontraram para painéis aglomerados de *Eucalyptus urophylla* e *Schizolobium amazonicum*, valores médios de absorção 24 horas de 97,2% e 117,9%, respectivamente. Iwakiri et al. (1996) obtiveram para painéis aglomerados de *Pinus taeda* e *Eucalyptus dunnii*, valores médios de absorção de água 24 horas de 75,04% e 80,05%, respectivamente.

Os valores médios de inchamento em espessura variaram de 2,67% a 16,67% após 2 horas, e de 8,44% a 34,97% após 24 horas de imersão em água. Tanto para 2, quanto para 24 horas de imersão, os painéis de *Pinus taeda* apresentaram médias estatisticamente superiores em relação aos painéis produzidos com as espécies tropicais, puras e em mistura com *Pinus taeda*. Menor inchamento em espessura foi obtido para os painéis de *E. coriacea*, *M. amazonica* e *P. guianensis*. A mistura de espécies tropicais com o *Pinus taeda* elevam os valores de inchamento em espessura, tanto para 2, quanto para 24 horas de imersão.

O inchamento em espessura é uma propriedade importante que indica a estabilidade dimensional dos painéis aglomerados. Nesta pesquisa, constatou-se que os painéis de *Pinus taeda*, com maior razão de compactação, apresentaram inchamento em espessura superior em relação aos demais tratamentos com menor razão de compactação. Moslemi (1974) afirma que painéis com maior razão de compactação apresentam maior

inchamento em espessura, devido à maior liberação das tensões de compressão resultantes da prensagem, além do inchamento higroscópico da maior quantidade de partículas de madeira.

Os resultados obtidos nesta pesquisa são compatíveis em relação a alguns valores apresentados na literatura. Iwakiri *et al.* (1996) encontraram para painéis aglomerados de *Pinus taeda* e *Eucalyptus dunnii*, valores médios de inchamento em espessura 24 horas de 30,50% e 35,09%, respectivamente. Trianoski *et al.* (2011) obtiveram para painéis aglomerados produzidos com madeira de *Acrocarpus fraxinifolius*, *Melia azedarach* e *Toona ciliata*, valores médios de 24,58%, 17,79% e 16,78%, respectivamente.

Tanto para absorção de água, quanto para o inchamento em espessura, os resultados obtidos para as madeiras tropicais foram de grande relevância, tendo em vista que os valores obtidos para os painéis produzidos com a mistura destas espécies e, em mistura destas com o *Pinus taeda*, foram inferiores e, portanto, de melhor qualidade em comparação aos painéis testemunhas de *Pinus taeda*.

Propriedades mecânicas dos painéis

Na tabela 5 estão apresentados os valores médios de Tração Perpendicular (TP), Módulo de Ruptura (MOR), Módulo de Elasticidade (MOE), Resistência ao Arrancamento de Parafusos na Superfície (RAP-S) e topo (RAP-T) dos painéis.

Os valores médios de tração perpendicular variaram de 0,68 MPa a 0,90 MPa. Os painéis referentes aos tratamentos MA1 e MA2 apresentaram médias estatisticamente iguais entre si e superiores em relação aos painéis dos tratamentos MA1 + Pi e de painéis testemunhas de *Pinus taeda*.

A maior razão de compactação dos painéis de *Pinus taeda* não contribuiu para o aumento nos resultados de tração perpendicular, conforme relatado na literatura. Por outro lado, a maior razão de compactação está relacionada à maior área superficial das partículas e menor quantidade de adesivo por partícula, que pode ter influenciado na redução dos valores de tração perpendicular. Alto teor de extrativos totais e maior pH das madeiras de espécies tropicais não afetaram a adesão entre as partículas. Os resultados obtidos para todos os tratamentos propostos atenderam ao requisito mínimo de 0,35 MPa estabelecido pela Norma EN 312:2003 (2003).

Tabela 5. Resultados médios das propriedades mecânicas dos painéis.

Table 5. Average results of the mechanical properties of the panels.

Tratamento	TP (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	RAP-S (N)	RAP-T (N)
MA1	0,87 a (19,79%)	13 b (23,90%)	2.305 a (17,29%)	1.310 a (28,88%)	1.269 b (19,24%)
MA2	0,90 a (12,10%)	12 b (14,07%)	1.850 b (12,06%)	1.217 a (8,70%)	1.454 ab (11,59%)
MA1+Pi	0,75 b (15,08%)	15 a (9,94%)	2.207 ab (8,02%)	1.383 a (10,83%)	1.326 b (13,09%)
MA2+Pi	0,81 ab (7,09%)	14 ab (14,42%)	1.814 b (9,20%)	1.235 a (10,64%)	1.485 ab (14,48%)
Pi	0,68 b (14,85%)	16 a (13,78%)	2.124 b (9,95%)	1.378 a (11,74%)	1.536 a (11,95%)

MA1: mistura das espécies amazônicas 1; MA2: : mistura das espécies amazônicas 2; Pi: *Pinus taeda*; MOR: Módulo de ruptura a flexão estática; MOE: Módulo de elasticidade à flexão estática; TP: Tração perpendicular ao plano do painel; RAP: Resistência ao arranqueamento de parafuso, S-superfície, T-topo; Médias seguidas da mesma letra na mesma coluna são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade. Valores entre parêntese indicam o coeficiente de variação. Valores ajustados por análise de covariância para massas específicas aparentes de 0,725 g/cm³ (Flexão estática), 0,751 g/cm³ (Tração perpendicular), 0,720 g/cm³ (RAP).

Trianoski *et al.* (2011) encontraram para painéis aglomerados produzidos com madeira de *Acrocarpus fraxinifolius*, *Melia azedarach* e *Toona ciliata*, valores de tração perpendicular de 1,50 MPa, 1,88 MPa e 1,64 MPa, respectivamente. Colli *et al.* (2010), encontraram para painéis aglomerados produzidos com *Schizolobium amazonicum* valor médio de tração perpendicular de 0,22 MPa. Já, Vital *et al.* (1974) encontraram para painéis aglomerados de *Virola* spp., com razão de compactação de 1,2:1.0 (baixa) e 1,6:1.0 (alta), valores de 0,48 MPa e 0,65 MPa, respectivamente.

Os valores médios de módulo de ruptura variaram de 12 MPa a 16 MPa. Os painéis produzidos com madeiras de *E. coriacea*, *M. amazonica* e *P. guianensis*, e *B. crispa*, *E. odora* e *S. recurva*, ambos os grupos em mistura com 50% de *Pinus taeda*, apresentaram valor médio de MOR estatisticamente iguais em relação aos painéis puros de *Pinus taeda*. Entre os painéis produzidos com agrupamento de espécies tropicais (MA1, MA2), a mistura na proporção de 50% com madeira de *Pinus taeda* (MA1+Pi, MA2+Pi), resultou em aumento nos valores de MOR.

Para o Módulo de Elasticidade (MOE), os valores médios variaram de 2.305 MPa a 2.124 MPa. Os painéis de *E. coriacea*, *M. amazonica* e *P. guianensis* apresentaram média estatisticamente igual em relação aos painéis destas espécies em mistura com *Pinus taeda*, e superior em comparação aos demais tratamentos, inclusive aos painéis testemunhas de *Pinus taeda*.

Tanto para o MOR, quanto para o MOE, não foram constatadas efeitos significativos da densidade da madeira e da razão de compactação sobre os resultados destas propriedades, indicando a possibilidade de uso de espécies de maior densidade na produção de painéis aglomerados.

Com exceção dos painéis de *E. coriacea*, *M. amazonica* e *P. guianensis*, todas as demais espécies e mistura destas, apresentaram médias de MOR superiores ao requisito mínimo de 13 MPa, conforme estabelecido pela Norma EN 312:2003 (2003). Já, para o MOE, todos os tratamentos propostos apresentaram médias superiores ao requisito mínimo de 1.600 MPa, estabelecido pela referida Norma.

Os resultados de MOR e MOE obtidos neste trabalho foram satisfatórios quando comparados a alguns resultados apresentados na literatura. Naumann *et al.* (2008) encontraram para painéis aglomerados produzidos com madeira de *Eucalyptus urophylla* e *Schizolobium amazonicum*, valores de 4,26 MPa e 13,96 MPa para o MOR e de 696 MPa e 1.873 MPa para o MOE, respectivamente. Já, Trianoski *et al.* (2011), encontraram para painéis aglomerados produzidos com madeiras de *Acrocarpus fraxinifolius*, *Melia azedarach* e *Toona ciliata*, MOR médio de 18,19 MPa, 18,56 MPa e 19,83 MPa, e MOE médio de 2.134 MPa, 2.191 MPa e 2.427 MPa, respectivamente para as três espécies estudadas.

Os valores médios dos ensaios de resistência ao arrancamento de parafusos variaram de 1.217 N a 1.383 N para a superfície, e de 1.269 N a 1.536 N para o topo dos painéis. Para a RAP-S, não foram constatadas diferenças significativas entre os tratamentos, indicando que as diferentes razões de compactação dos painéis não afetaram esta propriedade. Para a RAP-T, não foram constatadas diferenças significativas entre os painéis produzidos com a mistura de espécies tropicais, e destas com a incorporação de madeira de *Pinus taeda taeda*. Os painéis produzidos com madeiras de *B. crispa*, *E. odora* e *S. recurva*, e mistura destas espécies com *Pinus taeda*, apresentaram médias estatisticamente iguais em relação aos painéis testemunhas de *Pinus taeda*.

Todos os tratamentos atenderam aos requisitos mínimos estabelecidos pela Norma NBR 14810-2:2006 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), 2006b), de 1.020 N para resistência ao arrancamento de parafusos na superfície e de 800 N para o topo dos painéis.

Os resultados obtidos neste trabalho estão próximos aos encontrados por Bianche (2009), para painéis produzidos com madeiras de *Eucalyptus urophylla*, *Schizolobium amazonicum* e *Sida spp.*, cujos valores variaram de 1.376 N a 1.027 N (superfície e topo). Trianoski (2010) obteve para painéis produzidos com madeiras de *Acrocarpus fraxinifolius*, *Grevillea robusta*, *Melia azedarach*, *Schizolobium parahyba* e *Toona ciliata*, valores de resistência ao arrancamento de parafusos na superfície e topo entre 1.005 N a 735 N.

CONCLUSÕES

- As madeiras amazônicas apresentam altos valores de massa específica básica e, portanto, resultaram em painéis de baixa razão de compactação.
- Apesar das diferenças em teor de extractivos e pH das espécies, não foi detectado seu efeito na tração perpendicular dos painéis produzidos com suas misturas.
- Os painéis produzidos com as espécies tropicais apresentaram melhores resultados de absorção de água e inchamento em espessura; os painéis de *E. coriacea*, *M. amazonica* e *P. guianensis* ou mistura destas espécies apresentaram melhor comportamento em relação às demais espécies.
- De maneira geral, os resultados de todas as propriedades mecânicas dos painéis produzidos com mistura de espécies tropicais em combinação ou não com madeira de *Pinus taeda* atenderam às normas de comercialização. Portanto, pode-se afirmar que as seis espécies de madeiras tropicais estudadas apresentam potencial para produção de painéis aglomerados.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos ao INCT/INPA/CNPq – Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia / Madeiras da Amazônia, pela concessão das madeiras utilizadas nesta pesquisa e ao apoio logístico e financeiro para a coleta e transporte do material até o local de estudo. À empresa Berneck painéis e serrados S.A., pela doação de partículas de *Pinus taeda* e adesivo utilizado nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, V. C. **Avaliação do potencial de uso de resíduos de madeira tropical para produção de painéis colados lateralmente – EGP.** 123 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14853:** Determinação do material solúvel em etanol: tolueno e em diclorometano. 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14810-3:** Chapas de madeira aglomerada – Parte 3 – Métodos de Ensaio. 2006.
- _____. **ABNT NBR-14810-2:** Chapas de madeira aglomerada – Parte 2 – requisitos. 2006.
- BIANCHE, J. J. **Propriedades de aglomerados fabricados com partículas de Eucalipto (*Eucalyptus urophylla*), Paricá (*Schizolobium amazonicum*) e Vassoura (*Sida spp.*)**. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 323:** Determination of board density. 2003.
- _____. **EN 317:** Determination of swelling in thickness after immersion in water board density. 2003.
- _____. **EN 310:** Wood based panels. Determination of modulus of elasticity in bending and bending strength. 2003.
- _____. **EN 319:** Determination of internal bond. 2003.
- _____. **EN 312:** Particleboards – Specifications. 2003.
- COLLI, A.; VITAL, B. R.; CARNEIRO, A. C. O.; SILVA, J. C.; CARVALHO A. N. M. L.; DELLA LUCIA, R. M. Propriedades de painéis produzidos com partículas de Madeira de Paricá (*Schizolonium amazonicum* Huber ex. Ducke) e fibras de coco, **Árvore**, v. 34, p. 333 - 338, 2010.
- COMISSÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **COPANT 461:** Determinación Del peso específico aparente. 1972.
- GONÇALVES, F. G.; OLIVEIRA, J.; LUCIA, R.; SARTÓRIO, R. Estudo de algumas propriedades mecânicas da madeira de híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis*, **Revista Árvore**, v. 33, p. 501 - 509, 2009.
- IWAKIRI, S.; LATORRACA, J. V. F.; SILVA, D. A.; GABARDO, J. L.; KLITZKE, R. J.; FOFANO, A.; FABROWSKI, F.; INTERANMENSE, M. T. Produção de chapas de Madeira aglomerada de *Pinus elliottii* (Engelm) and *Eucalyptus dunnii* (Maid). **Ciências Agrárias**, v. 15, p. 33 - 41, 1996.
- IWAKIRI, 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**, v. 42, p. 59 - 64, 2012.
- MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing.** San Francisco: M. Freeman, 1993, 689 p.
- MOSLEMI, A. A. **Particleboard.** London: Southern Illinois University Press, 1974, 245 p.
- NAUMANN, R. B.; VITAL, B. R.; CARNEIRO, A. C. O.; DELLA LUCIA, R. M.; SILVA, J. C.; CARVALHO, A. M. M. L.; COLLI, A. Propriedades de chapas fabricadas com partículas de Madeira de *Eucalyptus urophylla* S.T.Blae e de *Schizolobium amazonicum* Herb. **Árvore**, v. 32, p. 1143 - 1150, 2008.
- PRATA, J. G. **Estudo da viabilidade tecnológica do uso de espécies de *Pinus taeda* tropicais para produção de painéis colados lateralmente – EGP.** 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.
- TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI 252:** pH and electrical conductivity of hot water extracts of pulp, paper and paperboard. Atlanta, 2002.
- TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M. Potential use of planted fast-growing species for production of particleboard. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 23, p. 311 - 317, 2011.

TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; CHIES, D. Utilização da madeira de *Cryptomeria japonica* para produção de painéis aglomerados. **Scientia Forestalis**, v. 41, p. 057 - 064, 2013a.

TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; PRATA, J. G. Propriedades físicas e mecânicas de painéis de madeira aglomerada de *Acrocarpus fraxinifolius*, compostos com diferentes percentuais de casca. **Ciência Florestal**, v. 23, p. 761 - 765, 2013b.

TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M. Avaliação de painéis aglomerados de *Toona ciliata* produzidos com diferentes densidades e teores de resina. **Madera y Bosques**, v. 20, p. 47 - 56, 2014.

VITAL, B. R.; LEHMANN, W. F.; BOONE, R. S. How species and board densities affect properties of exotic hardwood particleboards. **Forest Products Journal**, v. 24, p. 37 - 45, 1974.

ZELLER, F.; BARBU, M. C.; IWAKIRI, S. Paricá (*Schizolobium amazonicum*) and embaúba (*Cecropia* sp.) as new raw materials for particleboards. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 71, p. 823 - 825, 2013.