



## Propriedades físico-mecânicas de painéis multicamadas produzidos com partículas de coco babaçu e de *Pinus* sp.

### *Physical-mechanical properties of multilayer panels produced with particle of babassu coconut and Pinus sp.*

Nítalo André Farias Machado<sup>1\*</sup>, Hosana Aguiar Freitas de Andrade<sup>2</sup>, Marileia Barros Furtado<sup>3</sup>, Luisa Julieth Parra-Serrano<sup>4</sup>, Michelle de Oliveira Maia Parente<sup>5</sup>, Raíssa Rachel Salustriano da Silva-Matos<sup>6</sup>

**Resumo:** O resíduo proveniente do processo de extração da amêndoa do coco da palmeira de babaçu pode ser uma matéria-prima alternativa para o setor de painéis aglomerados no Brasil. Nesse sentido, objetivou-se com o presente trabalho investigar as propriedades físico-mecânicas de painéis particulados de multicamadas produzidos a partir de biomassa de epicarpo (EP) e endocarpo (EN) do coco babaçu (*Orbygnia phalerata* Mart), residuais do processo de extração do óleo das amêndoas de babaçu, associados ou não às partículas de maravalha de *Pinus* sp. (MP). Os fatores experimentais investigados consistiram nas proporções em massa de partículas secas de epicarpo, endocarpo e *Pinus* sp.: EP100 (100% EP); EP50P50 (50% EP associado à 50% MP); END100 (100% EN) e END50P50 (50% EN associado à 50% MP) aglutinados com resina poliuretana bicomponente à base de óleo de mamona com um teor de 12% na camada interna e 15% nas camadas externas, em função do peso seco das partículas. A pesquisa foi conduzida em delineamento inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e vinte repetições. A caracterização das propriedades físicas (densidade aparente, inchamento em espessura e absorção de água) e mecânicas (adesão interna, módulo de elasticidade e módulo de ruptura na flexão estática) foi realizada com base nas prescrições estabelecidas pela Norma Técnica NBR 14810. Os painéis produzidos com epicarpo de babaçu apresentaram resultados de propriedades físico-mecânicas superiores aos produzidos com endocarpo de babaçu, e que a inclusão de partículas da *Pinus* sp. acarretou em uma redução substancial da absorção de água e aumento nas propriedades mecânicas.

**Palavras-chave:** Novos produtos. *Orbygnia phalerata* Mart. Reforço fibroso. Resíduos. Sustentabilidade.

**Abstract:** The residue from the almond extraction process of the babassu coconut palm may be an alternative raw material for the particleboard sector in Brazil. In this sense, the objective was to investigate the physical-mechanical properties of multilayer panels produced from residual particles of epicarp (EP) and endocarp (EN) (*Orbygnia phalerata* Mart) obtained whit from the process of extracting babassu coconut almond oil, associates or not with wood particles of *Pinus* sp. (MP). The experimental factors investigated consisted of the mass proportions of dry particles of epicarp, endocarp and *Pinus* sp.: EP100 (100% EP); EP50P50 (50% EP associated with 50% MP); END100 (100% EN) and EP50P50 (50% EN associated with 50% MP), agglutinated with bi-component polyurethane resin castor oil base having a content of 12% in the inner layer and 15% in the outer layers, based on the dry weight of the particles. The research was conducted in a completely randomized design with four treatments and twenty replicates. The characterization of the physical properties (apparent density, swelling in thickness and water absorption) and mechanical properties (internal adhesion, modulus of elasticity and modulus of rupture in the static flexion) was carried out based on the calculation methods and prescriptions established by Technical Norm NBR 14810. The panels produced with the babassu particles present results of mechanical physical properties superior to those produced with the babassu endocarp and that the inclusion of particles of *Pinus* sp. there was a substantial reduction in water absorption and increase in mechanical properties.

**Key words:** New products. *Orbygnia phalerata* Mart. Fibrous reinforcement. Wastes. Sustainability.

\*Autor para correspondência

Enviado para publicação em 17/02/2017 e aprovado em 23/06/2017

<sup>1</sup>Engenheiro Agrônomo, mestrando em Ciência Animal pelo Centro de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Federal do Maranhão, BR 222, Km4, Boa Vista, CEP 65500-000, Chapadinha – MA, Brasil; Email: nitalo-farias@hotmail.com.

<sup>2</sup>Graduanda em Agronomia pelo Centro de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Federal do Maranhão. Email: hosana\_f.andrade@hotmail.com.

<sup>3</sup>Doutora em Agronomia, professora do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Federal do Maranhão. Chapadinha – MA, Brasil; Email: marileiafurtado@hotmail.com.

<sup>4</sup>Doutora em Recursos Florestais, professora do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Federal do Maranhão. Chapadinha – MA, Brasil; Email: julieth\_ps@yahoo.com.

<sup>5</sup>Doutora em Ciência Animal e Pastagens, professora do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Federal do Maranhão. Chapadinha – MA, Brasil; Email: michelle.parente@ufma.br

<sup>6</sup>Doutora em Agronomia, professora do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Federal do Maranhão. Chapadinha – MA, Brasil; Email: raissasalustriano@yahoo.com.br

## INTRODUÇÃO

Os painéis particulados comerciais no Brasil são produzidos a partir de partículas das espécies do gênero *Pinus* e *Eucalyptus*. Contudo, nas últimas décadas, a modernização dos parques de produção industrial proporcionou um aumento substancial da demanda por matéria-prima, tornando necessário o aumento de áreas de cultivo das espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* que sustentam o setor (BELINI *et al.*, 2014; FARRAPO *et al.*, 2014; CRAVO *et al.*, 2015; BALDIN *et al.*, 2016).

O uso de resíduos agroindustriais é apontado como uma das alternativas potenciais para suprir a necessidade de biomassa exigida na produção de painéis particulados (BELINI *et al.*, 2014). A utilização de resíduos lignocelulósicos é possível devido à similaridade química com as madeiras, em especial as madeiras duras, que possuem menor teor de lignina e maior teor de hemicelulose do tipo pentosanas (IWAKIRI *et al.*, 2004).

Assim, a utilização de resíduos lignocelulósicos vem sendo amplamente estudada como matéria prima alternativa de forma parcial ou integral de painéis particulados, como por exemplo: o bagaço da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) (FIORELLI *et al.*, 2011); a casca de amendoim (*Arachis hypogaea*) (GATANI *et al.*, 2013); partículas de bambu (*Bambuseae* Schrad. ex J.C. Wendl.) (BELINI *et al.*, 2014); partículas de capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) (BALDIN *et al.*, 2016) e partículas de *Grevillea robusta* (TRIANOSKI *et al.*, 2016).

O babaçu (*Orbygnia phalerata* Mart.) é uma das palmeiras brasileiras com maior relevância para a economia nacional, especialmente para os estados do Maranhão, Piauí e Tocantins (ALBEIRO *et al.*, 2011). Seu extrativismo é pautado na extração do óleo das amêndoas dos seus frutos, porém, nesse processo, é desprezado até 93% do fruto, correspondendo ao epicarpo (13%), mesocarpo (20%) e endocarpo (60%) (SOLER *et al.*, 2007; QUEIROGA *et al.*, 2015).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no ano de 2014, foram extraídas 77.955 toneladas de amêndoas de babaçu, resultando em, aproximadamente, 168.902 e 779.550 toneladas de epicarpo e endocarpo, respectivamente, utilizadas basicamente como biomassa para a produção de energia, na maioria das vezes, por meio da queima direta ou acumulado em “áreas de despejo”, agregando pouco valor aos resíduos (ALMEIDA *et al.*, 2002).

Estudos visando à utilização de partículas de epicarpo de babaçu na produção de painéis particulados demonstraram excelente desempenho mecânico (LIMA *et al.* 2006). No entanto, uma das características do resíduo do coco babaçu consiste em sua alta densidade (MACHADO *et al.* 2015), podendo comprometer a formação do colchão no processo de fabricação do painel. Portanto, uma das alternativas para o aproveitamento desse resíduo seria a mistura com espécies de menor massa específica, como partículas de *Pinus* sp.

Nessa perspectiva, a confecção de painéis particulados com resíduos de babaçu busca contribuir com a indústria de base florestal, bem como designar outra finalidade aos resíduos gerados com o processamento industrial (usinas) ou artesanal (associações de “quebradeiras de coco babaçu”). Mediante o exposto, objetivou-se com este trabalho avaliar as propriedades físico-mecânicas de painéis particulados à base de partículas residuais do coco babaçu reforçados ou não com partículas de *Pinus* sp., segundo as Normas Técnicas 14.810-2 (ABNT, 2006) e A208.1 (ANSI, 1993).

## MATERIAL E MÉTODOS

Para a produção dos painéis particulados experimentais foi utilizada biomassa residual do coco babaçu e maravalha de *Pinus* sp. O resíduo do coco babaçu é procedente de associações de “Quebradeiras de Coco Babaçu” no município de Vargem Grande – MA, sob as coordenadas 3° 32' 36" S e 43° 55' 6" W. Os resíduos de maravalha de *Pinus* sp. foram fornecidos por indústria moveleira localizada na região de Macatuba – SP, sob as coordenadas 22° 29' 58" S e 48° 43' 3" W.

A produção e caracterização das propriedades físico-mecânica dos painéis particulados experimentais foi realizada no Laboratório de Construções Rurais e Ambiente da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA), da Universidade de São Paulo (USP), Pirassununga, São Paulo, Brasil. Os painéis experimentais foram produzidos com dimensões nominais de 400 x 400 x 10 mm, em multicamadas, sendo duas camadas externas (com maior acabamento) e uma camada interna.

As etapas de produção seguiram as recomendações de Paes *et al.* (2011), detalhadas a seguir: o resíduo do coco babaçu foi dividido manualmente em partículas de epicarpo e endocarpo, que juntamente com as partículas de maravalha de *Pinus* sp. foram secas em temperatura ambiente e, em uma câmara de climatização dotada de sistema de controle de temperatura, pressão e umidade relativa, com volume útil de 14 m<sup>3</sup>, foram secadas até atingirem teor de umidade variando de 3 a 8%.

A picagem das partículas foi realizada em moinho de facas e classificados através de peneira vibratória com malhas de 8,0 mm e 4,0 mm e < 4,0 mm (coletor), obtendo partículas com classificação granulométrica de 8,0 > 4,0 mm (que foram utilizadas nas camadas internas dos painéis produzidos) e > 4,0 mm (utilizado nas camadas externas dos painéis produzidos). As partículas, já processadas, foram inseridas em um misturador planetário para homogeneização com a resina poliuretana bicomponente à base de óleo de mamona, fornecida pela empresa Plural Indústria e Comércio de Produtos Químicos. Foram utilizados teores de 12% e 15% de resina de mamona com base no peso seco das partículas, sendo uma dosagem de 15% nas camadas

internas e 12% na camada interna dos painéis. Não foi adicionada emulsão de parafina ou catalizador.

Após a mistura das partículas com a resina, o material foi inserido em um molde formador de painel, e o colchão resultante foi inserido em uma prensa termohidráulica a uma temperatura de 100 °C durante 10 minutos com pressão média de 5 MPa. Após a prensagem, os painéis produzidos foram armazenados em temperatura ambiente por 72 horas para que ocorresse a cura completa da resina.

O experimento foi conduzido em um delineamento inteiramente casualizado, com vinte repetições de desempenho físico-mecânico por tratamento. Os fatores experimentais investigados foram a proporção em massa de partículas secas residuais de epicarpo e endocarpo de babaçu e partículas de *Pinus sp.*: (1) EP<sub>100</sub>: 100% de partículas de epicarpo; (2) EP<sub>50</sub>P<sub>50</sub>: 50% de partículas de epicarpo associado à 50% de partículas de *Pinus sp.*; (3) END<sub>100</sub>: 100% de partículas de endocarpo e (4) END<sub>50</sub>P<sub>50</sub>: 50% de partículas de endocarpo associadas à 50% de partículas de *Pinus sp.*

A avaliação das propriedades físico-mecânicas dos painéis produzidos foi efetuada de acordo com os métodos, cálculos e prescrições dos ensaios de caracterização estabelecidas pela Norma Técnica NBR 14810 (ABNT, 2006), para painéis aglomerados de madeira, devido à semelhança do produto desenvolvido no presente estudo com um painel de partículas de madeira comercial.

Os ensaios de caracterização das propriedades físicas avaliadas foram: densidade aparente ( $\rho_a$ ), inchamento em espessura após 2 h (IE 2 h) e 24 h (IE 24 h) e absorção de água após 2 h (Abs 2 h) e 24 h (Abs 24 h). A ( $\rho_a$ ) foi mensurada em corpos de prova (CP's) com dimensões 50 x 50 x 14 mm por meio da relação entre a massa e o volume do CP's. Os ensaios de inchamento em espessura (IE 2 h e IE 24 h) e absorção de água (Abs 2 h e Abs 24 h) foram realizados em corpos de prova com dimensões de 25 x 25 x 14 mm, inseridos em um recipiente com água destilada a 20 °C, com nível da água 25 mm acima da superfície superior dos CP's.

O inchamento em espessura consiste na diferença da espessura antes e depois da imersão dos CP's em água. As medições foram realizadas usando um paquímetro digital com exatidão de 0,001 mm. A absorção de água consistiu na diferença de peso antes e depois da imersão dos CP's em água em um período de 2 e 24 horas. A pesagem foi efetuada em balança analítica com resolução de 0,001 g.

Os ensaios de caracterização das propriedades mecânicas foram: adesão interna (AI), módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE). O ensaio de AI foi realizado na máquina universal de ensaios (EMIC DL 30 toneladas) em condições de laboratório, utilizando CP's com dimensões de 50 x 50 x 10 mm. O MOR e MOE foram determinados por flexão estática a três pontos na máquina universal de ensaios, operando com célula de carga de 0,5

toneladas, velocidade de execução de 7 mm.min<sup>-1</sup> e a uma distância entre pontos de 200 mm. Foram utilizados CP's com dimensões de 250 x 50 x 14 mm. Os procedimentos de cálculos foram realizados de acordo com a Norma Técnica NBR 14810 (ABNT, 2006).

Com o intuito de auxiliar a compreensão e discussão dos resultados, as partículas utilizadas na pesquisa (epicarpo, endocarpo e *Pinus sp.*) foram submetidas a ensaios de avaliação das propriedades físico-químicas: densidade, potencial hidrogeniônico (pH), teor de extrativos, lignina, celulose e hemicelulose. Foram realizadas dez repetições por ensaio, sendo apresentados nos resultados o valor médio e o desvio padrão respectivo de cada ensaio.

A densidade foi obtida por picnometria, por meio de um Multi Picnômetro de gás hélio *Quantachrome Instruments* modelo MVP 5DC, com volume e massa conhecidos. O pH foi determinado pelo método do potenciômetro, utilizando pHmetro DM-23 composto por termopar e eletrodo tipo escoamento *Digimed* modelo DME-CV1. Os teores de extrativos foram obtidos pelo método de Soxhlet, conforme metodologia descrita pelo IAL (1985), que consiste basicamente em três etapas: extração da gordura da amostra com solvente, eliminação do solvente por evaporação e cálculo da gordura extraída. A determinação do teor de lignina, celulose e hemicelulose foi realizada segundo a metodologia descrita por Silva e Queiroz (2006).

De forma preliminar à análise de variância, foi realizado o teste de homogeneidade de variâncias (Teste de Bartlett, a 5% de significância) e de normalidade (Teste Shapiro-Wilk, a 5% de significância). Para as variáveis significativas pelo teste F, as médias foram comparadas pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Empregou-se o software Infostat®.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A densidade aparente ( $\rho_a$ ) não foi afetada pelos tratamentos (Tabela 1), apresentando média variando entre 913,2 kg m<sup>-3</sup> e 914,2 kg m<sup>-3</sup>, sendo, portanto, classificados com base na Norma Técnica A208.1 (ANSI, 1993) como painéis particulados de alta densidade. Os valores obtidos para todos os tratamentos estão acima do preconizado (551 a 750 kg m<sup>-3</sup>) pela Norma Técnica NBR 14810: 2006 (ABNT, 2006). Segundo Sartori *et al.* (2012), a importância dessa classificação reside em sua estreita ligação com os valores de inchamento em espessura, absorção de água, módulo de elasticidade, módulo de ruptura e adesão interna.

Os resultados obtidos de inchamento em espessura (IE) (Tabela 1) indicam que os tratamentos EP<sub>100</sub> e EP<sub>50</sub>P<sub>50</sub> foram semelhantes entre si e inferiores aos demais após 2 ou 24 h de submersão. Com os resultados obtidos no ensaio de absorção de água (AB) foi possível identificar o mesmo comportamento do ensaio de IE. Foi detectada diferença

**Tabela 1** - Resultados médios da caracterização das propriedades físicas: densidade aparente ( $\rho_a$ ), inchamento em espessura (IE) e absorção de água (Abs) em 2 e 24 horas em painéis produzidos com partículas residuais de epicarpo e endocarpo de babaçu e *Pinus* sp.

**Table 1** - Average results of characterization of physical properties: apparent density ( $\rho_a$ ), swelling in thickness (IE) and water absorption (Abs) in 2 and 24 hours in panels produced with residual epicarp and babassu endocarp and *Pinus* sp.

Tratamentos	$\rho_a$ (kg.m <sup>-3</sup> )	IE 2 h (%)	IE 24 h (%)	Abs 2 h (%)	Abs 24 h (%)
EP <sub>100</sub>	914,20 (cv: 1,20%)	11,40 a (cv: 8,90%)	46,20 a (cv: 3,30%)	30,12 b (cv: 8,40%)	76,15 b (cv: 5,10%)
EP <sub>50</sub> P <sub>5</sub>	913,22 (cv: 1,50%)	10,30 a (cv: 9,20%)	45,40 a (cv: 4,70%)	28,20 a (cv: 8,90%)	70,10 a (cv: 3,90%)
END <sub>100</sub>	913,30 (cv: 1,42%)	12,55 b (cv: 8,70%)	50,50 b (cv: 3,42%)	32,50 c (cv: 7,80%)	80,02 c (cv: 4,15%)
END <sub>50</sub> P <sub>50</sub>	913,90 (cv: 1,28%)	12,30 b (cv: 6,50%)	46,50 a (cv: 3,40%)	32,10 c (cv: 7,12%)	79,60 c (cv: 3,80%)
F	2,82 <sup>ns</sup>	12,06*	23,12*	11,73*	53,17*
Média	912,2	11,38	47,05	31,20	76,20
DMS	28,28	1,98	3,22	1,90	3,41
CV	1,71%	10,92%	3,78%	5,42%	6,31%

\*Médias seguidas de letras iguais em uma mesma coluna não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey a 95 % de probabilidade. Legenda: cv (coeficiente de variação), EP100 (epicarpo), EP50P50 (epicarpo associado a 50% de *Pinus* sp.), END100 (endocarpo) e END100P50 (endocarpo associado a 50% *Pinus* sp.).

\*Means followed by equal letters in the same column do not differ according to the Tukey test at 95% probability. EP100 (epicarp), EP50P50 (epicarp associated with 50% *Pinus* sp.), END100 (endocarp) and END100P50 (endocarp associated with 50% *Pinus* sp.).

( $p \leq 0,05$ ) entre os painéis de epicarpo (EP<sub>100</sub>) e endocarpo (END<sub>100</sub> e END<sub>50</sub>P<sub>50</sub>). No entanto, o tratamento EP<sub>50</sub>P<sub>50</sub> demonstrou-se estatisticamente superior aos demais.

Os valores limites de referência estipulados para o ensaio de IE pela Norma Técnica Europeia - EN (2003) e Brasileira - ABNT (2006) são 16 e 8%, respectivamente, após 2 h de submersão. A Norma Técnica Americana ANSI (1993) preconiza 8% após 2 h e 20% após 24 h de submersão. Todos os tratamentos atendem o requisito da Norma Técnica Europeia, porém, não atendem os requisitos das Normas Técnicas Brasileira e Americana.

A Norma Comercial Americana CS-236-66 (1968) estabelece para IE, após 24 horas de submersão, valores máximos de 35%. Nenhum dos tratamentos nesta pesquisa atendeu ao requisito. O que indica que as partículas que constituem os painéis produzidos não se encontram aderidas o suficiente para resistirem a imersão em água, como o reportado por Baldin *et al.* (2016) em painéis com partículas de capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees).

Na literatura, encontram-se resultados semelhantes em painéis particulados produzidos com partículas de *Pinus elliottii* e epicarpo de babaçu ao nível de incorporação de 30% utilizando resina à base de ureia-formaldeído, com valores médios de IE em 2 e 24 h de 32,10 e 37,86% e Abs em 2 e 24 h de 80,82 e 90,04%, respectivamente (LIMA

*et al.*, 2006), e em painéis particulados produzidos a partir de resíduos da casca de amendoim com resina de ureia-formaldeído, com valores de IE em 2 e 24 horas de 16 e 50% e Abs em 2 e 24 h de 29% e 70% (GATANI *et al.*, 2013).

Resultados semelhantes foram encontrados em painéis particulados comerciais produzidos a partir de partículas de *Pinus taeda* e resina de ureia-formaldeído; os autores constataram valores médios de IE em 2 e 24 h de 27,48 e 31,41%, Abs em 2 e 24 horas de 85,15 e 98,43%, respectivamente (TRIANOSKI *et al.*, 2016).

Todavia, os resultados obtidos nos ensaios de caracterização física revelam condições limitantes quanto à utilização dos resíduos de epicarpo e endocarpo do coco babaçu como matéria prima de painéis particulados. No entanto, segundo Fiorelli *et al.* (2011), a aplicação de impermeabilizantes como adesivos ou parafinas pode diminuir a absorção de moléculas de água, otimizando o desempenho físico de painéis particulados, por bloquear parcialmente os sítios de adsorção.

O tratamento térmico é outra alternativa para aprimorar a estabilidade dimensional dos painéis produzidos e potencializar os resultados de desempenho físico por reduzir a afinidade com água, uma vez que visa degradar a hemicelulose e liberar a tensão de compressão formada durante a prensagem (CARVALHO *et al.*, 2015).

É possível observar que a adição de partículas de endocarpo de babaçu proporcionou uma maior absorção de água e, conseqüentemente, maior IE nos painéis particulados, ( $END_{100}$  e  $END_{50}P_{50}$ ), diferindo estatisticamente dos tratamentos que continham partículas de epicarpo de babaçu ( $EP_{100}$  e  $EP_{50}P_{50}$ ). Exceto no ensaio de IE após 2 h de submersão, no qual não foi detectado diferença estatística com os painéis com matriz estrutural composta totalmente ou parcialmente de partículas de epicarpo (Tabela 1).

Os resultados obtidos nos ensaios de caracterização física (IE e Abs em 2 e 24 h) são atribuídos à menor superfície de contato e elevada porosidade das partículas endocarpo, o que aumenta os espaços vazios no sistema estrutural dos tratamentos  $END_{100}$  e  $END_{50}P_{50}$ , bem como fatores associados a composição química das partículas de endocarpo, especialmente ao alto teor de hemicelulose em sua parede celular (Tabela 2), o que aumenta sua higroscopicidade, elevando a taxa de penetração das moléculas de água nos espaços submicroscópicos entre

**Tabela 2** – Resultados médios e respectivos desvios padrão das análises físico-químicas: densidade, pH, teor de extrativos, lignina, celulose e hemicelulose das partículas de epicarpo e endocarpo de babaçu e *Pinus sp.*

*Table 2* - Mean results and respective standard deviations of the physic-chemical analyzes: density, pH, extractive content, lignin, cellulose and hemicellulose of the epicarp and babassu and *Pinus sp.*

Partículas	Características avaliadas					
	Densidade (kg.m <sup>-3</sup> )	pH	Extrativos (%)	Lignina (%)	Celulose (%)	Hemicelulose (%)
Epicarpo	μ 1363,12	μ 5,46	μ 1,10	μ 35,64	μ 32,28	μ 20,82
	σ 0,091	σ 0,031	σ 0,021	σ 0,870	σ 0,712	σ 0,340
Endocarpo	μ 1402,00	μ 6,06	μ 1,12	μ 36,57	μ 29,80	μ 25,720
	σ 0,034	σ 0,026	σ 0,023	σ 0,472	σ 0,250	σ 0,12
<i>Pinus sp.</i>	μ 495,00	μ 4,65	μ 3,34	μ 25,18	μ 53,04	μ 20,22
	σ 0,015	σ 0,022	σ 0,015	σ 0,368	σ 0,381	σ 0,253

\*Legenda: μ (valor médio) e σ (desvio padrão).

\*Legend: μ (mean value) and σ (standard deviation).

as microfibrilas. Influenciando, negativamente, a adesão entre as microfibrilas, refletindo em uma baixa razão de compactação (MELO, 2013).

Os resultados numericamente superiores (ensaio de EI em 2 h e Abs em 2 e 24 h) e estatisticamente superior (EI em 24 h) obtidos pelo tratamento  $END_{50}P_{50}$  em relação a  $END_{100}$  é justificado pela inclusão das partículas de *Pinus sp.* na proporção de 50% da matriz estrutural do tratamento  $END_{50}P_{50}$ . As partículas de *Pinus sp.* apresentam menor densidade (Tabela 2), o que aumenta o volume no processo de formação do colchão, facilitando a sua formação e prensagem das partículas para a obtenção do painel (BELINI *et al.*, 2014; FARRAPO *et al.*, 2014; PAES *et al.*, 2011; CRAVO *et al.*, 2015). Além disso, as partículas de *Pinus sp.* são menos porosas e apresentam menor percentual de hemicelulose em relação as partículas de endocarpo (Tabela 2), que constituía integralmente o tratamento  $END_{100}$ , assim, a inclusão de partículas de *Pinus sp.* promoveu diminuição da afinidade com a água do tratamento  $END_{50}P_{50}$ .

Os valores obtidos na caracterização mecânica dos painéis são apresentados na Tabela 3. Observa-se que para o módulo de ruptura (MOR) os tratamentos  $EP_{100}$  e  $EP_{50}P_{50}$  demonstraram-se superiores aos tratamentos  $END_{100}$

e  $END_{50}P_{50}$ . A incorporação de partículas de *Pinus ss.* na matriz estrutural do painel de partículas de endocarpo ( $END_{50}P_{50}$ ) proporcionou um aumento de 31,29% no MOR em relação ao tratamento constituído integralmente de partículas de endocarpo ( $END_{100}$ ).

Os valores limites de referência estipulados para o ensaio de MOR pela Norma Técnica Europeia - EN (2003) e Brasileira - ABNT (2006) são de 16% e 18%, respectivamente. Todos os tratamentos desta pesquisa atendem os requisitos das Normas Técnicas Europeia e Brasileira, especialmente  $EP_{100}$  e  $EP_{50}P_{50}$ , com valores médios de 32,95 e 34,50 MPa, respectivamente.

Os resultados obtidos nesta pesquisa corroboram com os encontrados por Machado *et al.* (2015) ao avaliarem o MOR de painéis particulados monocamada produzidos com fibra de babaçu utilizando resina de mamona e por Lima *et al.* (2006) quando avaliaram o MOR de painéis particulados de 70% de *Pinus sp.* e 30% de epicarpo de babaçu com resina de ureia-formaldeído, sendo, obtido pelas referidas pesquisas os valores médios de 35,81 e 20,03 MPa, respectivamente.

Resultados obtidos para MOR em painéis particulados produzidos com resíduos de madeira de espécies da

**Tabela 3** - Resultados médios da caracterização das propriedades mecânicas: módulo de ruptura (MOR), módulo de elasticidade (MOE) e adesão interna (AI) em painéis produzidos com partículas residuais de epicarpo e endocarpo de babaçu e *Pinus sp.*

**Table 3** - Mean results of the characterization of the mechanical properties: modulus of rupture (MOR), modulus of elasticity (MOE) and internal adhesion (AI) in panels produced with residual epicarp and babassu endocarp and *Pinus sp.*

Tratamentos	MOR (MPa)	MOE (MPa)	AI (MPa)
EP <sub>100</sub>	32,95 a (cv: 18,00%)	3655 a (cv: 12,00%)	1,52 b (cv: 0,72%)
EP <sub>50P<sub>5</sub></sub>	34,50 a (cv: 20,00%)	3680 a (cv: 14,00%)	1,63 a (cv: 1,02%)
END <sub>100</sub>	19,05 c (cv: 16,00%)	2370 c (cv: 20,00%)	1,16 d (cv: 0,900%)
END <sub>50P<sub>50</sub></sub>	25,00 b (cv: 15,00%)	2980 b (cv: 14,00%)	1,45 c (cv: 0,85%)
F	4,13	5,22	4,28
Média	28,68	2958	1,42
DMS	5,82	607,12	0,06
CV	18,92%	15,06%	1,20%

\*Médias seguidas de letras iguais em uma mesma coluna não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey a 95 % de probabilidade. Legenda: cv (coeficiente de variação), EP100 (epicarpo), EP50P50 (epicarpo associado a 50% de *Pinus sp.*), END100 (endocarpo) e END100P50 (endocarpo associado a 50% *Pinus sp.*).

\*Means followed by equal letters in the same column do not differ according to the Tukey test at 95% probability. EP100 (epicarp), EP50P50 (epicarp associated with 50% *Pinus sp.*), END100 (endocarp) and END100P50 (endocarp associated with 50% *Pinus sp.*).

Amazônia: Caucho (*Ecclinusa guianensis* Eyma), Copaíba (*Copaifera multijuga* Hayne), Louro (*Ocotea sp.*) e Virola (*Virola surinamensis* Rol. Warb) com 27,04; 23,05; 23,54 e 23,52 MPa, respectivamente (Iwakiri *et al.*, 2012), estão condizentes com os obtidos nesta pesquisa.

Portanto, os resultados obtidos nesta pesquisa estão compatíveis com os normativos nacionais e internacionais, bem como os valores obtidos para várias espécies de madeira na literatura, confirmando a potencialidade de desempenho tecnológico das partículas residuais do coco babaçu.

Quanto ao módulo de elasticidade (MOE), expresso na Tabela 3, os valores limites de referência estipulados pela Norma Técnica Europeia - EN (2003) e Americana ANSI (1993) são de 2300 e 2750 MPa. É possível identificar com base nos resultados obtidos para MOE, que todos os tratamentos desta pesquisa atendem os requisitos das Normas Técnicas Europeia e Brasileira, exceto END<sub>100</sub>

(composto integralmente de partículas de endocarpo de babaçu), que apresentou um valor médio de MOE de 2370 MPa, inferior ao preconizado pela Norma Técnica Americana.

Contudo, os resultados de MOE obtido em M3 neste estudo são satisfatórios em comparação aos dados apresentados na literatura. Trianoski *et al.* (2016) avaliaram painéis particulados produzidos a partir de partículas de *Pinus taeda*, constataram valor médio para MOE de 1751,47 MPa. Os mesmos autores produziram painéis particulados a partir de *Grevillea robusta* e constataram valor médio para MOE de 1773,01 MPa. Fiorelli *et al.* (2015) obtiveram para painéis particulados produzidos a partir da casca do coco verde (*Cocos nucifera*) um valor médio para MOE de 1662 MPa.

Fiorelli *et al.* (2011), avaliando as propriedades físico-mecânicas de painéis particulados à base de bagaço de cana-de-açúcar, um dos resíduos agrícolas mais promissores para utilização em painéis, identificaram valor médio de MOE inferior aos normativos, como o resultado na presente pesquisa no tratamento END<sub>100</sub>. Os mesmos autores indicam que o aumento na quantidade de matriz garante maior estabilidade dimensional e melhora a adesão entre as partículas, otimizando o desempenho dos painéis.

Em geral, os valores médios obtidos para MOE seguem o comportamento detectado para MOR, no qual o tratamento EP<sub>100</sub> constituído integralmente de partículas de epicarpo apresentou um desempenho mecânico mais satisfatório (valores médios mais elevados de MOR e MOE) em relação ao tratamento com partículas de endocarpo (END<sub>100</sub>), possivelmente devido as características anatômicas inerentes as partículas de endocarpo.

O endocarpo de babaçu apresenta células com características mais lenhosas, sendo extremamente duro e resistente, rico em feixes vasculares, fibras e parênquima de enchimento (MAY *et al.*, 1985; QUEIROGA *et al.*, 2015), condicionando partículas densas (Tabela 2). Também é importante destacar a elevada porosidade, que aumenta a taxa de Abs e, conseqüentemente, de IE do painel, como pode ser observado na Tabela 1, em que os tratamentos END<sub>100</sub> e END<sub>50P<sub>50</sub></sub> (com partículas de endocarpo) apresentaram maiores valores médios das referidas variáveis.

A alta densidade de partículas dificulta a obtenção de volume satisfatório para a formação do painel durante o processo de produção (IWARIKI *et al.*, 2004) e dificulta o processo de “cura da resina” devido ao maior sangramento da resina após a prensagem do painel gerando ligações adesivas mais fracas entre as partículas que compõem o sistema estrutural (ALBURQUERQUE; LATORRACA, 2000).

Nota-se, também, que a inclusão ao nível de 50% de partículas de *Pinus sp.* (EP<sub>50P<sub>50</sub></sub> e END<sub>50P<sub>50</sub></sub>) promove um incremento no desempenho mecânico, sem diferença estatística em relação ao tratamento composto integralmente

por partículas e epicarpo ( $EP_{100}$ ), mas estatisticamente significativo no tratamento composto integralmente por partículas de endocarpo de babaçu ( $END_{100}$ ).

O que pode ser justificado pelas características tecnológicas das partículas de *Pinus sp.*, tais como: fibras longas e densidade ideal (FARRAPO *et al.*, 2014; MORAIS *et al.*, 2015). Segundo Maloney (1993), a densidade do material é o grande responsável pelas propriedades finais dos painéis, densidades menores permitem a produção de painéis dentro do intervalo de densidade adequada e proporciona desempenho superior a espécies de densidade alta.

As partículas de *Pinus sp.* possuem, em média, menor densidade quando comparadas as partículas residuais de epicarpo e endocarpo de babaçu, otimizando a formação do “colchão” e prensagem dos painéis no processo de manufatura, devido ao maior volume do montante de partículas (Tabela 2). Vale destacar também a menor porosidade do sistema estrutural do painel devido a maior qualidade da prensagem, propiciando a formação de ligações adesivas mais fortes, tornando-o mais estável, ou seja, houve um incremento na estabilidade dimensional dos painéis com a inclusão de *Pinus sp.* (ALBURQUERQUE; LATORRACA, 2000; IWARIKI *et al.*, 2004, PAES *et al.*, 2011; BELINI *et al.*, 2014; FARRAPO *et al.*, 2014; TRIANOSKI *et al.*, 2016).

Quanto à adesão interna (AI), houve diferença significativa entre os tratamentos avaliados, porém, todos os tratamentos apresentaram valor médio superior ao preconizado pela Norma Técnica brasileira NBR 14810 (ABNT, 2006), que é de 0,40 MPa. O que implica dizer que há uma excelente adesão entre as partículas utilizadas na presente pesquisa, em outras palavras, por meio do ensaio de AI demonstrou-se que a resina poliuretana bicomponente à base de óleo de mamona é eficiente na adesão das partículas residuais de epicarpo e endocarpo babaçu, e corroborando com Paes *et al.* (2011), partículas de *Pinus sp.*

Vale salientar que nesta pesquisa utilizou-se a resina poliuretana bicomponente à base de óleo de mamona, um adesivo biodegradável, não poluente e originado de

insumos renováveis, em substituição aos adesivos sintéticos utilizados comercialmente (à base de uréia-formaldeído e fenol-formaldeído), que são tóxicos e extremamente prejudiciais à saúde humana, podendo causar dificuldade de respiração, enfisema pulmonar e em altas concentrações, câncer (CHIPANSKI, 2006; FIORELLI *et al.*, 2011; PAES *et al.*, 2011; BELINI *et al.*, 2014; FIORELLI *et al.*, 2015).

Os painéis produzidos nesta pesquisa são classificados como de alta densidade de categoria H2, indicados para uso industrial segundo a Norma Técnica ANSI A208.1 (ANSI, 1993), com aplicabilidade estrutural em divisórias, fôrmas de ambientes internos de residências, construções agrícolas, setor moveleiro, isolante térmico e decorativo no caso de uso para aplicações não estruturais. Nos próximos estudos, para produção de painéis particulados com características melhoradas, recomenda-se o uso de impermeabilizantes, ou o incremento de partículas como o bagaço-de-cana de açúcar juntamente às partículas de babaçu.

## CONCLUSÕES

É possível produzir painéis particulados a partir de partículas residuais de epicarpo e endocarpo do coco babaçu agregando valor em sua aplicabilidade, com propriedades mecânicas satisfatórias;

A adição de partículas de *Pinus sp.* na matriz estrutural dos painéis particulados produzidos com resíduos do coco babaçu promove um incremento no desempenho tecnológico destes.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA), à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo (USP/FZEA) e ao Centro de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Federal do Maranhão (UFMA/CCAA).

## LITERATURA CIENTÍFICA CITADA

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14810. Chapas de madeira aglomerada. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

ALBEIRO, D. MACIEL, A. J.S. GAMERO, C. A. Design and development of babassu (*Orbignya phalerata* Mart.) harvest for small farms in areas of forests transition of the Amazon. *Acta Amazônica*, v. 37, p. 57–68, 2011.

ALBUQUERQUE, C. E. C.; LATORRACA, J. V. F. Influência das características anatômicas da madeira na penetração e adesão de adesivos. *Floresta e Ambiente*, v. 7, p. 158-166, 2000.

ALMEIDA, R. R.; Del MENEZZI, C. H. S.; TEIXEIRA, D. E. Utilization of the coconut shell of babaçu (*Orbignya sp.*) to produce cementbonded particleboard. *Bioresource Technology*, v. 85, p. 159-163, 2002.

- ANSI - American National Standards Institute. **Particleboard. Mat-formed wood particleboard:** specification Ansi A208.1. National Particleboard Association, Gaithersburg. 1993.
- BALDIN, T.; SILVEIRA, A. G. da.; VIDRANO, B. R. A. CANCIAN, L. C.; SPATT, L. L.; HASELEIN, C. R. Qualidade de painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de madeira e capim-annoni. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 11, p. 230-237, 2016.
- BELINI, U. L.; SAVASTANO JUNIOR, H.; BARRERO, N. G.; SARTORI, D. L.; LEITE, M. K.; FIORELLI, J.; TOMAZELLO FILHO, M. Paineis multicamada com reforços de partículas de bambu. **Scientia Forestalis**, v. 42, p. 421-427, 2014.
- CARVALHO, A. G.; MENDES, R. F.; OLIVEIRA, S. L.; MENDES, L. M. Effect of Post-production Heat Treatment on Particleboard from Sugarcane Bagasse. **Materials Research**, v. 18, p. 78-84, 2015.
- CHIPANSKI, E. R. Proposição para melhoria do desempenho ambiental da indústria de aglomerado no Brasil. 2006. 193 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Commercial Standard. CS 236-66: mat formed wood particleboard. Geneva: CS, 1968.
- CRAVO, J. C. M.; SARTORI, D. L.; FIORELLI, J.; BALIEIRO, J. C. C.; SAVASTANO, J. Paineis aglomerado de resíduos agroindustriais. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 3, p. 721-730, 2015.
- EN - EUROPEAN STANDARD. EN 312. Particleboards: Specifications. British Standard. English version. Brussels. 2003.
- FARRAPO, C. L.; MENDES, R. F. GUIMARÃES JÚNIOR, J. B.; MENDES, L. M. Utilização da madeira de *Pterocarpus violaceus* na produção de painéis aglomerados. **Scientia Forestalis**, v. 42, p. 329-335, 2014.
- FIORELLI, J.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. O. R.; NASCIMENTO, M. F.; CURTOLO, D. D.; SARTORI, D. L.; BELINI, U. L. Painéis de partículas monocamadas fabricados com resíduo de madeira e fibra de coco verde. **Scientia Forestalis**, v. 43, p. 175-182, 2015.
- FIORELLI, J.; LAHR, F. A. R.; NASCIMENTO, M. F.; SAVASTANO, H.; ROSSIGNOLO, J. A. Painéis de partículas à base de bagaço de cana e resina de mamona – produção e propriedades. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 33, p. 401-406, 2011.
- GATANI, M.; FIORELLI, J.; MEDINA, J.; ARGUELO, R.; RUIZ, A.; NASCIMENTO, M. F.; SAVASTANO, H. Viabilidade técnica de produção e propriedades de painéis de partículas de casca de amendoim. **Revista Matéria**, v. 18, p. 1286-1293, 2013.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, **Produção da Extração Vegetal e Silvicultura**, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pevs/2015/default.shtm> Acesso em: 02 Out. 2016.
- Instituto Adolfo Lutz (IAL), (1985). Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz. Métodos químicos e físicos para análise de alimentos, v. 1. 3 eds. São Paulo.
- IWAKIRI, S.; SHIMIZU, J.; SILVA, J.C.; DEL MENEZZI, C. H. S.; PUEHRINGHER, C. A.; VENSON, I.; LARROCA, C. Produção de painéis de madeira aglomerada de *Grevillea robusta* A. Cunn. ex R. Br. **Revista Árvore**, v. 28, p. 883-887, 2004.
- IWAKIRI, S.; VIANEZ, B. S.; 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.
- LIMA, A. M.; VIDAURRE, G. B.; LIMA, R. M.; BRITO, O. E. Utilização de fibras (epicarpo) de babaçu como matéria prima alternativa na produção de chapas de madeira aglomerada. **Revista Árvore**, v. 30, p. 645-650. 2006.
- MACHADO, N. A. F.; KAWABATA, C. Y.; FIORELLI, J.; SAVASTANO, H. Babassu husk fiber particleboard. In: LAHR, F.O. R.; FIORELLI, J.; SAVASTANO, H. J. Non – Conventional Building Materials based on agro-industrial wastes. 1. ed. Bauru, SP: Editora Tiliform, 2015. Cap 9, p. 233-248.
- MALONEY, T. M. The family of wood composite materials. **Forest Products Journal**, v. 46, p. 19-26, 1996.
- MAY, P. H.; ANDERSON, A. B.; FRAZÃO, J. M. F.; BALICK, M. J. Babassu palm in the agroforestry systems in Brazil's mid-north region. **Agroforestry Systems**, v. 3, p. 275 – 295, 1985.
- MELO, R. R. Estabilidade dimensional de compósitos de madeira. **Ciência da Madeira**, v. 04, p. 152-175, 2013.
- MORAIS, W. W. C.; HASELEIN, C. R.; SUSIN, F.; VIVIAN, M. A.; MORAIS, J. B. F. propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados com *bambusa tuldoides* e *pinus taeda*. **Ciência Florestal**, v. 25, p. 1015-1026, 2015.

PAES, J. B.; NUNES, S. T.; LAHR, F. O. R.; NASCIMENTO, M. F.; LACERDA, R. M. A. Qualidade de chapas de partículas de *Pinus elliottii* coladas com resina poliuretana sob diferentes combinações de pressão e temperatura. **Ciência Florestal**, v. 21, p. 551-558, 2011.

QUEIROGA, V. P.; GIRÃO, E. G.; ARAÚJO, I. M. S.; GONDIM, T. M. S.; FREIRE, R. M. M.; VERAS, L. G. C. Composição centesimal de amêndoas de coco babaçu em quatro tempos de armazenamento. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 17, p. 207-213, 2015.

SARTORI, D. L.; CRAVO, J. C. M.; BARRERO, N. G.; FIORELLI, J.; SAVASTANO, H. J. Paineis em madeira de reflorestamento e chapas de partículas para instalações rurais. **Floresta e Ambiente**, v. 19, p. 171-178, 2012.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. Análise de alimentos. 1. Ed. Viçosa: DPS/UFV, 2006, 235p.

SOLER, M.P.; VITALI, A.A.; MUTO, E.F. Tecnologia de quebra do coco babaçu (*Orbignya speciosa*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, p. 717-722, 2007.

TRIANOSKI, R.; PICCARDI, A. B.; R.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; BONDUELLE, G. M. Incorporação de *Grevillea robusta* na Produção de Painéis Aglomerados de Pinus. **Floresta e Ambiente**, v. 23, p. 278-285, 2016.