

**PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE PAINÉIS AGLOMERADOS COM
Bambusa tuldooides E *Pinus taeda*
MECHANICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF PARTICLEBOARD WITH
Bambusa tuldooides AND *Pinus taeda***

Wesley Wilker Corrêa Morais¹ Clovis Roberto Haselein² Felipe Susin³ Magnos Alan Vivian⁴
Janice Bittencourt Facco Morais⁵

RESUMO

Este estudo investigou as propriedades físicas e mecânicas dos painéis aglomerados constituídos de bambu (*Bambusa tuldooides*) e pinus (*Pinus taeda*) e suas respectivas combinações. Para tanto, foram confeccionados painéis, definidos pelo uso de cada tipo de partícula (pura ou misturada), sendo estabelecidos 0, 25, 50, 75 e 100% de proporção em relação à massa seca, totalizando 15 painéis. Os ensaios físicos realizados foram: teor de umidade, massa específica observada, absorção d'água e inchamento em espessura; e os mecânicos foram flexão estática, arrancamento de parafusos e ligação interna. Os resultados obtidos foram submetidos ao teste de correlação simples e analisados por regressão. De modo geral, os painéis puros de pinus apresentaram melhores resultados que os painéis formados apenas por bambu. A inclusão de bambu prejudicou principalmente as propriedades mecânicas das chapas. Todos os painéis ficaram abaixo dos valores mínimos das normas para os ensaios físicos e mecânicos, com exceção do ensaio de tração, os painéis homogêneos de pinus obtiveram valores superiores aos padrões de comercialização.

Palavras-chave: chapas aglomeradas; ureia-formaldeído; bambu.

ABSTRACT

This study investigated the physical and mechanical properties of particleboards formed of bamboo (*Bambusa tuldooides*) and pine (*Pinus taeda*) and combinations between them. To this end, panels were made, defined by the use of each type of particle (pure or mixed), being set 0, 25, 50, 75 and 100% of proportion to the dry weight, total of 36 panels. The physical tests performed were the moisture content, mass density observed, absorption of water and swelling in thickness and the mechanics were static bending test, screw withdrawal test and internal bond. The results tested for simple correlation and regression analysis. In general, panels pure pine showed better results than just the panels formed by bamboo. The inclusion of bamboo decreases mainly the mechanical properties of panels. All panels were below the minimum standards for the physical and mechanical tests, only internal bond in panels of pine homogeneous had higher values than commercial standards.

Keywords: particleboard; urea-formaldehyde; bamboo.

1 Engenheiro Florestal, MSc., Professor do Curso de Engenharia Florestal, Universidade Estadual de Roraima, Rod. 210, Km 70, CEP 69375-000, São João da Baliza (RR), Brasil. wesley_eng@yahoo.com.br

2 Engenheiro Florestal, PhD., Professor Titular do Departamento de Ciências Florestais, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, CEP 97105-900, Santa Maria (RS), Brasil. clovis.haselein@smail.ufsm.br

3 Engenheiro Florestal, MSc., Professor substituto do Curso de Engenharia Florestal, Campus Alta Floresta, Universidade Estadual de Mato Grosso, Av. Perimetral Rogério Silva, s/n, Jardim Flamboyant, CEP 78580-000, Alta Floresta (MT), Brasil. felipets_86@yahoo.com.br

4 Engenheiro Florestal, MSc., Professor do Curso de Engenharia Florestal, Campus Curitibanos, Universidade Federal de Santa Catarina, Rod. Ulysses Gaboardi, Km 3, CEP 89520-000, Curitibanos (SC), Brasil. magnos.alan@ufsc.br

5 Acadêmica do Curso de Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Estadual de Roraima, Rod. 210, Km 70, CEP 69375-000, São João da Baliza (RR), Brasil. janicebittencourt@gmail.com

INTRODUÇÃO

Devido às exigências do mercado globalizado, os pesquisadores buscam novos materiais para a confecção de painéis aglomerados, que possam diminuir os custos de produção, os impactos ambientais e substituir com eficiência física e mecânica os painéis utilizados tradicionalmente. Segundo Melo et al. (2009), as chapas aglomeradas podem ser produzidas a partir de qualquer material lignocelulósico que lhes confira alta resistência mecânica e massa específica preestabelecida.

O bambu é uma alternativa, pois possui suas propriedades estruturais satisfatórias que são evidenciadas pelas relações resistência/massa específica e rigidez/massa específica (JANSSEN, 2000). Para Jaramillo (1992), o bambu é o recurso natural que leva menos tempo para ser renovado, não existindo espécie florestal que possa competir em velocidade de crescimento e aproveitamento por área. Pauli (1996) afirma que essa gramínea é um fixador de carbono, possui fibras longas, fortes e de elevada resistência mecânica produzidas com um mínimo de gasto energético possibilitando desenvolver todo um conglomerado industrial ao seu redor.

Em países como China, Nepal, Filipinas, o bambu é considerado como um dos meios alternativos para aumentar a produtividade agrícola, gerar emprego e estimular a indústria. Nestes países, o bambu tem sido objeto de pesquisas e desenvolvimento tecnológicos (CALEGARI et al., 2007) e seu uso não está restrito às formas naturais (colmos), sendo muito utilizado na fabricação de pisos e painéis laminados e seus derivados. No Brasil, o bambu é utilizado nas estruturas residenciais e em objetos em geral, aplicados na forma natural, vinculado às tradições indígenas e aos imigrantes orientais (MOIZES, 2007).

O bambu distribui-se em todo território nacional, sendo que as principais espécies são *Bambusa vulgaris* Schr., *Bambusa tuldooides*, *Dendrocalamus giganteus* e *Phyllostachys* sp. (VITAL; HASELEIN 1988). O potencial nacional do bambu, para o desenvolvimento de tecnologias, conservação e manejo, está relacionado à variedade de gêneros (34) e cerca de 230 espécies das quais 174 são consideradas endêmicas (FILGUEIRAS; GONÇALVES, 2004). Porém, todo o potencial dessa gramínea gigante não é aproveitado devido a uma resistência cultural à aceitação desse material como durável e confiável, além da ideia errônea de

associá-lo às obras temporárias e também à miséria e, assim, diminuindo o seu interesse científico e tecnológico (BERALDO e AZZINI, 2004).

Papadopoulos et al. (2004) e Arruda (2009) observaram que, de modo geral, painéis produzidos com bambu atingiram os valores mínimos exigidos para comercialização. Vital e Haselein (1988) analisaram as propriedades de chapas aglomeradas produzidas com partículas de embaúba (*Cecropia* sp.) e *Bambusa vulgaris*, misturadas em diferentes proporções com adesivo à base de ureia-formaldeído e somente as chapas produzidas apenas com bambu não atingiram os valores mínimos. Esse mesmo tratamento apresentou baixo valor de resistência à tração, mostrando que as partículas de bambu não se aderiram adequadamente. Entretanto, Hiziroglu et al. (2005) observaram melhores propriedades mecânicas, com destaque para as relacionadas à flexão, em painéis de partículas de *Dendrocalamus asper* e eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis*), produzidos nas proporções 50:50 e 100:0, respectivamente. A inclusão de palha de arroz também foi avaliada, mostrando-se significativamente prejudicial.

Almeida et al. (2008) estudando a fabricação de chapas aglomeradas de *Pinus* spp. misturadas com bambu (*Dendrocalamus giganteus*), em diferentes proporções e adesivo poliuretano à base de mamona a 10%, observaram que as partículas de pinus reduziram a densidade das chapas, em contrapartida, o bambu agregou ao produto final uma menor absorção de água. Entretanto, Arruda (2009) ao confeccionar chapas aglomeradas de *Pinus taeda* e bambu (*Guadua magna*), com proporções e adesivo fenolformaldeído a 10%, observou que a adição de pinus melhorou as propriedades mecânicas de MOE e MOR significativamente, mas não influenciou o inchamento em espessura, a absorção de água, o teor de umidade e o arrancamento de parafuso.

Nesse contexto, foram avaliadas as propriedades físicas e mecânicas dos painéis aglomerados constituídos por diferentes proporções de *Bambusa tuldooides* e *Pinus taeda*.

MATERIAL E MÉTODO

Obtenção das partículas

Para a realização deste trabalho foram utilizadas três árvores de *Pinus taeda* com 25 anos, 32,0 cm de diâmetro a altura do peito e 170 indivíduos de *Bambusa tuldooides* com três anos,

distribuídas em três touceiras, ambos procedentes de plantios homogêneos situados no município de Santa Maria - RS. Após o desbaste das árvores foram selecionadas as duas primeiras toras com 2,0 metros cada, no desdobra foram obtidas tábuas de 5,0 cm de espessura. As tábuas foram seccionadas em cortes perpendiculares à grã, originando blocos, que foram imersos em água por dez dias para facilitar a obtenção das lascas no *flaker* (Figura 1 A). Já os bambus foram seccionados transversalmente em varas de aproximadamente 1,7 m e longitudinalmente, obtendo lascas de 1,7 m de comprimento e largura inferior a 5,0 cm para facilitar o processo de trituração (Figura 1 B).

As lascas de pinus e bambu foram trituradas, separadamente, com o auxílio de um moinho de martelo. As partículas foram selecionadas em peneira de 1,0 mm x 1,0 mm, para retirada do pó, e em seguida por uma de 5,0 mm x 5,0 mm, as partículas que passaram foram utilizadas na confecção dos painéis. Das partículas selecionadas, foram retiradas 100 de cada espécie, de forma aleatória, para o cálculo do coeficiente de esbeltez (CE), representado pela relação entre o comprimento e a largura da partícula.

Produção dos painéis

As partículas peneiradas foram condicionadas em estufa a 50°C durante 24 horas, até alcançar umidade de equilíbrio de aproximadamente 3%, e quando necessário, procedia-se a adição de água para correção do teor de umidade das partículas. Os tratamentos avaliados

foram 5 proporções de bambu e pinus, 0-100, 25-75, 50-50,75-25 e 100-0%, respectivamente, com densidade nominal de 0,65 g/cm³ com 3 repetições por tratamento. Os painéis foram produzidos com 8% de adesivo (ureia-formaldeído) com base na massa seca das partículas. O adesivo e a água necessária para que o colchão atingisse 12% de umidade foram aplicados utilizando-se uma pistola de ar acionada por compressor de ar em um tambor rotativo. Da massa homogênea gerada, era retirada uma amostra para a determinação do teor de umidade, quando esta apresentava uma variação superior a ± 2 da estimada, o material era descartado e o processo repetido. Em seguida, a massa gerada foi pesada em balança de precisão e levada a um molde de madeira de 50 x 50 x 20 cm.

O colchão formado foi levado à prensa hidráulica ajustada em 30 Kgf/cm² de pressão específica com temperatura de 180°C e tempo de prensagem de 10 minutos, para promover a evaporação e a cura do adesivo. Após a prensagem, os painéis foram identificados, lixados e tiveram suas bordas aparadas, passando para as dimensões 49 cm x 49 cm x 0,95 cm. Essas foram dispostas em câmara climatizada (20°C e 65% de umidade relativa) até peso constante. Após a climatização, foram confeccionados corpos de prova para os ensaios físicos, mecânicos e novamente levados à câmara climatizada, onde permaneceram até o momento dos testes.

Ensaio e avaliação dos resultados

Para avaliação da qualidade dos painéis

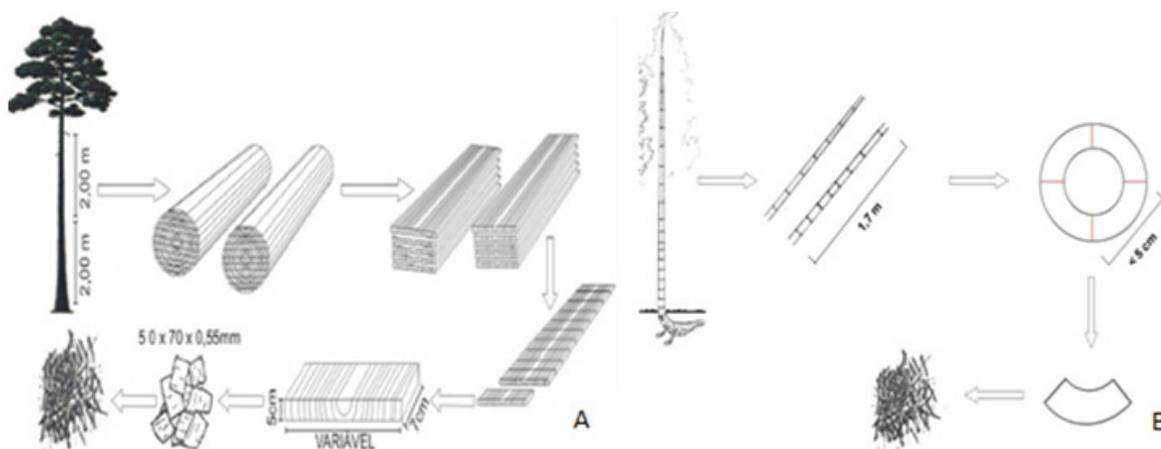


FIGURA 1: Metodologia para obtenção das partículas de pinus (A) adaptado de Melo et al. (2009) e bambu (B).

FIGURE 1: Methodology for obtaining particles of pine (A) adapted of Melo et al. (2009) and bamboo (B).

produzidos, foram realizados ensaios físicos (teor de umidade; massa específica; absorção d'água; inchamento em espessura) e mecânicos (flexão estática; arrancamento de parafusos e ligação interna), adotando as recomendações da norma ASTM D 1037 (1998).

Os obtidos valores nos ensaios físicos e mecânicos foram submetidos à verificação das condicionantes de regressão por meio do teste de Durbin Watson, para independência dos resíduos, teste de Watson, para normalidade dos dados e o teste de Bartlett, para homogeneidade de variância, ambos a 5% de probabilidade de erro. Para as variáveis de resposta que não atenderam às premissas das condicionantes de regressão foi necessário efetuar transformação matemática, nas quais foram utilizadas as funções matemáticas: logarítmica, raiz quadrada e 1/variável. Após a satisfação das condicionantes de regressão, os valores obtidos nos ensaios foram submetidos à análise de correlação simples de Pearson utilizando as seguintes variáveis: porcentagem de partícula de cada espécie, massa específica observada, teor de umidade (apenas para as propriedades físicas) e os resultados obtidos nos ensaios físico-mecânicos, separadamente.

Em seguida, as variáveis foram avaliadas por análise de regressão linear, em que o modelo máximo testado para os ensaios físicos foi elaborado com as variáveis: proporção de bambu (B%); proporção de bambu ao quadrado (B%²); massa específica observada no corpo de prova (ME_{ocp}); e para os ensaios mecânicos as variáveis foram proporção de bambu (B%); proporção de bambu ao quadrado (B%²); massa específica observada no corpo de prova (ME_{ocp}). As variáveis foram submetidas à análise utilizando-se o método *stepwise*, através do qual foi selecionado o modelo com maior coeficiente de determinação ajustado e o menor CP de Mallows. O CP de Mallows tem por objetivo avaliar o ajuste de um modelo de regressão que foi estimado usando-se o método dos mínimos quadrados ordinários. O modelo selecionado foi utilizado para análise de regressão, quando o modelo selecionado continha a variável ME_{ocp} foi utilizada sua média.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características das partículas e painéis

Os dados obtidos nos ensaios físicos

e mecânicos atenderam às premissas das condicionantes de regressão, sendo assim, não houve necessidade de transformação dos dados.

A massa específica básica do bambu e pinus foi 0,456 e 0,519 g/cm³, respectivamente. Azzini et al. (1988) ao estudarem vinte e uma progêneses de *Bambusa tuldoides* encontraram para a massa específica valores variando de 0,407 a 0,712 g/cm³ e os valores observados no presente trabalho pertencem a esta faixa de variação. O mesmo ocorreu com Oliveira et al. (2006) que encontraram valores entre 0,430 e 0,560 g/cm³ para *Pinus taeda* com 9 e 20 anos. O teor de umidade das partículas, após a secagem de 24 horas a 50°C, variou de 2,23 a 2,86% sendo necessária a adição de água para a correção da umidade para 3%.

O coeficiente de esbeltez médio observado por espécie foi de 28,18 para o bambu e de 9,51 para o pinus. Nota-se que a geometria das partículas de bambu foi distinta das de pinus, fato que pode ser explicado, conforme Matos Júnior (2004), pelo formato da fibra dos bambus, que geralmente são longas e estreitas. De acordo com Vital et al. (1992), partículas longas e finas (esbeltas) produzem painéis com maior resistência à flexão estática e maior estabilidade dimensional e partículas curtas e espessas aumentam a resistência à tração perpendicular.

A massa específica nominal dos painéis (ME_{np}) foi de 0,650 g/cm³; entretanto, foram observados valores variando entre 0,643 e 0,652 g/cm³. Já o teor de umidade do colchão (TU_c) foi preestabelecido em 12%; entretanto, os valores observados oscilaram entre 12,46 e 12,82% (Tabela 1). Vários fatores podem ter contribuído para a variação da massa específica observada no painel (ME_{op}) e do TU_c; entre eles, a diferença de umidade entre as partículas ao serem retiradas da estufa, as pequenas parcelas aplicadas de água, adesivo e as perdas no processo de fabricação.

Propriedades físicas

Na Tabela 2 observa-se a matriz de correlação entre as características físicas dos corpos de prova, os resultados da absorção d'água e inchamento em espessura ambos após 2 e 24 horas.

As correlações significativas, importantes, com a AA2H e a AA24H, foram com a ME_{ocp}, ambos significativos em 1% de probabilidade de erro.

As correlações entre o TU_c e as

TABELA 1: Tratamentos, proporções das partículas, valores da massa específica observada no painel e o teor de umidade do colchão.

TABLE 1: Treatments, proportions of particles, observed value of the specific mass of panels and moisture content of particleboard.

Tratamento	Partículas		MEop (g/cm ³)	TUc (%)
	% B	% P		
T1	100	0	0,650	12,82
T2	75	25	0,643	12,69
T3	50	50	0,652	12,82
T4	25	75	0,652	12,46
T5	0	100	0,648	12,84

Em que: %B = porcentagem de bambu; %P = porcentagem de pinus; MEop = massa específica observada no painel; TUc = teor de umidade do colchão.

proporções das espécies apresentaram relações distintas, ou seja, o teor de umidade aumenta com a inclusão de partículas de bambu e decresce com a inclusão de partículas de pinus. Esse fato pode ser explicado por uma provável diferença entre o teor de umidade de equilíbrio das espécies, provavelmente o teor de umidade de equilíbrio do bambu seja maior do que da madeira de pinus. Neste estudo, o TUcp de bambu variou de 17 a 18% e da madeira de pinus de 12 a 14%.

A %B e a AA2H não apresentou correlação significativa, entretanto, apresentou a tendência de aumento da absorção com a inserção de bambu (Tabela 2). Para a comprovação dessas tendências, foi realizada a análise de regressão entre a AA2H e as proporções das espécies nos painéis.

Na Figura 2 (A) apresenta-se a análise de regressão entre a AA2H e a %B, que evidencia a tendência de uma parábola, e mostra que os melhores painéis foram os homogêneos (0% de

bambu e 100 de bambu). Com o aumento de bambu até 50%, houve o acréscimo da AA2H e, a partir deste ponto, a AA2H decresce. Segundo Xu e Suchsland (1991), esse comportamento de parábola e os valores obtidos podem ser explicados pela proximidade entre os teores de umidade de equilíbrio do pinus e bambu.

A média encontrada para o pinus foi de 89% para AA2H, Iwakiri et al. (2000), em painéis OSB da mesma espécie, fabricados com fenolformaldeído, obtiveram valores entre 50,58% e 75,86% para a AA2H. Já para Calegari et al. (2007), em painéis homogêneos de *Bambusa vulgaris* com adesivo à base de ureia-formaldeído, obtiveram 14% para a AA2H, valores inferiores ao obtido no presente estudo (91%), essa discrepância pode ser explicada pelo uso da emulsão de parafina. Del Menezzi et al. (1996) explicam que a parafina confere aos painéis aglomerados menor absorção de água e, conseqüentemente, menor inchamento

TABELA 2: Matriz de correlação simples de Pearson para os ensaios físicos.

TABLE 2: Pearson's simple correlation to physical testing.

	%B	MEocp	TUcp	AA2H	AA24H	IE2H
Meocp	-0,19ns	1				
Tucp	0,78**	-0,31*	1			
AA2H	0,16ns	-0,57**	0,10ns	1		
AA24H	0,08ns	-0,54**	0,06ns	0,84**	1	
IE2H	0,51**	0,31*	0,40**	-0,04ns	-0,04ns	1
IE24H	0,57**	0,26ns	0,42**	-0,08ns	-0,05ns	0,85**

Em que: %B = porcentagem de bambu; MEocp = massa específica observada no corpo de prova; TUcp = teor de umidade de equilíbrio do corpo de prova; AA2H e AA24H = absorção d'água após 2 e 24 horas; IE2H e IE24H = inchamento em espessura após 2 e 24 horas; **, * e ns = significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de correlação de Pearson.

em espessura, possibilitando, assim, que os painéis estejam de acordo com as normas.

Na Figura 2 (B) observa-se o modelo estimado para AA24H por meio das porcentagens de bambu, evidenciando-se a tendência de uma parábola, assim como na AA2H, foram os homogêneos (100% de bambu e 0% de pinus). Com o aumento de bambu até a porcentagem de 50%, houve o acréscimo da AA24H e, a partir deste ponto, a AA24H decresce. Assim, os painéis homogêneos de pinus foram os que apresentaram menores valores (101%). Iwakiri et al. (2010) encontraram valores inferiores de AA24H, entre 91% e 99%, para painéis de pinus. Calegari et al. (2007) encontraram 65% para a AA24H valor inferior ao obtido para os painéis de *Bambusa tuldoidea* (101%), corroborando com o resultado obtido para AA2H, assim é possível comprovar que a redução na absorção d'água obtida pelo uso da parafina é mantida durante 24 horas.

Além do uso da emulsão de parafina para melhorar o desempenho físico dos painéis, autores recomendam o uso de resíduos com pequenas dimensões para preencher os espaços vazios entre as partículas maiores (GONÇALVES et al., 2013), o gesso e o papel reciclado (HASELEIN et al., 2002) e compósitos de polietileno reciclado (REDIGHIERI e COSTA, 2008).

Os inchamentos em espessura após 2 e 24 horas (IE2H e IE24H) foram significativos ($p < 0,1$), para o teste de correlação simples, com a %B (51% e 57%, respectivamente). De acordo com a Tabela 2, o IE2H e IE24H apresentaram correlações inversas para o pinus, sendo que a sua inserção resulta na redução do IE.

A Figura 2 (A) representa o modelo estimado entre o IE2H e as porcentagens de bambu, na qual se observa que a pior combinação foi a de 50% de bambu e 50% de pinus. Já os melhores desempenhos foram dos painéis homogêneos de pinus (19%) e bambu (24%).

Na Figura 2 (B) observa-se o modelo estimado para IE24H através das porcentagens de bambu, nota-se que, com o aumento da proporção de bambu, ocorre um acréscimo no inchamento em espessura após 24 horas, exceto para os painéis homogêneos de bambu. Dessa forma, os painéis homogêneos de pinus foram os que apresentaram melhores valores. O valor médio de IE24H obtido para os painéis de pinus foi de 24%, sendo inferior ao encontrado no estudo de Iwakiri et al. (2010), no qual o valor médio foi de 27%, em chapas de *Pinus taeda* com 8% de ureia-formaldeído, sem adição da emulsão de parafina, massa específica 0,75 g/cm³ e prensagem durante 8 minutos.

A norma DIN 68761 estabelece que o IE24H seja de no máximo 15% (GERMAN STANDARDS COMMITTEE, 1961); constata-se, dessa forma, que todos os tratamentos constituídos por bambu e pinus estão com valores superiores ao estabelecido. No entanto, a norma ANSI 208.1 (1987) considera aceitável o percentual de até 35% de IE24H, atingido por todos os painéis confeccionados com bambu e pinus.

A MEocp influenciou de forma inversa a absorção de água após 2 (AA2H) e 24 horas (AA24H), com 57 e 54% de correlação, respectivamente. Na Figura 4 (A) e (B) observa-se o modelo estimado para a AA2H e AA24H por meio da MEocp; esse comportamento da curva foi

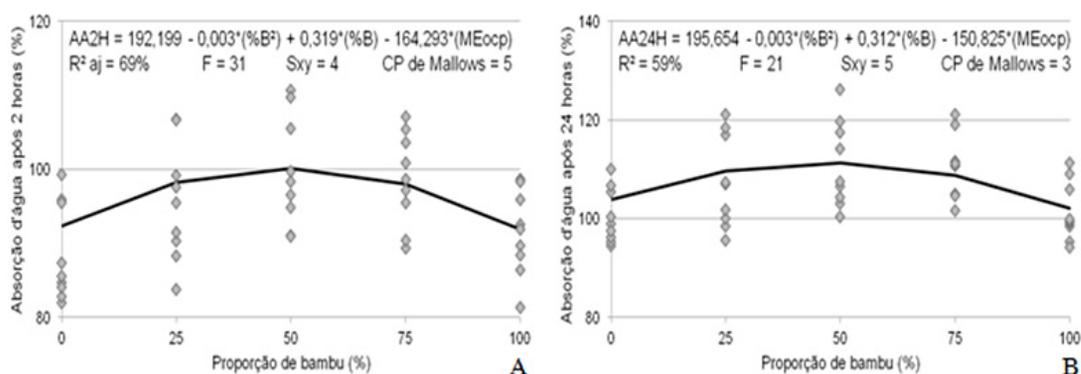


FIGURA 2: Modelo estimado para absorção d'água após 2 (A) e 24 horas (B) dos painéis fabricados com bambu e pinus.

FIGURE 2: Estimated model for absorption of water after two (A) and twenty four hours (B) of panels made with bamboo and pine.

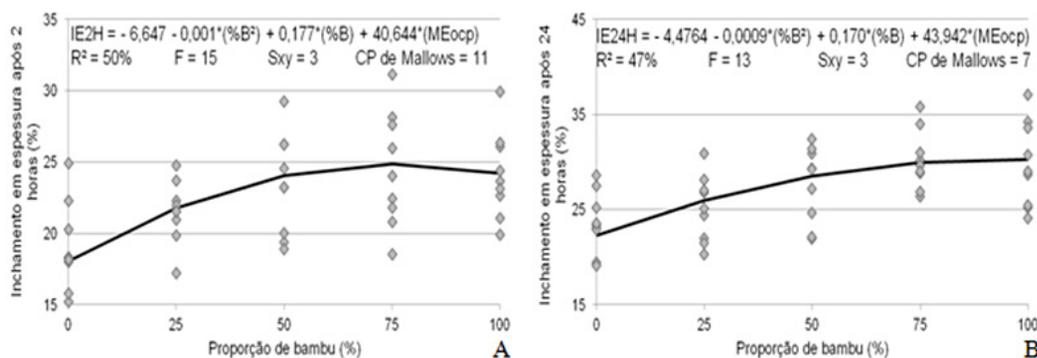


FIGURA 3: Modelo estimado para inchamento em espessura após 2 (A) e 24 horas (B) dos painéis fabricados com bambu e pinus.

FIGURE 3: Estimated model for swelling in thickness after two (A) and twenty four hours (B) of panels made with bamboo and pine.

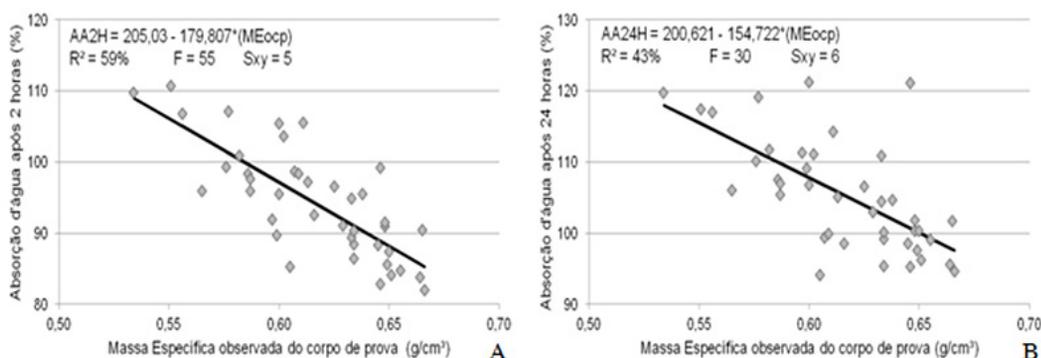


FIGURA 4: Absorção d'água após 2 (A) e 24 horas (B) em função da massa específica observada.

FIGURE 4: Water absorption after 2 (A) and 24 hours (B) as a function of observed density.

observado nos trabalhos de Dacosta et al. (2004) e Melo et al. (2009). Gonçalves et al. (2013) explicam que painéis que apresentam maior densidade possuem menor absorção de água, devido ao volume de madeira utilizada ser menor, o que deixaria mais espaços vazios, consequentemente não absorvendo a água.

Ao comparar-se o efeito da MEocp na AA e no IE, notam-se comportamentos distintos, visto que a massa específica do painel causou um decréscimo na AA e um aumento no IE com o aumento da MEocp (Figuras 5 (A) e (B)). O mesmo comportamento foi observado por Saldanha e Iwakiri (2009) e Melo e Del Menezzi (2010). Suchsland (1973) afirma que a explicação, em parte, é em razão da liberação das tensões geradas durante a prensagem dos painéis, à medida que a absorção de água acelera esse processo. Outra parte pode ser explicada, segundo Zhou (1990), em virtude

do maior número de partículas necessárias para confecção de painéis com maior massa específica e pelo aumento do número de sítios higroscópicos.

Propriedades mecânicas

Na Tabela 3 é apresentada a matriz de correlação entre as características mecânicas dos corpos de prova, os resultados dos ensaios de flexão estática, arrancamento de parafusos e tração. As correlações significativas dos módulos de ruptura (MOR) e de elasticidade (MOE) foram verificadas com a %B, MEocp, ambas significativas a 1% de probabilidade de erro, exceto para o MOE e a MEocp com 5% de probabilidade de erro.

De acordo com a Tabela 3, MOR e MOE apresentaram correlações inversas para a proporção de partículas de bambu e diretas para partículas da madeira de pinus, ou seja, com o incremento de

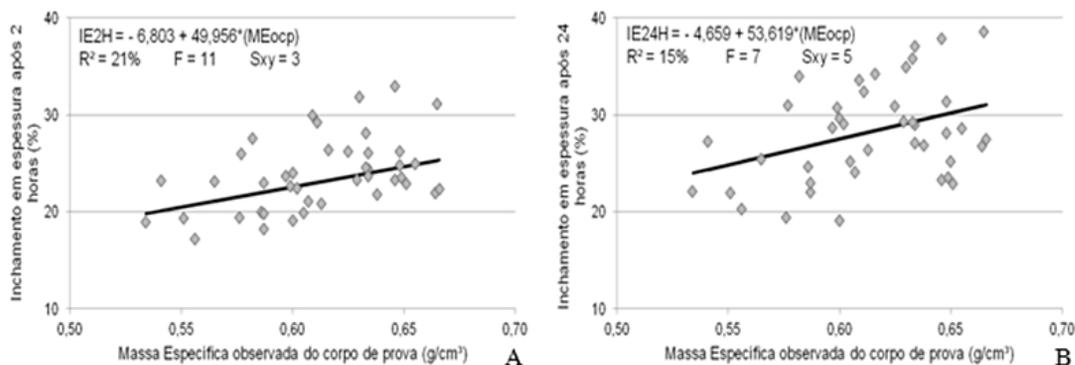


FIGURA 5: Relação entre o inchamento em espessura após 2 (A) e 24 horas (B) através da massa específica observada.

FIGURE 5: Relationship between the thickness swelling after two (A) and twenty four hours (B) as a function of density .

bambu nos painéis diminui o MOR e o MOE.

Na Figura 3 (A) é apresentado o modelo estimado entre o MOR e as porcentagens de bambu e pinus, em que se verifica que o pior desempenho foi observado para os painéis homogêneos de bambu. Entretanto, os melhores valores foram observados para os painéis homogêneos de pinus (10,70 MPa), contudo, os valores observados foram inferiores à norma americana de comercialização ANSI A 208.1 para painéis de média massa específica (0,60 a 0,85 g/cm³) do tipo 1, que admite como valor mínimo requerido 10,98 MPa para o MOR.

Em seu estudo, Iwakiri et al. (2010) encontraram valores superiores para o MOR (12,03 MPa) ao do presente estudo (10,70 MPa), em painéis de *Pinus taeda* com 8% de ureia-formaldeído, sem adição da emulsão de parafina, massa específica 0,75 g/cm³ e prensagem durante 8 minutos. Essa

diferença pode ser explicada devido à maior massa específica dos painéis, pois Saldanha e Iwakiri (2009) relatam que a massa específica exerce influência direta no MOR. Porém, Dacosta et al. (2004) encontraram valores menores para o MOR, através da confecção de painéis com dois tipos de resíduos de *Pinus elliottii* (cavaco e maravalha) com 8% de resina e obtiveram para o MOR dos cavacos de 6,44 a 8,17 MPa, maravalha de 9,02 a 9,41 MPa e a mistura de 50% de cada resíduo 7,50 a 8,03 MPa. No qual, segundo os mesmos autores, a presença de cascas pode ter diminuído os valores dos painéis com cavacos.

O modelo estimado para o MOE através das proporções de bambu e pinus foi representado na Figura 3 (B), verificando-se que, com o acréscimo de bambu nos painéis, menor é o MOE, sendo assim, os painéis homogêneos de pinus foram os

TABELA 3: Matriz de correlação simples de Pearson para os ensaios mecânicos.

TABLE 3: Pearson's simple correlation to mechanical testing.

	%B	MEocp	MOR	MOE	AP
MEocp	0,17ns	1			
MOR	-0,70**	0,25*	1		
MOE	-0,52**	0,32**	0,81**	1	
AP	-0,78**	0,07ns	0,83**	0,64**	1
LI	-0,48**	0,30*	-0,12ns	-0,09ns	-0,17ns

Em que: %B = porcentagem de bambu; %P = porcentagem de pinus; MEocp = massa específica observada do corpo de prova; MOR = módulo de ruptura; MOE = módulo de elasticidade; AP = arrancamento de parafuso; LI = ligação interna; **, * e ns = significativo em 1%, 5% e não significativo respectivamente, pelo teste de correlação de Pearson.

que obtiveram melhor desempenho com 1.321,84 MPa. Entretanto, os valores obtidos pelos painéis de pinus foram inferiores à norma americana de comercialização, pois a ANSI A 208.1 exige 1.725,97 MPa para o MOE em painéis de média massa específica do tipo 1.

Iwakiri et al. (2010), no trabalho anteriormente citado, utilizando painéis de *Pinus taeda* com massa específica 0,75 g/cm³, encontraram em média 1.886,61 MPa, valor superior ao do presente estudo, porém, deve-se considerar a provável influência da massa específica. Dacosta et al. (2004), utilizando painéis com dois tipos de resíduos de *Pinus elliottii* (cavaco e maravalha), obtiveram resultados inferiores para o módulo de elasticidade de 650 a 656 MPa (cavacos), 700 a 756 MPa (mistura 50% de cada resíduo) e 1050 a 1159 MPa (maravalha). Os autores ressaltam que as cascas presentes nos cavacos podem ter influenciado negativamente as propriedades mecânicas dos painéis.

Em painéis de *Bambusa vulgaris* com massa específica 0,60 g/cm³ e prensagem durante 8 minutos, Calegari et al. (2007) obtiveram para o MOR 12 MPa e MOE 2206 Mpa, resultados superiores aos obtidos nos painéis homogêneos de bambu 5 MPa e 748 MPa.

O arrancamento de parafuso (AP) apresentou correlação de 78% com a proporção de bambu ao nível de 1% de significância. De acordo com a Tabela 3, o AP apresentou correlação inversa para o bambu e direta para o pinus, ou seja, com o incremento de bambu nos painéis, diminui o AP, já com o pinus ocorre o aumento do AP.

Na Figura 7 (A) apresenta-se o modelo estimado entre o AP e a porcentagem de bambu,

comprovando-se a tendência observada na matriz de correlações. O desempenho dos painéis homogêneos de pinus (84,42 kgf) foi superior às combinações de bambu e pinus e dos homogêneos de bambu (52,25 kgf); entretanto, o valor mínimo requerido para a resistência ao arrancamento de parafusos, segundo a norma ANSI A 208.1 (1987), é de 102 kgf, exigência superior aos resultados obtidos.

Para o arrancamento de parafuso, Dacosta et al. (2004), em painéis constituídos por maravalha de *Pinus elliottii* massa específica de 0,60 e 0,70 g/cm³ com 8% de ureia-formaldeído, observaram 55 e 75 kgf, respectivamente, valores inferiores aos do presente estudo (84 kgf). Os autores salientam que a maravalha apresentou resultados menores do que os painéis similares feitos de partículas obtidas de madeira roliça. Isto sugere que houve deterioração ou enfraquecimento da madeira durante o processo de produção das maravalhas pelas plainas.

O estudo de Calegari et al. (2004) avaliou painéis de *Pinus elliottii* com 0,65 g/cm³ de massa específica e 10% de teor de adesivo e obteve 105 kgf, valor superior ao do presente estudo. Provavelmente o aumento do teor de adesivo pode ter incrementado o AP, fato observado por Colli et al. (2010) em seu estudo com painéis aglomerados de *Schyzolobium amazonicum* e fibras de *Cocos nucifera*. Para painéis de bambu com massa específica idêntica a utilizada nesse trabalho, Calegari et al. (2007) observaram 35 kgf para o AP, valor inferior ao presente estudo de 52 kgf.

Na Tabela 3 observa-se a matriz de correlação entre a LI com %B e a MEocp, na qual ambas foram significativas com a LI em 1 e 5% de

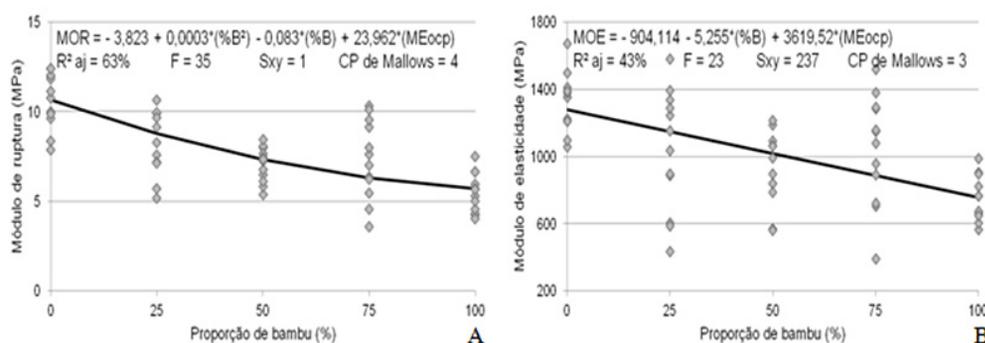


FIGURA 6: Modelo estimado para módulo de ruptura (A) e módulo de elasticidade (B) dos painéis fabricados com bambu e pinus.

FIGURE 6: Estimated model for modulus of rupture (A) and modulus of elasticity (B) of panels made with bamboo and pine.

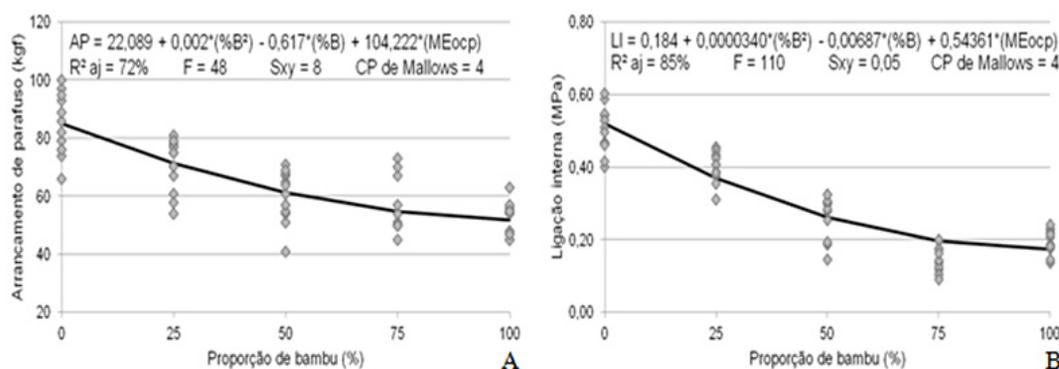


FIGURA 7: Modelo estimado para arrancamento de parafusos (A) e ligação interna (B) dos painéis fabricados com bambu e pinus.

FIGURE 7: Estimated model for screw withdrawal test (A) and internal bond (B) of panels made with bamboo and pine.

probabilidade de erro, respectivamente. A ligação interna foi significativa, para o teste de correlação simples, com o bambu (48%). De acordo com a Tabela 3, o ensaio de tração apresentou correlação direta para o pinus e inversa para o bambu, ou seja, com o incremento de pinus ocorre o aumento da LI, já com o aumento de bambu os painéis diminuem a LI.

Iwakiri et al. (2008) também verificaram correlações entre a massa específica e a resistência mecânica de chapas aglomeradas, com exceção da ligação interna que, dentre os parâmetros estudados, foi o único em que não se obteve correlação.

Na Figura 7 (B) nota-se o modelo estimado entre a LI e a %B, no qual se observa que com o aumento da proporção de bambu diminui a LI, exceto no caso dos painéis homogêneos de bambu, que apresentou valor médio superior ao do tratamento com 75% de bambu. Esse comportamento pode ser explicado pela incompatibilidade entre as espécies, já que os painéis fabricados apenas com bambu alcançaram valores superiores aos obtidos pela combinação de 75% de bambu e 25% de pinus. Porém, os melhores valores foram obtidos pelos painéis homogêneos de pinus (0,50 MPa), assim os valores observados foram superiores à norma americana de comercialização ANSI A 208.1, que admite como valor mínimo de 0,414 MPa para a LI.

Para a ligação interna, Iwakiri et al. (2010), em painéis de *Pinus taeda* com massa específica 0,75 g/cm³ e 8% de UF, encontraram média de 0,58 MPa, valor superior ao do presente estudo. Já

Dacosta et al. (2004), em painéis constituídos por maravalha de *Pinus elliottii* massa específica de 0,60 g/cm³ com 8% e 12% de ureia-formaldeído, observou 0,203 e 0,222 MPa, respectivamente, valores inferiores ao observado (0,50 MPa). Calegari et al. (2007), no trabalho anteriormente citado, utilizando painéis de *Bambusa vulgaris* com massa específica 0,60 g/cm³ e ureia-formaldeído, obtiveram 0,18 MPa para a LI, valor inferior ao observado (0,20 MPa).

Segundo Vital et al. (1992), partículas com maiores dimensões aumentam a eficiência do adesivo utilizado. Isso ocorre porque, para uma mesma massa de partículas, aquelas com maiores dimensões possuem menor área superficial e recebem maior quantidade de adesivo por unidade de área. Os autores acrescentam que partículas mais espessas melhoram as propriedades de tração perpendicular, comportamento observado ao se comparar os painéis homogêneos (bambu ou pinus) com o coeficiente de esbelte das partículas de cada espécie.

Arruda (2009) cita que painéis com menor IE têm contato mais próximo entre as partículas, o que proporciona um aumento na qualidade da adesão (LI), tendência também observada no presente estudo.

CONCLUSÃO

No ensaio de absorção d'água após 2 e 24 horas, os painéis de homogêneos de bambu apresentaram desempenho inferior aos painéis formados apenas por pinus.

Para o inchamento em espessura após 2 e 24 horas, os painéis de bambu obtiveram desempenho inferior aos painéis de pinus e abaixo da norma de comercialização ANSI 208.1.

Com relação à flexão estática, o módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE), apresentaram valores menores com incremento de bambu nos painéis de pinus. Os valores de MOR foram inferiores à norma ANSI A 208.1, inclusive no caso dos painéis homogêneos de pinus.

Os valores da resistência ao arrancamento de parafuso foram inferiores com o acréscimo de bambu nos painéis. O melhor desempenho foi obtido pelos painéis homogêneos de pinus, porém, o valor exigido pela norma ANSI A 208.1 (1987) é superior ao obtido.

Os painéis homogêneos de pinus foram superiores aos dos demais painéis na ligação interna, superando os valores mínimos da norma ANSI A 208.1. Já os demais painéis ficaram abaixo dos padrões de qualidade, apresentando baixa qualidade de colagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, A. L. A. et al. Avaliação das propriedades físicas das chapas homogêneas compostas de bambu e pinus utilizando resina poliuretana a base de mamona. In: XI ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2008, Londrina. **Anais...** Londrina: UEL, 2008, p. 25-25.
- AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE – ANSI-A-208.1-87. **Mat-formed wood particleboard**. New York, 1987.
- ARRUDA, L. M. **Propriedades de painéis aglomerados com resinas sintéticas a partir da mistura do bambu *Guadua magna* Londoño & Filgueiras e da madeira de *Pinus taeda* L.** 2009. 53f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade de Brasília, Brasília, 2009.
- AZZINI, A. et al. Densidade básica do colmo e fibras celulósicas em progênies de *Bambusa tuldooides* Munro. **Bragantia**, v. 47, n. 2, p. 239-246, 1988.
- BERALDO, A. L.; AZZINI, A.; **Bambu características e aplicações**. Rio Grande do Sul: Editora Agropecuária Ltda, Guaíba, 2004. p. 37-55.
- CABRAL, C. P. et al. Propriedades de chapas de aglomerado confeccionadas com misturas de partículas de *Eucalyptus spp* e *Pinus elliottii*. **Revista Árvore**, v. 31, n.5, p.897-905, 2007.
- CALEGARI, L. et al. Adição de aparas de papel reciclável na fabricação de chapas de madeira aglomerada. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.14, n.1, p.193-204, 2004.
- CALEGARI, L. et al. Desempenho físico-mecânico de painéis fabricados com bambu (*Bambusa vulgaris* Schr.) em combinação com madeira. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 1, p. 57-63, 2007.
- COLLI, A. et al. Propriedades de chapas fabricadas com partículas de madeira de Paricá (*Schyzolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) e fibras de Coco (*Cocos nucifera* L.). **Revista Árvore**, v.34, n.2, p.333-338, 2010.
- DACOSTA, L. P. E. et al. Qualidade das chapas de partículas aglomeradas fabricadas com resíduos do processamento mecânico da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 3, p. 311-322, 2005.
- DEL MENEZZI, C. H. S.; SOUZA, M. R.; GONÇALEZ, J. C. Fabricação e avaliação tecnológica da chapa aglomerada. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 20, n. 3, p. 371-379, 1996.
- FILGUEIRAS, T. S. e GONÇALVES, A. P. S. A Checklist of the basal grasses and bamboos in Brazil (*Poaceae*). **The Journal of the American Bamboo Society**, v.18, n.1, p. 7-18, 2004.
- GERMAN STANDARDS COMMITTEE. Deutschen Normenausschuss. **Specifications for particleboards**. Holtz, 1971. (DIN 68761 (1)-1961 (3)).
- GONÇALVES, D. S. et al. Utilização de resíduos sólidos na fabricação de chapas de partículas. **Revista Engevista**, v.15, n.2, p.148-158, 2013.
- HASELEIN, C. R. et al. Fabricação de chapas de partículas aglomeradas usando gesso como material cimentante. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 81-88, 2002.
- HIZIROGLU, S.; JARUSOMBUTI, S.; FUEANGVIVAT, V. Properties of bamboo-rice straw-eucalyptus composite panels. **Forest Products Journal**, Madison, v. 55, n. 12, p. 221-225, 2005.
- IWAKIRI, S. et al. Resíduos de serrarias na produção de painéis de madeira aglomerada de eucalipto. **Scientia Agraria**, Piracicaba, v. 1, n. 1-2, p. 23-28, 2000.
- IWAKIRI, S. et al. Influência da massa específica sobre a resistência mecânica de painéis aglomerados. **Floresta**, v.38, n.3, p.487-493, 2008.
- IWAKIRI, S. et al. Avaliação do potencial de utilização da madeira de *Schizolobium amazonicum* “Paricá” e *Cecropia hololeuca* “Embaúba” para produção de painéis aglomerados. **Revista Acta**

- Amazonica**, v. 40 n. 2, p. 303-308, 2010.
- JANSSEN, J. J. A. **Designing and building with bamboo**. International Network for Bamboo and Rattan (INBAR). Beijing, China: Technical report. n°. 20. 2000.
- JARAMILLO, S. V. La Gradua em los grandes proyectos de inversion. IN: CONGRESSO MUNDIAL DE BAMBU/GUADUA, I., 1992, Pereira. **Anais...** Pereira, 1992. 219 p.
- MATOS JUNIOR, S. M. S. **Bambus como recurso florestal: suas aplicações, manejo silvicultura, propagação, entomologia e a situação no DF**. 2004. 50f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal). Universidade de Brasília, Brasília, 2004.
- MELO, R. R. et al. Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de madeira e casca de arroz. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 449-460, 2009.
- MELO, R. R.; DEL MENEZZI, C. H. S. Influência da massa específica nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados. **Revista Silva Lusitana**, Lisboa, v. 18, n. 1, p. 59-73, 2010.
- MOIZÉS, F. A. **Painéis de Bambu, uso e aplicações: uma experiência didática nos cursos de Design em Bauru, SP**. 2007. 113 p. Dissertação (Mestrado em Desenho Industrial) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Bauru, 2007.
- OLIVEIRA, F. L. et al. Propriedades da madeira de *Pinus taeda* L. em função da idade e da posição radial na tora. **Revista Instituto Florestal**, São Paulo, v. 18, n. único, p. 59-70, dez. 2006.
- PAPADOPOULOS, A. N.; HILL, C. A. S.; GKARAVELI, A. Bamboo chips (*Bambusa vulgaris*) as an alternative lignocellulosic raw material for particleboard manufacture. **Holz Roh Werkstoff**, Berlim, v. 62, p. 36-39, Jan. 2004.
- PAULI, G. **Emissão Zero: A busca de novos paradigmas: o que os negócios podem oferecer à sociedade**. Editora da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul – EDIPUCRS, Porto Alegre, 1996, 312 p.
- REDIGHIERI, K. I.; COSTA, D. A. Compósitos de polietileno reciclado e partículas de madeira de reflorestamento tratadas com polietileno modificado. **Revista Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 18, n° 1, p. 5-11, 2008.
- SALDANHA, L. K.; IWAKIRI, S. Influência da densidade e do tipo de resina nas propriedades tecnológicas de painéis osb de *Pinus taeda* L. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 3, p. 571-576, 2009.
- SUCHSLAND, O. Higrscopic thickness swelling and related properties of selected commercial particleboard. **Forest Products Journal**, Madison, v.23, n.7, p.26-30, 1973.
- VITAL, B. R.; HASELEIN, C. R. Qualidade de chapas de aglomerado produzidas com embaúba (*Cecropia sp.*) e bambu (*Bambusa vulgaris*). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 12, n. 2, p. 134-145, 1988.
- VITAL, B. R.; HASELEIN, C. R.; DELLA LUCIA, R. M. Efeito da geometria das partículas nas propriedades dos painéis de madeira aglomerada de *Eucalyptus grandis* (Hill ex-Maiden). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 16, n. 1, p. 88-96, 1992.
- XU, H.; SUCHSLAND, O. The expansion potential: a new evaluator of the expansion behavior of wood composites. **Forest Products Journal**, v. 41, n. 6, p. 39-42, 1991.
- ZHOW, D. A study of oriented structural board made from hybrid poplar. Physical and mechanical properties of OSB. **Holz Roh Werkstoff**, Berlin, v. 48, n. 7-8, p. 293-296, 1990.