



**LUIZA DE OLIVEIRA MENALI**

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO FÍSICO E MECÂNICO DE PAINÉIS  
AGLOMERADOS PRODUZIDOS COM ENDOCARPO DE *Acrocomia aculeata*.**

**LAVRAS - MG  
2020**

**LUISA DE OLIVEIRA MENALI**

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO FÍSICO E MECÂNICO DE PAINÉIS  
AGLOMERADOS PRODUZIDOS COM ENDOCARPO DE *Acrocomia aculeata*.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Federal de Lavras como parte das  
exigências do Curso de Engenharia Civil, para  
a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Saulo Rocha Ferreira  
Orientador

Msc. Uasmim Lira Zidanes  
Coorientadora

**LAVRAS - MG  
2020**

**LUISA DE OLIVEIRA MENALI**

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO FÍSICO E MECÂNICO DE PAINÉIS  
AGLOMERADOS PRODUZIDOS COM ENDOCARPO DE *Acrocomia aculeata*.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Federal de Lavras como parte das  
exigências do Curso de Engenharia Civil, para  
a obtenção do título de Bacharel.

APROVADO em 05 de junho de 2020.  
Prof. Dr. Saulo Rocha Ferreira, UFLA  
Prof. Dr. José Benedito Guimarães Junior, UFLA  
Msc. Douglas Lamounier Faria, UFLA  
Msc. M'hamed Yassin Rajiv da GLORIA, UFRJ  
Msc. Uasmim Lira Zidanes, UFLA



PROF. DR. SAULO R. FERREIRA  
UFLA/OEG  
SIAPE: 2331277  
☎ +55 35 3323-3117

Prof. Dr. Saulo Rocha Ferreira  
Orientador

Msc. Uasmim Lira Zidanes  
Coorientadora

**LAVRAS - MG  
2020**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, pela oportunidade que me foi dada, por guardar meus caminhos, por nunca me deixar sozinha, e por ser fonte de toda a minha força e persistência.

À minha mãe, Maria das Dores, por tudo que sou e pela confiança em mim depositada. Por fazer dos meus sonhos os seus e não medir esforços para que sejam alcançados. Pelas ligações de todas as horas, por sempre me ouvir e me acalmar.

Ao meu padrasto Arnaldo, e ao meu avô, Tote, por todo apoio e incentivo que me deram desde antes da faculdade, sem vocês nada seria possível.

Ao meu amor e amigo Alysson pela parceria, por inúmeras vezes acreditar mais em mim do que eu mesma, por nunca me deixar desistir e por sempre me ajudar no que fosse preciso.

Ao professor Saulo Rocha Ferreira pela atenção durante o período de Iniciação Científica e pelo auxílio em todas as etapas como orientador deste trabalho.

À minha coorientadora Uasmim Zidanes pela dedicação, empenho e compromisso em me ajudar no que fosse preciso durante o desenvolvimento deste trabalho e demais estudos realizados durante o período de Iniciação Científica.

Aos queridos Douglas, Mariana e Matheus pela ajuda e amizade, vocês foram imprescindíveis para a conclusão desse trabalho.

Ao grupo “civilizadas” pelas conversas, amizade e companheirismo durante toda a graduação.

A todos os professores que tive contato durante a graduação por serem fonte de inspiração profissional e não medirem esforços para que o curso de Engenharia Civil seja o melhor possível.

Ao Programa de Bolsas Institucionais de Iniciação Científica da Universidade Federal de Lavras, pela bolsa de estudos.

Muito obrigada!

*“Não se pode fazer o trabalho de hoje com métodos de ontem para estar no negócio amanhã.” (Jack Welch)*

## RESUMO GERAL

O crescimento da indústria de painéis de madeira reconstituída aliado as premissas da sustentabilidade promoveram um aumento da demanda por matérias primas lignocelulósicas alternativas. Nesse sentido, os resíduos florestais e agroindustriais são considerados uma solução viável para o desenvolvimento dessa indústria. Um desses resíduos é a palmeira Macaúba. O endocarpo de *Acrocomia aculeata* apresenta boa resistência mecânica, tendo poucas pesquisas sobre sua aplicação industrial. Diante disso, a pesquisa teve por objetivo avaliar a influência da substituição de partículas da madeira de *Pinus oocarpa* por partículas do endocarpo de *Acrocomia aculeata*, em diferentes proporções, nas propriedades físicas e mecânicas de painéis aglomerados. Foram realizadas análises Termogravimétrica (TGA), Espectroscopia Infravermelha com Transformada de Fourier (FTIR) e Difração de Raios-X (DRX) do endocarpo de *Acrocomia aculeata*. As matérias-primas foram caracterizadas quanto à constituição química e densidade básica. Os painéis foram produzidos com dimensões de 25x25x1,5cm e densidade nominal de 0,70 g/cm<sup>3</sup>, sendo avaliados cinco diferentes composições com 0, 25, 50, 60 e 75% de substituição de partículas do endocarpo de Macaúba no miolo do painel. A qualidade da ligação adesiva foi verificada pela microscopia eletrônica de varredura (MEV). A forma das partículas do endocarpo de macaúba foi determinada com auxílio do software Image J. Os resultados indicam que o endocarpo de *Acrocomia aculeata* possui baixo teor de extrativos, alto teor de lignina e elevada densidade quando comparado com a madeira de *Pinus oocarpa*. Todos os painéis produzidos se classificam como de baixa densidade. Os painéis aglomerados produzidos são indicados para usos não estruturais, como forros, divisórias, elementos decorativos e preenchimento de portas.

**Palavras-chave:** Macaúba. Endocarpo de *Acrocomia aculeata*. Matérias-primas alternativas. Painéis de madeira aglomerada. Material lignocelulósico.

## ABSTRACT

The growth of the wood panel industry reconstituted at the site as premises of sustainability promotes an increase in demand for alternative lignocellulosic raw materials. In this sense, forest and agro-industrial waste are considered a viable solution for the development of this industry. One such waste is the Macaúba palm. The endocarp of *Acrocomia aculeata* has good mechanical resistance, with little research on its industrial application. Therefore, a research aimed to evaluate the influence of the replacement of *Pinus oocarpa* wood by perforation of the *Acrocomia aculeata* endocarp, in different proportions, in the used and mechanical characteristics of the agglomerated panels. Thermogravimetric analysis (TGA), infrared spectroscopy with Fourier transform (FTIR) and X-ray diffraction (DRX) of the endocarp of the *Acrocomia aculeata* were performed. The raw materials were characterized in terms of chemical composition and basic density. The panels were selected with dimensions of 25x25x1.5cm and nominal density of 0.70 g / cm<sup>3</sup>, with five different compositions being applied with 0, 25, 50, 60 and 75% replacement of the fixation of the Macaúba endocarp on the instrument panel. The quality of the adhesive bond was verified by scanning electron microscopy (MEV). A way of selecting the endocarp of macaúba was determined with the aid of the software Image J. The results that the endocarp of *Acrocomia aculeata* has low content of extracts, high content of lignin and high density when used with wood *Pinus oocarpa*. All selected panels are classified as low density. The agglomerated panels are indicated for unselected uses, such as ceilings, partitions, decorative elements and door filling.

**Keywords:** Macaúba. Endocarp of Macaúba. Alternative raw materials. Chipboard panels. Lignocellulosic material.

## SUMÁRIO

	<b>PRIMEIRA PARTE- INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>9</b>
1	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
2	<b>REFENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>10</b>
2.1	<b>Painéis de madeira reconstituída .....</b>	<b>10</b>
2.1.1	<b>Painéis de madeira aglomerada.....</b>	<b>11</b>
2.2	<b>A indústria de painéis no Brasil .....</b>	<b>12</b>
2.3	<b>Painéis de resíduos lignocelulósicos .....</b>	<b>13</b>
2.4	<b>A espécie <i>Acrocomia aculeata</i> (Macaúba).....</b>	<b>14</b>
3	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>16</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>18</b>
	<b>SEGUNDA PARTE – ARTIGO – AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO FÍSICO E MECÂNICO DE PAINÉIS AGLOMERADOS PRODUZIDOS COM EDOCARPO DE <i>Acrocomia aculeata</i>.....</b>	<b>21</b>
1	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>23</b>
2	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>24</b>
2.1	<b>Materiais.....</b>	<b>24</b>
2.2	<b>Metodologia .....</b>	<b>25</b>
2.2.1	<b>Processamento da madeira de <i>Pinus oocarpa</i> e do endocarpo de <i>Acrocomia aculeata</i>. .....</b>	<b>25</b>
2.2.2	<b>Caracterização físico-química da madeira de <i>Pinus oocarpa</i> e do endocarpo de <i>Acrocomia aculeata</i> .....</b>	<b>25</b>
2.2.3	<b>Índice de Esbeltez das partículas do endocarpo de <i>Acrocomia aculeata</i> .....</b>	<b>26</b>
2.2.4	<b>Análise Termogravimétrica do endocarpo de <i>Acrocomia aculeata</i> (TGA).....</b>	<b>26</b>
2.2.5	<b>Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier Reflectância total atenuada (FTIR - ATR).....</b>	<b>26</b>
2.2.6	<b>Análise de Difratometria de raios-X (DRX) .....</b>	<b>27</b>
2.2.7	<b>Confecção dos painéis aglomerados .....</b>	<b>27</b>
2.2.8	<b>Análise das propriedades físicas e mecânicas dos painéis aglomerados.....</b>	<b>29</b>
2.2.9	<b>Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV – Painéis aglomerados.....</b>	<b>29</b>
2.2.10	<b>Delineamento Experimental .....</b>	<b>29</b>
3	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>30</b>

<b>3.1</b>	<b>Propriedades químicas e físicas da matéria-prima utilizada.....</b>	<b>30</b>
<b>3.2</b>	<b>Esbeltez das partículas do endocarpo de Macaúba .....</b>	<b>33</b>
<b>3.3</b>	<b>Análise Termogravimétrica do endocarpo de Macaúba .....</b>	<b>33</b>
<b>3.4</b>	<b>Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) do endocarpo de Macaúba .....</b>	<b>35</b>
<b>3.5</b>	<b>DRX do endocarpo de Macaúba .....</b>	<b>37</b>
<b>3.6</b>	<b>Propriedades físicas dos painéis aglomerados .....</b>	<b>38</b>
<b>3.7</b>	<b>Propriedades mecânicas dos painéis aglomerados .....</b>	<b>46</b>
<b>3.8</b>	<b>Microscopia Eletrônica de Varredura .....</b>	<b>51</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>51</b>
	<b>AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>52</b>
	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>54</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, há no Brasil uma crescente demanda por produtos madeireiros consumidos pelos diversos segmentos da sociedade. A indústria brasileira de painéis de madeira é destaque mundial na produção de painéis de madeira reconstituída a partir de florestas plantadas, devido à contínuos investimentos em tecnologia e automação do processo produtivo. No entanto, a pressão sobre as florestas, principalmente pela procura de gêneros como pinus e eucalipto, torna necessário a busca por matérias-primas alternativas para geração desses produtos.

De maneira simplificada, pode-se afirmar que os materiais lignocelulósicos em geral são potencialmente indicados para a produção de painéis de madeira. Assim, os resíduos florestais e agroindustriais podem ser utilizados para tal aplicação, o que além de corroborar para um desenvolvimento sustentável da indústria de painéis de madeira, possibilita uma destinação correta para os resíduos e viabiliza agregar valor à produtos subutilizados industrialmente.

Nesse sentido, o objetivo geral desse Trabalho de Conclusão de Curso foi avaliar o desempenho físico e mecânico de painéis de madeira aglomerada produzidos com diferentes proporções de partículas do endocarpo de *Acrocomia aculeata* e da madeira *Pinus oocarpa*, aglutinadas com resina fenol-formaldeído. Além de caracterizar o endocarpo de Macaúba quanto as suas propriedades físico-químicas.

Sua finalidade foi dar base para pesquisas futuras envolvendo esse resíduo lignocelulósicos, além de contribuir cientificamente com o desenvolvimento sustentável e com a valorização da matéria-prima alternativa.

O presente trabalho será apresentado na forma de artigo, sendo dividido em duas partes.

A primeira parte, intitulada de Introdução Geral, é composta por:

- i. Uma introdução que estabelece o assunto e os objetivos do estudo e explana sobre a organização e apresentação do trabalho.
- ii. Um Referencial Teórico com informações teóricas pertinentes para a compreensão do trabalho.
- iii. Considerações finais que trata da visão da autora sobre a contribuição do trabalho para o conhecimento acadêmico bem como das implicações frente aos resultados obtidos.

A segunda parte é composta por um artigo redigido conforme a norma para publicação periódica científica, com foco na avaliação das propriedades físicas e mecânicas dos painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de partículas do endocarpo de *Acrocomia aculeata* associadas às partículas da madeira de *Pinus oocarpa*.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Painéis de madeira reconstituída**

Com a crescente demanda de produtos madeireiros, a racionalização do uso da madeira, através de novas formas de aproveitamento dos resíduos produzidos pela indústria florestal, se tornou uma necessidade. Assim, a indústria madeireira buscando manter sua competitividade no mercado, busca desenvolver novas tecnologias para a geração de produtos mais econômicos e sustentáveis (FERREIRA, 2013; PEDRAZZI et al., 2006).

Os painéis de madeira reconstituída surgem como uma solução à essa problemática, possibilitando um maior aproveitamento da matéria – prima (CARVALHO et al., 2017). Esses painéis são definidos por Iwakiri et al. (2002) como chapas compostas de madeira, ou outro material lignocelulósico, em forma de lâmina, sarrafos, partículas ou fibras, obtidas por meio da redução da madeira maciça reconstituída através de um adesivo.

As suas vantagens não se limitam ao maior rendimento da matéria prima. Os painéis de madeira reconstituída possibilitam uma maior flexibilidade das dimensões do produto final, uma vez que não dependem do diâmetro e altura das árvores, permitem a utilização de novos materiais, agregando valor à produtos subutilizados no mercado, além do seu processo produtivo possibilitar o controle de algumas variáveis de produção e assim, a sua alteração e melhoria, a depender da aplicação final do produto (MACHADO, 2005).

De acordo com Iwakiri et al. (2002), os painéis de madeira reconstituída podem ser divididos em dois grupos principais, sendo eles: painéis particulados e painéis laminados. Os painéis laminados são aqueles que utilizam processo de cola de lâminas contínuas, estando dentro desse grupo os painéis compensados e os painéis de lâminas paralelas. Já os painéis particulados utilizam pequenos fragmentos de madeira ou outro material lignocelulósico, podendo ser chapas de madeira aglomerada, chapa de fibras e chapa de minerais. Diferem-se também por sua aparência final, Franco (2010) destaca que os laminados mantêm a aparência

de um bloco maciço, com cores, texturas e desenhos, enquanto os particulados perdem as características da tora utilizada, passando a apresentar características do seu processo produtivo.

### **2.1.1 Painéis de madeira aglomerada**

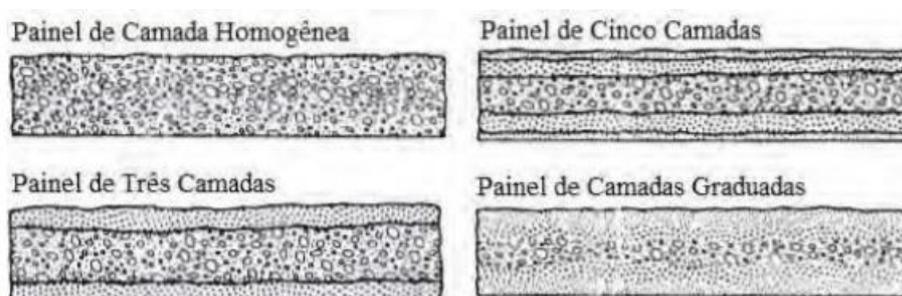
Dentre os painéis de madeira reconstituída, os painéis particulados aglomerados se destacam pela flexibilidade de aplicação e pela variedade de produtos disponíveis no mercado. Os aglomerados podem ser definidos como painéis produzidos com pequenas partículas de material lignocelulósico, unidas entre si por um adesivo sintético e consolidadas através de pressão e temperatura (BIANCHE, 2009).

O processo produtivo dos painéis aglomerados confere algumas vantagens a esses produtos em relação aos painéis laminados, como a redução da anisotropia da madeira, garantindo materiais mais homogêneos e estáveis, garantia de maior controle das variáveis de produção, uma vez que a matéria-prima passa pelo processo de geração de partículas e homogeneização, sendo possível adequar as propriedades físicas e mecânicas do painel à cada aplicação. Além disso, viabiliza a utilização de matérias-primas de menor qualidade, resultando em um menor custo de produção, e promove a eliminação dos defeitos naturais da madeira, como os nós (MARTINS et al., 2014; PROTÁSIO et al., 2015).

Apesar de ter um processo de produção simples e que agrega vantagens ao produto, o controle das principais variáveis de produção é fundamental para a qualidade final das chapas (KELLY, 1977). De acordo com Maloney (1995), essas variáveis compreendem a densidade da matéria-prima, teor de umidade e adesivo, ciclo de prensagem e a forma das partículas.

No que se refere a classificações, os painéis aglomerados se distinguem pela sua densidade, tipo de partículas e distribuição delas nas chapas. Quanto a densidade, podem ser painéis de baixa densidade (até  $0,59\text{g/cm}^3$ ), média densidade (de  $0,59$  a  $0,80\text{g/cm}^3$ ) e alta densidade (acima de  $0,80\text{g/cm}^3$ ). Já com relação a distribuição de partículas no painel, pode-se obter painéis homogêneos, painéis de múltiplas camadas, e painéis de camadas graduadas, como mostra a Figura 1 (IWAKIRI et al., 2002).

Figura 1 - Distribuição de partículas em painéis aglomerados



Fonte: Adaptado de Moslemi (1974).

Por fim, podem ser produzidos com partículas do tipo “sliver”, formando o aglomerado convencional, do tipo “flake”, constituindo os chamados “flakeboard”, do tipo “wafer”, os denominados “wafeboard”, e ainda painéis com partículas “strand”, os strandboard”. A variação na geometria das partículas implica em painéis com propriedades adequadas à diferentes usos (IWAKIRI et al., 2002).

## 2.2 A indústria de painéis particulados no Brasil

A tecnologia para a produção de painéis de madeira reconstituída se desenvolveu principalmente após a segunda Guerra Mundial, visando amenizar a escassez de matéria prima por meio da diminuição das perdas ocorridas na indústria madeireira e na exploração florestal (LAHR et al., 2011). A primeira indústria de painéis de madeira reconstituída no Brasil surgiu no Paraná em 1966 e, desde então, a demanda por esses materiais, principalmente aglomerados, é crescente (MENDES et al., 2014; FREIRE et al., 2011).

Atualmente, existem no Brasil 23 unidades produtoras de painéis de madeira particulados, estando a maioria localizada nas regiões Sul e Sudeste do país. O Brasil é o oitavo país no ranking dos principais produtores mundiais de painéis particulados, tendo em 2018 uma produção de 8,2 milhões de metros cúbicos, cerca de 260 mil metros cúbicos maior que em 2017 e 3 milhões de metros cúbicos maior que em 2009. Do total produzido, 84% do se destina ao consumo interno e apenas 16% à exportação (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ, 2019).

Para Noce et al. (2008), o potencial brasileiro de produção de painéis de madeira reconstituída está vinculado à disponibilidade de matéria-prima desfrutada pelo país e ao

investimento na implantação de novas tecnologias para o processo produtivo. Segundo Guimarães Junior et al. (2013) e Torquato et al. (2008), as madeiras de pinus e eucalipto formam a base de matéria-prima para a produção de painéis de madeira reconstituída no Brasil, sendo quase a totalidade proveniente de florestas plantadas.

Em 2018 o Brasil possuía cerca de 7,83 milhões de hectares de florestas plantadas, sendo 5,7 milhões de hectares ocupados por plantio de eucalipto e 1,6 milhões de hectares ocupados por pinus. Os plantios de eucalipto estão em expansão no país, apresentando crescimento de 1,1% ao ano, enquanto os plantios de pinus se mantêm praticamente estável desde 2011. Do total de florestas plantadas do país, 6% se destinam à produção de painéis de madeira e pisos laminados (IBÁ, 2019).

Diante disso, Soares et al. (2017), destaca que o setor florestal brasileiro possui grande influência no produto interno bruto nacional já que as florestas integram ativamente o desenvolvimento socioeconômico de diversas regiões do país. Além do setor de árvores plantadas gerar cerca de 3,8 milhões de empregos, diretos e indiretos (IBÁ, 2019).

### **2.3 Painéis de resíduos lignocelulósicos**

O crescente consumo de produtos madeireiros pelos diversos setores da sociedade faz com que se considerem alternativas de cunho sustentável nas indústrias que utilizam a madeira como matéria – prima (YANG et al., 2003). O aumento da procura por espécies como pinus e eucalipto, resultado do crescimento da indústria de painéis de madeira, torna necessário não só o aumento da área plantada dessas espécies, como também a busca por novas opções de matéria – prima que possam contribuir de forma quantitativa e qualitativa para suprir as necessidades das indústrias e para a geração de novos produtos (MENDES et al., 2014; FARRAPO et al., 2014).

Em um primeiro momento todo e qualquer material lignocelulósico pode ser utilizado como matéria-prima na fabricação de painéis particulados, em substituição total ou parcial à madeira (GUIMARÃES JUNIOR et al., 2011). Assim, o emprego de resíduos florestais e agroindustriais pode ser considerado uma alternativa viável para o setor de painéis de madeira aglomerada, propiciando o aumento da produção industrial de painéis sem que haja a implantação de novos plantios florestais (GUIMARÃES JUNIOR et al., 2016; PROTÁSIO et al., 2015).

Além de diminuir a pressão sobre as florestas, na produção de painéis com resíduos lignocelulósicos, pode-se agregar valor à materiais de baixa aceitação, colaborando para a

diminuição do impacto da produção de bens de consumo no meio ambiente, e possibilitando o armazenamento eficiente de carbono (RAZERA et al., 2006; PROTÁSIO et al., 2015).

Nesse sentido, existem vários estudos sobre a influência da incorporação de resíduos agroindustriais e florestais no processo produtivo de painéis particulados. Em um estudo realizado por Soares et al. (2017) foram utilizadas partículas de bagaço de cana-de-açúcar e de madeira *Eucalyptus grandis* para a produção de painéis aglomerados de baixa densidade, com adesivo uréia-formaldeído na proporção de 10% com relação à massa do painel. Constatou-se uma diminuição da resistência na flexão estática e da estabilidade dimensional dos painéis aglomerados com aumento da proporção do resíduo.

Os autores recomendaram o máximo de 26% de bagaço de cana-de-açúcar em associação à madeira de *Eucalyptus* na produção de aglomerados de baixa densidade.

Em outro estudo os autores Guimarães et al. (2019) avaliaram a associação do casquilho de soja à madeira de eucalipto para a produção de painéis aglomerados de baixa densidade. Os autores observaram uma diminuição da resistência mecânica e um aumento da instabilidade dimensional dos painéis à medida que se aumentava a proporção de resíduo. Os autores afirmam que é possível adicionar 36,8% de casquilho de soja sem prejuízo nas propriedades físicas e mecânicas dos painéis.

Para os autores Carashi, Leão e Chamma (2009), a produção de painéis aglomerados com resíduos lignocelulósicos tem crescido ao longo do tempo e apresenta perspectivas positivas no cenário atual devido à diminuição da oferta de madeiras nativas comerciais e de madeiras de reflorestamento, além da preocupação global em diminuir os impactos sobre o meio ambiente.

#### **2.4 A espécie *Acrocomia aculeata* (Macaúba)**

A *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart é uma palmeira da família Arecaceae. O termo *Acrocomia* tem origem grega “Akron” (uma) e “Kome” (cabeleira), e refere-se à disposição das folhas no formato de uma coroa. A espécie é nomeada como *aculeata* se remetendo ao grande número de espinhos escuros e pontiagudos existentes no caule e nas folhas da palmeira. No Brasil é conhecida por bocaiúva, chiclete-de-baiano, coco-baboso, coco-de-espinho, macacauba, macaiba, macaibeira, macajuba, macaúva, mucaia, mucajá, mucajaba e macaúba (LORENZI, 2006).

Segundo Rigueira et al. (2017), a Macaúba é considerada a palmeira de maior disseminação no Brasil, possuindo população em quase todo território e principalmente nos estados de MG,

GO, MT e MS, sendo amplamente espalhada pelas áreas de Cerrado (FIGURA 2). A espécie é considerada pioneira em áreas que sofreram com intervenção antrópica recentemente, principalmente pastagens, e é menos comum em matas nativas fechadas. Destaca-se à capacidade dessa espécie de se desenvolver em solos pobres e em climas secos (LORENZI, 2006).

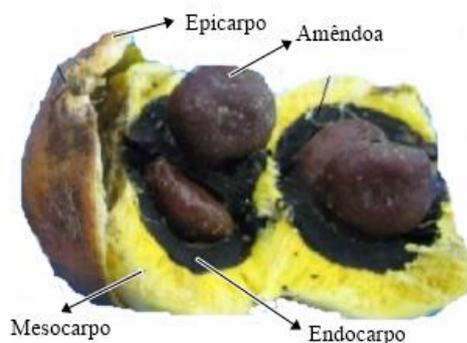
Figura 2 - Distribuição da espécie *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.



Fonte: Adaptado de Ratter et al. (2003).

De acordo com Toledo et al. (2010) a Macaúba possui de 10 a 15 metros de altura, flores de coloração amarelo-claro e frutos esféricos ou pouco achatados com diâmetro variando de 2,5 a 5,0 cm. Os frutos são formados por um epicarpo duro (casca externa), um mesocarpo fibroso e oleoso (polpa), uma ou duas amêndoas na região mais interna e por um endocarpo duro, como mostra a Figura 3 (RIOS et al., 2014).

Figura 3 - Partes do fruto do endocarpo de Macaúba



Fonte: Adaptado de Ciconini (2012).

Essa palmeira apresenta um grande potencial de usos, desde o seu caule até os seus frutos. O seu caule pode ser usado como estacas e moirões in natura, suas folhas podem ser aproveitadas para alimentação animal, como forrageira e suas fibras como linhas de pesca e redes. O mesocarpo dos frutos pode ser utilizado para produção de ração para animais de grande porte, transformação em polpa para sucos e sorvetes e também para a produção de licores. Suas amêndoas podem ser consumidas in natura, torradas para a produção de paçoca e ainda utilizadas como ração para aves. Muitos desses usos são alternativas para famílias de baixa renda e caíram em desuso devido ao surgimento de alternativas baratas e sintéticas que os substituíram (TOLEDO et al., 2010; LORENZI, 2006).

A *Acrocomia aculeata* tem sido potencialmente empregada na indústria de biodiesel. O óleo extraído de sua polpa é aproveitado como biodiesel ou na indústria de cosméticos. Já o óleo de suas amêndoas é extraído por prensas helicoidais, sendo mais limpo e claro que o óleo extraído da polpa, podendo ser utilizado na fabricação de sabão, no processamento de alimentos e também na produção de biodiesel (CASTRO, 2011).

No processo de extração do óleo da amêndoa ocorre a quebra do endocarpo da Macaúba, tecido altamente lignificado e de elevada resistência mecânica (RIOS et al., 2014). De acordo com Sampaio, Cardoso e Valadares (2016), para cada 100kg de frutos são gerados cerca de 13kg de endocarpo, sendo esse resíduo em sua maioria descartado ou vendido para a produção de carvão vegetal. Nota-se que esse material tem sido subutilizado industrialmente, assim, o desenvolvimento de pesquisas visando agregar valor econômico aos endocarpos descartados, podem trazer benefícios econômicos, sociais e ambientais.

Alguns pesquisadores já estão estudando aplicações não convencionais para esse resíduo. Em um estudo realizado por Sampaio, Cardoso e Valadares (2016) o endocarpo da Macaúba foi adicionado à borracha natural a fim de modificar sua cor e suas propriedades mecânicas. Os pesquisadores obtiveram um aumento da tensão na ruptura do polímero e uma diminuição em seu alongamento, não observando efeitos significativos na rigidez do material.

### **3 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O presente trabalho constata que o endocarpo de Macaúba (*Acrocomia aculeata*) possui características interessantes para geração de novos produtos, apresentando alta densificação, podendo ser comparado a madeiras de alta densidade, baixo teor de extrativos e alto teor de

lignina, além de possuir facilidade de reprodução, se adaptando à solos pobres e climas secos. No entanto, mesmo com seu potencial, estudos sobre esse resíduo são escassos.

Assim, a sua utilização na produção de painéis aglomerados comprova que é possível aproveitar essa matéria-prima alternativa para a geração de novos produtos e fornece subsídios para pesquisas futuras acerca do endocarpo de *Acrocomia aculeata*.

O trabalho desenvolvido foi imprescindível para a formação plena da estudante, uma vez que possibilitou a aplicação e compreensão de conceitos vistos em disciplinas cursadas, além de possibilitar experiências práticas e contato com assuntos não vistos durante a graduação.

## REFERÊNCIAS

- American National Standards Institute. **ANSI A208.1**: Mat-formed wood particleboard: Specification; National Particleboard Association. Gaithersburg, 1993.
- BIANCHE, J. J. **Propriedades de aglomerado fabricado com partículas de eucalipto (*Eucalyptus urophylla*), paricá (*Schizolobium amazonicum*) e vassoura (*Sida spp.*)**. 2009. 81 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.
- CARASCHI, J. C.; LEÃO, A. L.; CHAMMA, P.V.C. et al. **Avaliação de painéis produzidos a partir de resíduos sólidos para aplicação na arquitetura**. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, [S.l.], v. 19, n. 1, p. 47-53, 2009.
- CARVALHO, K.M. et al. **Aproveitamento de resíduo de madeira de *Hymenaea courbaril* para produção de painéis aglomerados convencionais em comparação com painéis de *Pinus oocarpa***. *Enciclopédia Biosfera*, Goiânia, v. 14, n. 25, p. 127-135, 20 jun. 2017.
- CASTRO, R.P. **Potencial energético de macaúba**. 2011. 41 f. TCC (Graduação) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.
- CICONINI, G. **Caracterização de frutos e óleo de polpa de macaúba dos biomas Cerrado e Pantanal do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil**. 2012. 150 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Biotecnologia, Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande, 2012.
- COMMERCIAL STANDARD. **CS 236-66**: Mat formed wood particleboard. [S.l.], 1968.
- DIN. NORMEN FÜR HOLZFASERPLATEN SPANPLATTEN SPERRHOLZ. **DIN 52362**: Testing of wood chipboards bending test, determination of bending strength. Berlin, 1982 40p.
- FARRAPO, C. L. et al. **Utilização da madeira de *Pterocarpus violaceus* na produção de painéis aglomerados**. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 42, n. 103, p. 329-335, 2014.
- FERREIRA, B.S. **Propriedades físico-mecânicas de painéis particulados de *Eucalyptus saligna* com adição de casca de noz macadâmia**. 2013. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.
- FRANCO, A. **A evolução do móvel residencial seriado brasileiro em madeira reconstituída**. 2010. 214 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- FREIRE, C.S. et al. **Propriedades físicas de painéis aglomerados comerciais confeccionados com bagaço de cana e madeira**. *Floresta e Ambiente*, [S.l.], v. 18, n. 2, p. 178-185, 2011.
- GUIMARÃES JUNIOR, J. B. et al. **Painéis de madeira aglomerada de resíduos da laminação de diferentes procedências de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus cloeziana***. *Revista Cerne*, Lavras, MG, v. 17, n. 4, p. 443-452, 2011.
- GUIMARÃES JUNIOR, J. B. et al. **Produção de painéis aglomerados da madeira de desrama de *Acacia mangium***. *Pesquisa Florestal Brasileira*, [S.l.], v. 33, n. 76, p. 387-391, 31 dez. 2013.
- GUIMARÃES JUNIOR, J.B. et al. **Inclusão de resíduo da cultura de sorgo em painéis aglomerados de eucalipto**. *Pesquisa Florestal Brasileira*, [S.l.], v. 36, n. 88, p. 435, 11 jan. 2017.

GUIMARÃES, I. I. et al. **Aproveitamento do casquilho de soja para a produção de painéis aglomerados convencionais de baixa densidade.** Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal Of Agricultural Sciences, [S.l.], v. 14, n. 2, p. 1-6, 2019.

IBÁ – **Indústria Brasileira de Árvores.** Relatório IBA 2019. São Paulo. 2019.

IWAKIRI, S. et al. **Chapas de madeira aglomerada.** In: IWAKIRI, S. et al. Painéis de madeira. [S.l.], 2002. p. 103-131.

KELLY, M. W. **A critical literature review of relationship between processing parameters and physical properties of particleboard.** Madison: U.s. for. Prod. Lab. General Technical Report, 1977. 66 p.

LAHR, F. A. R. et al. **Painéis de partículas à base de bagaço de cana e resina de mamona - produção e propriedades.** Acta Scientiarum Technology, Maringá, v. 33, n. 4, p. 401-406, 2011.

LORENZI, J. M. A. C. **Acrocomia aculeata (Jacq.) Lodd. ex Mart. - Arecaceae: Bases para o extrativismo sustentável.** 2006.

MACHADO, J. S. **Placas de derivados de madeira: tipos de placas e sua especificação.** Lisboa: LNEC Divisão de edições e Artes Gráficas, 2005.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing.** San Francisco: M. Freeman, 1993. 689 p.

MARTINS, E. H. et al. **Painéis aglomerados convencionais produzidos com madeira de Cecropia pachystachya.** Enciclopédia Biosfera: Centro Científico Conhecer, [S.l.], v. 10, n. 19, p. 1418-1423, 2014.

MENDES, R. F. et al. **Qualidade de painéis aglomerados homogêneos produzidos com a madeira de clones de Eucalyptus urophylla.** Cerne, Lavras, v. 20, n. 2, p. 329-336, jun. 2014.

MOSLEMI, A. A. **Particleboard.** Southern Illinois: University of Southern Illinois, 1974.

NOCE, R. et al. **Competitividade do Brasil no mercado internacional de aglomerado.** Revista Árvore, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 113-118, 2008.

PEDRAZZI, C. et al. **Qualidade de chapas de partículas de madeira aglomerada fabricadas com resíduos de uma indústria de celulose.** Ciência Florestal, [S.l.], v. 16, n. 2, p. 201-212, 2006.

PROTÁSIO, T. P. et al. **Estabilidade térmica de painéis aglomerados de bagaço de cana-de-açúcar e madeira de Pinus spp.** Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 43, n. 107, p. 683-691, 2015.

RATTER, J. A.; BRIDGEWATER, S.; RIBEIRO, J. F. **Analysis of the floristic composition of the Brazilian Cerrado vegetation III: comparison of the woody vegetation of 376 areas.** Edinburgh Journal of Botany 60 (1); 57-109. 2003.

RAZERA, D. L. et al. **Estudo sobre as interações entre as variáveis do processo de produção de painéis aglomerados e produtos moldados de madeira.** 2006. 157 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

RIGUEIRA, J. P. S. et al. **Composição química e digestibilidade in vitro de tortas da macaúba.** Unimontes Científica, Montes Claros, v. 19, n. 2, p. 63-72, 2017.

RIOS, R.D.F. et al. **Adsorção de fenol no carvão ativado produzido a partir do endocarpo do fruto da macaúba**. In: Anais do XX Congresso brasileiro de Engenharia Química, COBEQ 2014. Florianópolis, 2014. p. 8524-8531.

SAMPAIO, E. J. R. S.; CARDOSO, N. A.; VALADARES, L. F. **Compósitos de borracha natural e edocarpo de macaúba: efeito sobre a coloração e propriedades mecânicas**. In: III ENCONTRO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA EMBRAPA E AGROENERGIA, 2016, Brasília. p. 168-173.

SOARES, S. S. et al. **Valorização do bagaço de cana-de-açúcar na produção de painéis aglomerados de baixa densidade**. Revista Ciência da Madeira - Rcm, [S.l.], v. 8, n. 2, p. 64-73, 2017.

TOLÊDO, D. P. et al. **Análise técnica, econômica e ambiental de macaúba e pinhão-manso como alternativas de agregação de renda na cadeia produtiva de biodiesel**. 2010. 105 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

TORQUATO, L. P. et al. **Caracterização dos painéis MDF comerciais produzidos no Brasil**. 2008. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

YANG, H.S.; KIM, D.J.; KIM, H. J. **Rice straw-wood particle composite for sound absorbing wooden construction materials**. Bioresource Technology, v. 86, p. 117-121, 2003.

## SEGUNDA PARTE

### **AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO FÍSICO E MECÂNICO DE PAINÉIS AGLOMERADOS PRODUZIDOS COM ENDOCARPO DE *Acrocomia aculeata*.**

Luisa Menali; Mariana Silveira; Douglas Faria; Matheus Dias; José Benedito Guimarães  
Júnior; Uasmim Zidanes; Saulo Rocha Ferreira

#### **RESUMO**

A macaúba, (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.) é uma palmeira nativa de regiões tropicais e ocorre em grande parte do território brasileiro. Tendo uma fruta oleaginosa e produzindo grandes quantidades por hectare, os estudos atuais estão focados na extração e na exploração de óleo vegetal, a partir desse fruto. No entanto, existem poucos estudos cobrindo o endocarpo da fruta. Com isso, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar propriedades físicas e mecânicas de painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de partículas do endocarpo de *Acrocomia aculeata* em substituição a partículas da madeira de *Pinus oocarpa*, além de caracterizar quanto as propriedades físico-químicas o endocarpo da Macaúba. As matérias foram caracterizadas quanto à sua composição química e densidade básica. Também foram realizadas análises termogravimétricas (TGA), difratometria de raios-X (DRX) e espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR). Os painéis aglomerados foram produzidos com densidade nominal de 0,70g/cm<sup>3</sup>, sendo avaliados cinco tratamentos com 0, 25, 50, 60 e 75% de substituição. A microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi utilizada para análise das superfícies dos painéis. A geometria das partículas do endocarpo de Macaúba foi determinada com auxílio do software Image J. O endocarpo de Macaúba possui baixo teor de extrativos, alto teor de lignina e alta densificação quando comparado à madeira de Pinus. Todos os painéis foram classificados como de baixa densidade. Observou-se uma maior estabilidade dimensional e uma diminuição das propriedades na flexão estática dos painéis com a adição do resíduo. A ligação interna se mostrou crescente com o aumento da utilização de partículas do resíduo. Os painéis produzidos apresentam potencial de uso para fins não estruturais, como forros, divisórias, elementos decorativos e preenchimento de portas.

**Palavras-chave:** Macaúba. Utilização de resíduos. Resíduos Lignocelulósicos. Painéis reconstituídos de madeira.

## EVALUATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL BEHAVIOR OF PARTICLEBOARDS PRODUCED WITH *Acrocomia aculeata* ENDOCARP US

Luisa Menali; Mariana Silveira; Douglas Faria; Matheus Dias; José Benedito Guimarães Júnior; Uasmim Zidanes; Saulo Rocha Ferreira

### ABSTRACT

Macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. Ex Mart.) it is a palm native to climatic regions and occurs in a large part of the Brazilian territory. Having an oleaginous fruit and producing large quantities per hectare, current studies are focused on the extraction and exploration of vegetable oil from this fruit. However, there are few studies on the fruit's endocarp. With this, this research aimed to evaluate the characteristics and mechanical mechanisms of the agglomerated panels, with different proportions of use of *Acrocomia aculeata* endocarp to replace the replacement of *Pinus oocarpa* wood, in addition to characterizing how much of chemical or endocarp Macaúba products. The raw materials were characterized in terms of their chemical composition and basic density. Thermogravimetric analyzes (TGA), X-ray diffraction (XRD) and infrared spectroscopy with Fourier transform (FTIR) were also performed. The agglomerated panels were produced with a nominal density of 0.70g / cm<sup>3</sup>, with five procedures being applied with substitution of 0, 25, 50, 60 and 75% substitution. A scanning electron microscopy (MEV) was used to analyze the surfaces of the panels. A selection geometry of the Macaúba endocarp was specified with the aid of the Image J. software. The Macaúba endocarp has a low extractive content, high lignin content and high densification when used in Pinus wood. All panels were classified as low density. Observe a greater dimensional stability and a decrease of the properties in the static bending of the panels with addition of residue. The internal link shows an increasing increase or increased use of waste. The selected panels have potential use for unselected fins, such as ceilings, partitions, decorative elements and door filling.

**Keywords:** Macaúba; Use of wastes; Lignocellulosic Waste. Reconstituted wooden panels.

## 1 INTRODUÇÃO

A produção industrial de painéis de madeira reconstituída, segundo Fiorelli et al. (2011), teve seu principal desenvolvimento após a Segunda Guerra Mundial, almejando a diminuição do consumo de matéria-prima e o reaproveitamento de resíduos madeireiros provenientes da exploração florestal. Com o passar do tempo os painéis aglomerados tornaram-se uma das principais matérias-primas do setor moveleiro brasileiro, tendo sua demanda aumentada em função do aumento de renda da população e do crescimento da construção civil no país (IWAKIRI et al., 2005; PROTÁSIO et al., 2015).

Esse crescimento da indústria de painéis de madeira reconstituída aparece em dados estatísticos de produção, segundo a Indústria Brasileira de Árvores – IBÁ, em 2018, a produção brasileira de painéis de madeira foi cerca de 8 mil metros cúbicos, um aumento de 3% em relação a produção de 2017. Para Protásio et al. (2015), Ferreira (2013) e Machado (2005), o potencial para a produção desses painéis, principalmente aglomerados, está associado ao fato de apresentarem algumas vantagens, como a diminuição da variabilidade da madeira ou biomassa lignocelulósica residual e a agregação de valor à materiais de baixa aceitação.

No entanto, apesar dos painéis de madeira reconstituída permitirem em sua manufatura a possibilidade de utilização de materiais de menor aceitação, no Brasil as madeiras de pinus e eucalipto ainda são as principais matérias-primas empregadas em sua produção (GUIMARÃES JUNIOR et al., 2013). Assim, a demanda da indústria florestal tem aumentado anualmente, causando crescente pressão sobre as florestas plantadas e enfatizando a necessidade de diversificação desse setor por meio da introdução de novas matérias – primas (MENDES et al., 2014).

Uma das formas de minimizar essa problemática é considerar a substituição de parte da madeira por resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais, contribuindo assim para o atendimento da demanda da indústria florestal, disposição final adequada desses resíduos e geração de materiais cada vez mais sustentáveis (BALDIN et al., 2016; MENDES et al., 2010). Diferentes resíduos já foram empregados nessa nova proposta de produção, como: bagaço de cana-de-açúcar (FIORELLI et al., 2011; SOARES et al., 2017); casca de arroz (MELO et al., 2009); casca de café (MENDES et al., 2010); sabugo de milho (SCATOLINO et al., 2013); sorgo (GUIMARÃES JUNIOR et al., 2016); caules de algodão (GULER; COPUR; TASCIOGLU, 2004); Paricá e Embaúba (IWAKIRI et al., 2010) e aparas de papel reciclável (CALEGARI et al., 2005).

Um desses possíveis resíduos substitutos, de acordo com Rigueira et al. (2017), é a Macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.). Considerada a palmeira de maior disseminação no território brasileiro, nativa das florestas tropicais e originária das matas do norte ao sudeste do Brasil, é cultivada em diferentes regiões do país por possuir facilidade de adaptação a climas secos e solos arenosos (LORENZI, 2006; RIOS et al., 2015). Seu fruto é constituído de uma casca externa (epicarpo), polpa (mesocarpo fibroso), de uma ou duas amêndoas oleosas na região mais interna e de um endocarpo, tecido lignificado e de alta resistência mecânica, que representa cerca de 25% da massa total do fruto (RIOS et al., 2015).

A exploração econômica da Macaúba se dá essencialmente por meio da extração do óleo do seu fruto, de acordo com Sobreira (2011), enquanto a soja produz 400 litros de óleo por hectare, a macaúba em uma mesma área produz cerca de 4000 litros. Esse processo de extração gera grande quantidade de resíduos, uma vez que provoca a quebra do seu endocarpo, tecido pouco explorado economicamente. Estima-se que uma biomassa de 25000 kg. ha<sup>-1</sup> de frutos gere cerca de 7000 kg. ha<sup>-1</sup> de endocarpo (CICONINI et al., 2012).

Em geral, esse endocarpo quebrado é descartado ou, em virtude de seu alto poder calorífico, é vendido para a produção de carvão vegetal (SAMPAIO, CARDOSO e VALADARES, 2016). Devido as suas propriedades físicas e químicas, acredita-se que é possível agregar valor a esse resíduo lignocelulósico, incorporando-o na produção de novos materiais.

Diante do exposto, o objetivo desse trabalho foi caracterizar o endocarpo de Macaúba quanto as suas propriedades físico-químicas e avaliar a influência da substituição de partículas da madeira de *Pinus oocarpa* por partículas do endocarpo de *Acrocomia aculeata* nas propriedades físicas e mecânicas de painéis aglomerados.

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 Materiais**

Os painéis aglomerados foram produzidos utilizando partículas da madeira de *Pinus oocarpa* e do endocarpo de Macaúba aglutinadas pelo adesivo fenol-formaldeído. As árvores de *Pinus oocarpa*, foram cortadas com aproximadamente 28 anos de idade, no campus da Universidade Federal de Lavras - UFLA, localizada no Município de Lavras, na região sul de Minas Gerais, sob as coordenadas 21°14'45"S, 44°59'59"W e altitude de 920 m. Da base das

árvores foram retiradas toras com comprimento de 0,60 m (FIGURA 1A). Os endocarpos de *Acrocomia aculeata* foram cedidos pelo Núcleo de estudos em plantas oleaginosas, óleos vegetais, gorduras e biocombustíveis – “G-Óleo”, localizado na Universidade Federal de Lavras (UFLA), sendo os frutos da Macaúba coletados na fazenda experimental da Faepe, localizada no município de Ijaci, na região sul de Minas Gerais, sob as coordenadas 21°09'40.7"S 44°55'30.2"W.

## 2.2 Metodologia

### 2.2.1 Processamento da madeira de *Pinus oocarpa* e do endocarpo de *Acrocomia aculeata*.

De acordo com recomendações de Iwakiri et al. (2002), lâminas de madeira foram obtidas em torno laminador, após o aquecimento das toras à temperatura de 70 °C por um período de 24 h em água, a fim de evitar possíveis desgastes nas facas do torno. As lâminas atingiram espessura nominal de 2 mm e após a laminação foram secas em estufa a  $105 \pm 3$  °C por 24 horas para redução da umidade até o valor final de 3% na base úmida.

Os endocarpos de *Acrocomia aculeata*, foram secos à temperatura de  $105 \pm 3$  °C em uma estufa com circulação forçada de ar, até uma umidade final de 3% na base úmida.

Após secagem, as lâminas de Pinus e os endocarpos de Macaúba foram processados em moinho martelo para obtenção das partículas “sliver”. As partículas de *Pinus oocarpa* foram peneiradas manualmente sendo utilizadas na produção dos painéis, as partículas retidas entre as peneiras de 10 (2mm) e 30 mesh (0,595mm). Já para as partículas do endocarpo de Macaúba foram utilizadas na produção dos painéis aquelas passantes na peneira de 30 mesh.

### 2.2.2 Caracterização físico-química da madeira de *Pinus oocarpa* e do endocarpo de *Acrocomia aculeata*

A densidade básica foi determinada de acordo com Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 11941 (ABNT 2003). A quantificação do teor de extrativos totais foi feito segundo a norma NBR 14853 (ABNT, 2010). A determinação do teor de lignina insolúvel foi realizada mediante procedimento descrito na norma NBR 7989 (ABNT, 2010).

Para a quantificação dos teores de cinzas foi considerada a metodologia prevista na norma NBR 13999 (ABNT, 2017). O teor de holocelulose foi obtido por diferença em relação aos demais componentes moleculares e minerais da biomassa.

Além das outras caracterizações também foi determinado o pH das partículas por meio de um equipamento Tec - 3MP pHmetro. As partículas foram colocadas em um béquer com água, a solução ficou em descanso por 24h. Então, foram feitas as medidas do pH das partículas em triplicata.

### **2.2.3 Índice de Esbeltez das partículas do endocarpo de *Acrocomia aculeata***

A geometria das partículas do endocarpo de Macaúba foi determinada com auxílio do software Image J. Foram feitas trinta medições de comprimento e diâmetro das partículas e posteriormente, calculou-se o índice de esbeltez de acordo com a Equação 1.

$$IE = \frac{C}{D} \quad (1)$$

Onde:

C é o comprimento médio das partículas do endocarpo de Macaúba;

D é o diâmetro médio das partículas do endocarpo de Macaúba.

### **2.2.4 Análise Termogravimétrica do endocarpo de *Acrocomia aculeata* (TGA)**

Foram utilizadas partículas de endocarpo de *Acrocomia aculeata* com granulometria de 0,74 mm. As análises termogravimétricas foram realizadas em um instrumento NETZSCH STA 449 F5 Jupiter. As amostras foram aquecidas de 25 a 1000 °C em atmosfera de nitrogênio a um fluxo de 20 mL / min<sup>-1</sup>, com uma taxa de aquecimento de 10 °C / min. A temperatura de degradação foi determinada a partir da inflexão da linha de base na curva termogravimétrica diferencial (DTGA).

### **2.2.5 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier - Reflectância total atenuada (FTIR - ATR)**

Amostras de endocarpo de Macaúba (tamanho máximo de 0,250 mm) foram analisadas no método de espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) acoplada a

um acessório de reflexão total atenuada (ATR) foi realizada utilizando um espectrômetro FT-IR Varian 600-IR Series equipado com GladiATR da Pike Technologies para medições FTIR-ATR. As amostras foram varridas de 4000 a 400  $\text{cm}^{-1}$  com 32 scans médios para cada espectro a uma resolução de 4  $\text{cm}^{-1}$ .

### 2.2.6 Análise de Difratometria de raios-X (DRX)

Difratometria de raios-X (DRX) foram medidos com um difratômetro de raios X (Bruker D2 Phaser 2ª geração) com uma fonte de Cu-K $\alpha$  ( $\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$ ) na faixa  $2\theta$  de 10-40 a uma taxa de varredura de 0,5°/min e um incremento de 0,02 ° $\theta$ . As amostras foram analisadas em um suporte de amostra de cristal de silício amorfo de difração zero modelo C79298A3244B249. Os difratogramas foram deconvoluídos usando o software Magic Plot student 2.9, ajustando quatro somas de pico cristalinos e um amorfo em cada curva original por deconvolução lorentziana. A fração cristalina ( $F_C$ ) foi calculada pela Equação 2 (Rotaru et al., 2018).

$$F_C(\%) = 100 \times \frac{Ac}{At} \quad (2)$$

Onde  $Ac$  representa a área do domínio cristalino e  $At$  a área do domínio total, respectivamente.

O tamanho do cristalito da amostra foi calculado usando a equação de Scherrer (Equação 3) (LANGFORD; WILSON, 1978). Esta etapa foi realizada nas curvas teóricas.

$$\tau = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (3)$$

Onde  $\tau$  é o tamanho perpendicular ao plano da rede representado pelo pico em questão (200),  $K$  é uma constante que depende da forma do cristal,  $\lambda$  é o comprimento de onda do feixe incidente no experimento de difração,  $\beta$  é a largura à meia altura (FWHM) em radianos e  $\theta$  é a posição do pico em radianos.

### 2.2.7 Produção dos painéis aglomerados

Os painéis foram produzidos com as dimensões de 250 x 250 x 15 mm e densidade nominal de 0,700  $\text{g/cm}^3$ , sendo avaliados cinco diferentes composições com variação no percentual de partículas do endocarpo de *Acrocomia aculeata* no miolo do painel. As

composições foram feitas em triplicata. As diferentes porcentagens de *Acrocomia aculeata* utilizadas nas cinco composições estão descritas na Tabela 1.

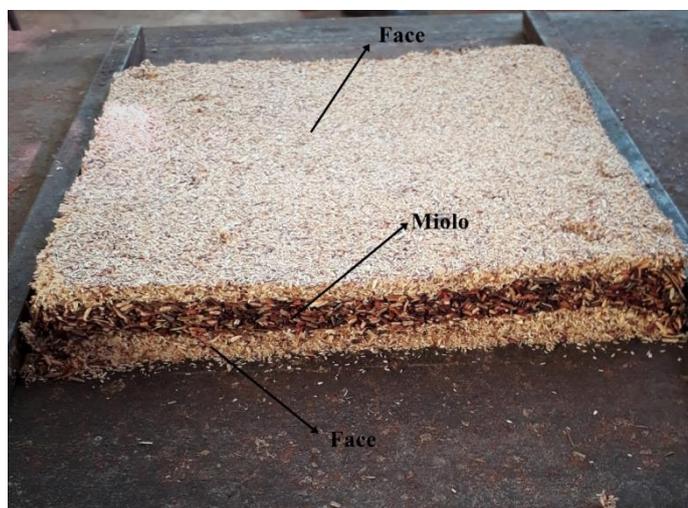
Tabela 1 - Delineamento experimental.

<b>Composições</b>	<b><i>Pinus oocarpa</i> (%)</b>	<b><i>Acrocomia aculeata</i>. (%)</b>
Referência	100	0
T1	75	25
T2	50	50
T3	40	60
T4	25	75

Fonte: Do autor (2020).

Para a colagem das partículas foi empregada a resina fenol-formaldeído, com teor de sólidos de 47.59%, viscosidade de 191.4 cP e pH de 13.56, sendo utilizado 9% de adesivo para o miolo e 12% de adesivo para as faces com base na massa seca das partículas em cada painel (FIGURA 1).

Figura 1 - Identificação das faces e miolo dos painéis aglomerados



Fonte: Do autor (2019).

Na sequência, as partículas de *Pinus* e endocarpo de Macaúba foram misturadas com adesivo fenol-formaldeído e levadas à uma caixa formadora de colchão onde foram pré prensadas. Os painéis foram prensados à temperatura de 160 °C e pressão específica de 4 MPa, por 8 minutos. Após a prensagem, os painéis foram acondicionados numa câmara climatizada à temperatura de  $20 \pm 3$  °C e umidade relativa de  $65 \pm 5\%$  até atingir a umidade de equilíbrio.

### **2.2.8 Análise das propriedades físicas e mecânicas dos painéis aglomerados**

Para a avaliação das propriedades físicas e mecânicas dos painéis aglomerados, foram realizados ensaios de absorção de água, inchamento em espessura, para duas e vinte e quatro horas de imersão e tração perpendicular, de acordo com os procedimentos descritos pela normativa D1037 (ASTM, 2006). Os ensaios de densidade aparente e flexão estática foram feitos conforme determinado na normativa DIN 52362 (1982). Por fim, os ensaios de dureza Janka e arrancamento de parafusos foram feitos conforme recomendações das normativas ASTM D 143-94 (1996) e NBR 14810 (2006), respectivamente.

A razão de compactação foi calculada conforme descrito por Guimarães Junior et al. (2017), dividindo-se a densidade aparente de cada painel pela densidade básica das partículas utilizadas, considerando a proporção das mesmas no painel.

### **2.2.9 Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV – Painéis aglomerados**

Para avaliar a qualidade da adesão entre as partículas no miolo do painel e o adesivo fenol-formaldeído, foram obtidas fotomicrografias pela técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Os corpos de prova preparados possuíam 6 mm de diâmetro e 3 mm de espessura.

Uma visão geral da microestrutura dos painéis foi investigada usando um SEM LEO EVO 40. O microscópio foi operado sob uma tensão de aceleração de 20 kV. Foi feito um pré-revestimento com uma fina camada de ouro para tornar as amostras condutivas e adequadas para análise. As amostras foram fixadas em uma ponta de metal, stubs, coberta por uma fita revestida de carbono.

### **2.2.10 Delineamento Experimental**

Foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado, com 5 tratamentos e 3 repetições. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANAVA). Quando houve efeito significativo da substituição do endocarpo de *Acrocomia aculeata* nos painéis foi realizada a análise de regressão linear simples a 5% de significância. Os dados foram processados no software *Sisvar*.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Propriedades químicas e físicas da matéria-prima utilizada

As porcentagens dos constituintes químicos presentes na madeira de *Pinus oocarpa* e no endocarpo de *Acrocomia aculeata* estão na Tabela 2.

Tabela 2 - Componentes químicos presentes na madeira de *Pinus oocarpa* e no endocarpo de *Acrocomia aculeata*.

<b>Material</b>	<b>Extrativos totais (%)</b>	<b>Lignina insolúvel (%)</b>	<b>Holocelulose (%)</b>	<b>Cinzas (%)</b>
<i>Pinus oocarpa</i>	4,03 (0,17) A	26,08 (2,50) A	69,63 (2,63) A	0,26 (0,02) A
<i>Acrocomia aculeata</i>	3,10 (0,26) B	39,60 (0,17) B	52,64 (0,31) B	4,70 (0,37) B

Os valores entre parêntese indicam o desvio padrão. Letras diferentes em uma mesma coluna indicam valores estatisticamente diferentes pelo teste Tuckey a 5% de significância.

Fonte: Do autor (2020).

O endocarpo de Macaúba apresenta menor quantidade de extrativos quando comparado com a madeira de *Pinus oocarpa*. De acordo com Scatolino et al. (2017), extrativos aumentam a hidrofobicidade e, conseqüentemente, diminuem a absorção de água do material, podendo implicar na produção de painéis menos susceptíveis a umidade. No entanto, como os extrativos atuam como um impermeabilizante natural, segundo Iwakiri et al. (2005), quanto maior a sua concentração, maiores as chances de se terem problemas quanto à penetração dos adesivos, podendo acarretar a diminuição da resistência mecânica dos painéis.

Para a lignina insolúvel, o endocarpo de Macaúba apresenta vantagem em relação a madeira de Pinus, estudada nessa pesquisa. A lignina é considerada um adesivo natural, conferindo impermeabilidade ao material, devido às suas propriedades hidrofóbicas, além de atribuir resistência biológica e mecânica, pois atua reforçando as microfibrilas de celulose colaborando para a diminuição de movimentos perpendiculares ao grão (SILVA et al., 2016; SOARES et al., 2017). Assim, altos teores de lignina são desejáveis na produção de painéis de madeira reconstituída.

Com relação aos valores de holocelulose, observa-se uma quantidade menor no endocarpo de Macaúba. Segundo Freire et al. (2011), menores teores de holocelulose e, conseqüentemente, hemiceluloses, indicam menor disponibilidade de sítios hidroxílicos no

material, podendo resultar em menor absorção de água por painéis feitos com essa matéria-prima. Já com relação a presença de cinzas, o endocarpo de *Acrocomia aculeata* apresenta desvantagens comparativamente à madeira de *Pinus oocarpa*, uma vez que maiores teores de cinza podem prejudicar na colagem das chapas aglomeradas, pois provocam a inibição de grupos químicos reativos com adesivos polares, além de causar desgaste excessivo das serras durante a obtenção do material (NDAZI et al., 2007; IWAKIRI et al., 2005).

Os valores encontrados para os componentes químicos presentes na madeira de *Pinus oocarpa* estão de acordo com aqueles retratados na literatura. Em seu estudo, Scatolino et al. (2013) encontraram 5,2% para extrativos, 28,3% para lignina, 66,2% para holocelulose e 0,4% para cinzas. Para o endocarpo de Macaúba, Pereira (2018) encontrou 39,1% de lignina insolúvel, enquanto Silva, Barichelo e Brito (1986), obtiveram 36,60% para lignina, 52,60% para holocelulose, 0,97% para cinzas e 10,80% para extrativos. O maior valor de extrativo encontrado na literatura possivelmente está relacionado com o ambiente ao qual a planta está exposta, já que os extrativos são substâncias heterogêneas influenciadas por fatores climáticos e genéticos. Já a diferença entre o teor de cinza encontrado na literatura e o obtido neste trabalho pode estar relacionada ao local de plantio e aos níveis de minerais presentes no solo (SOARES et al., 2017).

A densidade do endocarpo de *Acrocomia aculeata* foi superior a encontrada para a madeira de *Pinus oocarpa* (TABELA 3).

Tabela 3 - Densidade básica da madeira de *Pinus oocarpa* e do endocarpo de *Acrocomia aculeata*.

<b>Material</b>	<b>Densidade básica (g/cm<sup>3</sup>)</b>
<i>Pinus oocarpa</i>	0,48 A
<i>Acrocomia aculeata</i>	1,23 B

Valores diferentes em uma mesma coluna indicam resultados estatisticamente diferentes pelo teste Tuckey a 5% de significância.

Fonte: Do autor (2020).

Os valores obtidos neste trabalho são semelhantes aos retratados na literatura especializada. Em um estudo sobre o endocarpo de Macaúba, Silva, Barrichelo e Brito (1986) obtiveram o valor de 1,161 g/cm<sup>3</sup> para a densidade básica.

Já com relação à madeira de *Pinus oocarpa*, Silva et al. (2016) e Scatolino et.al (2013)

encontraram para a densidade básica o valor de 0,473 g/cm<sup>3</sup> enquanto Trianoski et al. (2013) obteve o valor de 0,54 g/cm<sup>3</sup>.

Para Iwakiri et al. (2002), Soares et al. (2017) e Scatolino et al. (2013) a produção de painéis aglomerados é favorecida pelo uso de materiais de baixa densidade, uma vez que, quanto menor a densidade do material a ser utilizado maior é a razão de compactação do painel, resultando em uma maior taxa de compressão e ligação entre as partículas, e, possivelmente, em painéis com melhores propriedades mecânicas.

Contudo, destaca-se que os elevados valores de razão de compactação resultantes da inserção de partículas de baixa densidade nos painéis, significam uma maior quantidade de material para que se alcance a densidade nominal das chapas, assim, poderão existir um maior número de sítios hidroxílicos disponíveis na mistura, o que pode aumentar a instabilidade dimensional dos painéis (IWAKIRI et al., 2005; SOARES et al., 2017).

Além disso, Scatolino et al. (2017) mencionam que uma maior quantidade de partículas indica também menor disponibilidade de adesivo, podendo acarretar um baixo desempenho dos painéis em propriedades como a ligação interna.

Os valores obtidos para o pH das partículas utilizadas na produção dos painéis aglomerados são apresentados na tabela 4.

Tabela 4 - Valores obtidos para o pH das as partículas da madeira de *Pinus oocarpa* e do endocarpo de *Acrocomia aculeata*.

<b>Material</b>	<b>pH</b>
<i>Pinus oocarpa</i>	5,053 (0,12)
<i>Acrocomia aculeata</i>	5,237 (0,06)

Os valores entre parêntese indicam o desvio padrão.

Fonte: Do autor (2020).

Para Maloney (1993), o pH é um dos fatores mais importantes para a escolha da matéria-prima a ser utilizada na produção dos painéis aglomerados. Isso porque influencia diretamente na cura da resina e, conseqüentemente, na qualidade das chapas (IWAKIRI et al., 2001).

Segundo Iwakiri et al. (2012), a faixa ideal de pH para as partículas varia de 3,0 a 5,5. Partículas com pH muito ácido podem retardar a cura do adesivo fenol-formaldeído, necessitando de quantidades maiores de catalisador, enquanto aquelas com pH pouco ácido tendem a causar a pré-cura desse adesivo durante a prensagem, prejudicando a colagem dos

painéis e seu desempenho físico-mecânico. Observa-se que ambas as partículas utilizadas possuem pH na faixa indicada pela literatura.

### 3.2 Esbeltez das partículas do endocarpo de Macaúba

A Tabela 5 apresenta os valores médios para comprimento, diâmetro e índice de esbeltez das partículas do endocarpo de Macaúba.

Tabela 5 - Valores médios de comprimento, diâmetro e índice de esbeltez das partículas do endocarpo de Macaúba.

<b>Comprimento (mm)</b>	<b>Diâmetro (mm)</b>	<b>Índice de esbeltez</b>
1,14 (0,18)	0,69 (0,16)	1,66

Os valores entre parêntese indicam o desvio padrão.

Fonte: Do autor (2020).

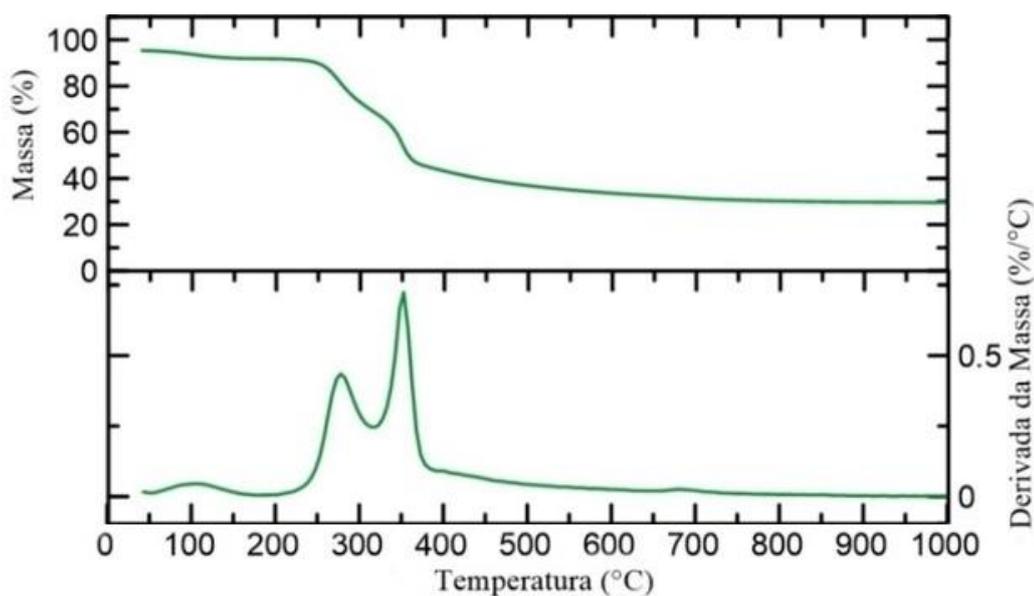
A geometria das partículas interfere fundamentalmente no desempenho dos painéis, uma vez que, influencia na área de contato e na disponibilidade de adesivo por partícula (FERREIRA, 2013). Segundo Mutjé et al. (2007), índices de esbeltez próximos de 100 são considerados ótimos enquanto aqueles abaixo de 10 são ineficientes para fornecer reforço à matriz. Já Iwakiri et al. (2005) indica para fins de reforço da matriz, partículas da camada interna com índice de esbeltez próximo a 60 e para a camada externa, próximos à 120.

Nota-se que o índice de esbeltez das partículas do endocarpo de Macaúba utilizadas neste trabalho, estão abaixo dos valores indicados pela literatura especializada. No entanto, Araújo (2016) estudando a influência da geometria das partículas da camada interna nas propriedades de painéis particulados de três camadas também obteve resultados inferiores aqueles recomendados na literatura, destacando que esse fato está relacionado com a origem da matéria – prima, visto que se trata de aproveitamento de resíduos. Além disso, destaca que ajustes no processamento das partículas podem resultar no aumento da razão de esbeltez e melhoria nas propriedades dos painéis.

### 3.3 Análise Termogravimétrica do endocarpo de Macaúba

A análise termogravimétrica resultou nas curvas mostradas na Figura 2. Na análise termogravimétrica cada substância química e suas moléculas constituintes degradam a temperaturas específicas. Isso significa que quedas significativas na curva de decaimento de peso mostram a desintegração de um determinado composto. Ao derivar a curva DTGA de peso, essas quedas são convertidas em picos característicos identificáveis no gráfico de TGA e DTG.

Figura 2 - Curva TGA e DTGA da análise termogravimétrica do endocarpo da macaúba.



Fonte: Do autor (2020).

Os picos no gráfico que se encontram até a temperatura de 100° C são devidos à evaporação da água livre presente na amostra analisada (GHAHRI et al., 2017). A degradação da celulose começa a ocorrer a 210 ° C, seguida por grande reação endotérmica de despolimerização com picos de DTG a 360 ° C. A despolimerização da hemicelulose ocorre entre 180 e 350° C. A ausência de um pico específico de degradação referente à lignina ocorre provavelmente devido a sua decomposição térmica ocorrer, quando comparado aos demais componentes em uma faixa mais ampla de temperatura, apenas uma pequena parte dos componentes da lignina se decompõe em temperaturas inferiores a 450 °C, cerca de 40%. A degradação da lignina ocorre entre 250 e 500 ° C. A maioria das degradações de substâncias ocorrem entre 300 e 600° C. (CHUPIN et al., 2015; RENNECKAR ET AL., 2005; JESKE et al., 2012; PEREIRA et al., 2013; VÁRHEGYI et al. 1997). O último evento, de 600 a 750° C, é região característica de decomposição dos carbonatos, contidos em restos de vegetais (SMIDT et al., 2005).

A composição química da Macaúba parece com a madeira pois também apresenta celulose, hemicelulose e lignina na sua estrutura. Normalmente nos materiais lignocelulósicos ocorre uma maior região de degradação antes da degradação da celulose devido à degradação das hemiceluloses, no entanto, a maioria das hemiceluloses são removidas após a extração da água. Além disso, não perde mais de 60% do seu peso original por gasificação antes de chegar a 350 ° C, tendo a celulose um declínio acentuado a 360 ° C com uma perda de peso total de 80% (NEGRO et al., 2003).

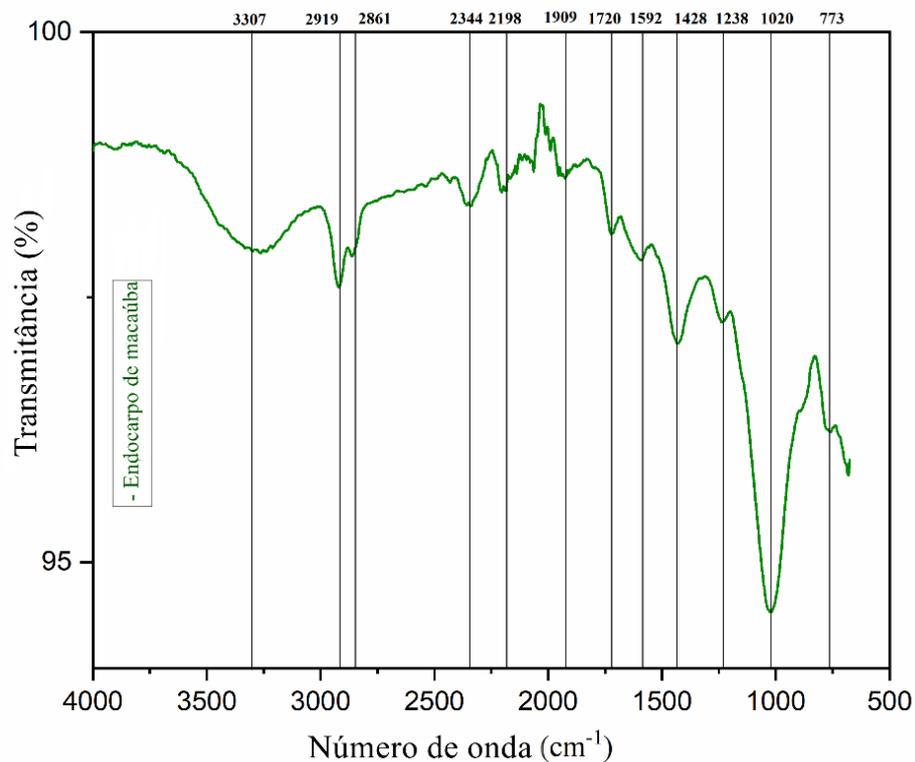
Para o endocarpo de Macaúba, um pico pode ser visto na curva DTGA em torno dessas temperaturas. O que provavelmente aconteceu foi uma sobreposição de picos que tornou impossível analisar cada componente separadamente. Além deste pico grande, dois menores podem ser observados em torno de 200-250°C e 400-430°C. De acordo com a literatura mencionada, provavelmente se deve à degradação inicial da hemicelulose e inicial da maior parte dos compostos da lignina, respectivamente.

### **3.4 Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) do endocarpo de Macaúba**

Os picos do FTIR encontrados no endocarpo da macaúba podem ser visualizados no gráfico da Figura 3.

A banda larga em 3307  $\text{cm}^{-1}$  devido às vibrações de hidrogênio de grupos OH da água, alcoóis, fenóis ou ácidos carboxílicos, bem como para hidrogênio de amidas; as bandas em 2919 e 2861  $\text{cm}^{-1}$  foram relativas aos estiramentos C-H de grupos metilenos de ácidos graxos e vários componentes alifáticos; a banda em 1720  $\text{cm}^{-1}$  foi atribuída ao estiramento C=O de aldeídos, cetonas e ácidos carboxílicos; a banda em 1592  $\text{cm}^{-1}$  é referente às vibrações C=C de estruturas aromáticas e de grupos C=O conjugados com anel aromático; bandas na região de 1592  $\text{cm}^{-1}$  é característica de amidas secundárias; uma banda em 1428  $\text{cm}^{-1}$  causada pela absorção de algumas estruturas alifáticas, grupos OH fenólicos, grupos COO- , vibrações de anéis aromáticos e carbonatos; e uma banda de absorção em 1020  $\text{cm}^{-1}$  é atribuído aos grupos silicatos, para éteres aromáticos e finalmente para estiramento C-O de polissacarídeos (SMIDT, 2007; JOURAIPHY et al., 2005; SMIDT et al., 2005; BADDI et al., 2004).

Figura 3 - Picos da análise de FTIR referente ao endocarpo da macaúba



Fonte: Do autor (2020).

As bandas em 2919 e 2861 cm<sup>-1</sup> (Tabela 7), ambas, foram encontradas em todos os espectros de FTIR e são referentes à gordura e lipídios; a banda em 1592 cm<sup>-1</sup> pode ser atribuída como sendo original de proteína; a banda em torno de 1600 cm<sup>-1</sup> é característica de absorção de madeira, frutas, gramas e outras plantas (GRUBE et al., 2006). O espectro de FTIR da lignina apresenta bandas em torno de 1590, 1510 e 1420 cm<sup>-1</sup> característica do esqueleto aromático da estrutura da lignina (FENGEL e WEGENER, 1989).

Tabela 6 - Picos do FTIR do endocarpo da macaúba.

Picos	Bandas
3307	Ligação O-H
2919	Estiramento C-H
2861	Estiramento C-H
2344	Ligações N=C=O
2198	Ligações -C=C-
1909	Anel aromático -C-O
1720	Estiramento C=O
1592	Ligações C = C
1428	Ligação C-H; Ligação C-C
1238	Ligação C-O; Ligação C-O-C; Ligação C-O
1020	Ligações C = C
773	Vibração C-H; Anel aromático -C-O

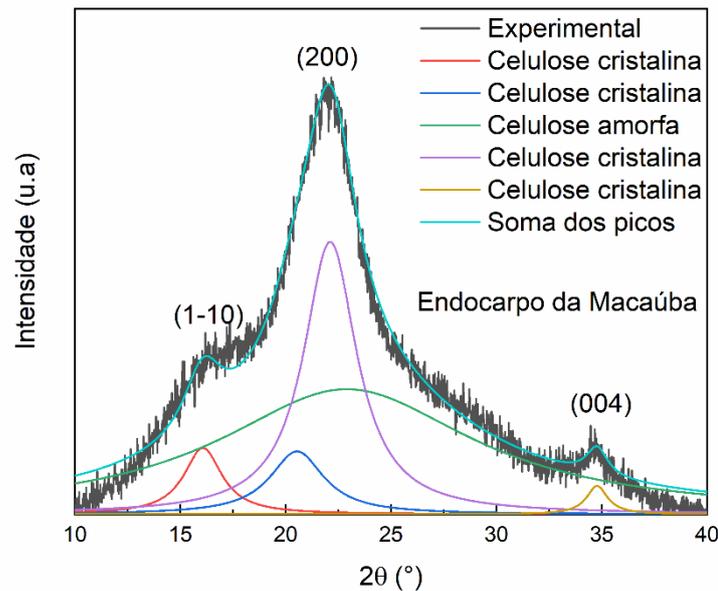
De acordo com a literatura (Baddi, 2004; Fengel, 1989; Ghahri et al., 2017; Grube et al., 2006; Smidt, 2007; Smidt, 2005; Tondi e Petutschnig, 2015).

Os espectros do endocarpo da macaúba mostraram alguns picos característicos, por exemplo, na faixa de  $1592\text{ cm}^{-1}$  e  $1020\text{ cm}^{-1}$  (FIGURA 5). Esses picos são representações de ligações C = C, anéis aromáticos e compostos como flavonóides (compostos que compõem os taninos) e trechos = C-O-C =, componentes oxo-aromáticos, respectivamente. A banda correspondente à ligação O-H representada pelo pico de  $3307\text{ cm}^{-1}$  foi bem definida, com uma banda bem representativa da quantidade de água presente na amostra.

### 3.5 DRX do endocarpo de Macaúba

A Figura 4 mostra o difratograma da amostra do endocarpo de macaúba. O padrão cristalográfico da amostra é típico de um material semi-cristalino, onde regiões altamente ordenadas (cristalinas) são combinadas com regiões menos ordenadas, também conhecidos como fase amorfa (JIN et al., 2016). Os padrões de DRX da amostra exibiram um pico acentuado a aproximadamente  $2\theta = 22,6^\circ$ , o qual foi atribuído ao plano (200) da celulose I cristalina. A celulose I é uma estrutura composta de unidades  $\beta$ - (1  $\rightarrow$  4) -D-glucopiranosose repetidas com blocos de construção de cadeias paralelas de glucose (PÄÄKKO et al., 2007).

Figura 4 - Difração de raios X (DRX) das fibras do endocarpo da macaúba



Fonte: Do autor (2020).

A Tabela 7 mostra os parâmetros cristalográficos do endocarpo de Macaúba. A cristalinidade obtida (38,9%) pela deconvolução de curvas mostra que o endocarpo de macaúba é mais composto por material amorfo como lignina e outros componentes amorfos que não contribuem na cristalinidade do material. O valor de FC encontrado é semelhante aos valores encontrados por outros autores (LACERDA et al., 2016). A amostra apresentou um pequeno tamanho de cristalito (1,79 nm), o que pode contribuir para a baixa cristalinidade (FRENCH; SANTIAGO CINTRÓN, 2013).

Tabela 7 - Parâmetros cristalográficos do endocarpo de Macaúba.

	Fração cristalina – Fc (%)	Tamanho de cristalito – TC (nm)
Endocarpo de Macaúba	38,9	1,79

Fonte: Do autor (2020).

### 3.6 Propriedades físicas dos painéis aglomerados

Para a densidade aparente e umidade na base seca das chapas aglomeradas não houve efeito significativo da adição de partículas do endocarpo de Macaúba nos painéis apresentando

média geral de  $0,59 \text{ g/cm}^3$  associada à umidade de 13,25%.

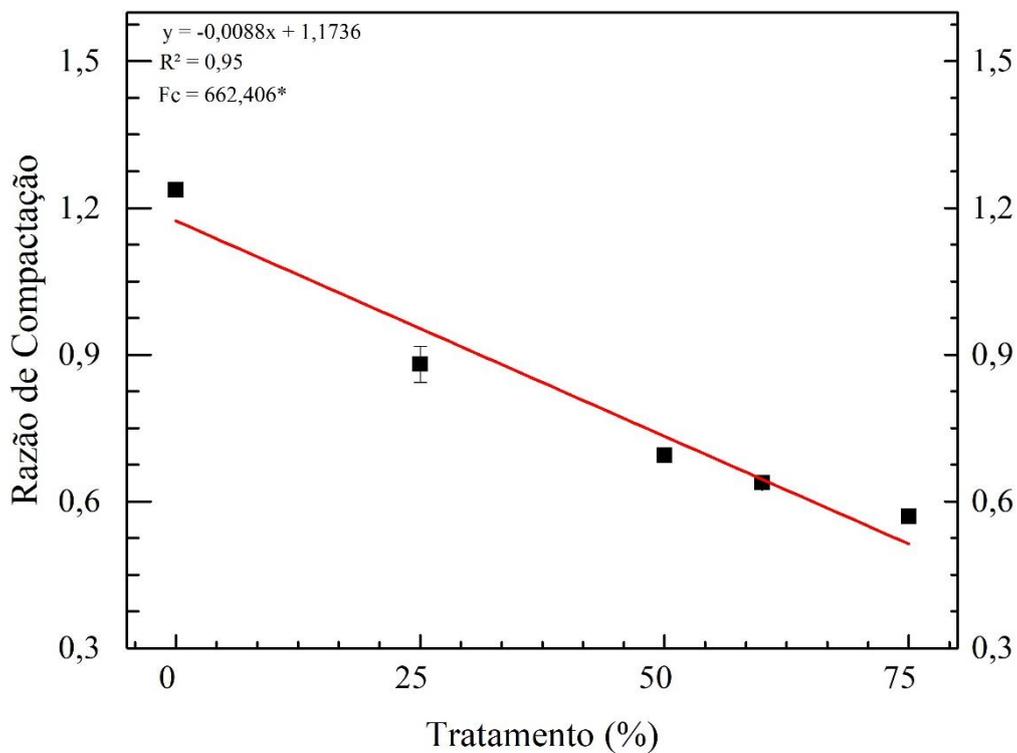
De acordo com a norma CS 236-66 (Commercial Standard, 1968), todos os painéis produzidos foram classificados como de baixa densidade ( $< 0,60 \text{ g/cm}^3$ ). Observa-se que as densidades médias obtidas para os painéis foram inferiores à densidade nominal fixada de  $0,7 \text{ g/cm}^3$ .

Isso pode ser consequência do processo produtivo laboratorial, no qual ocorrem perdas de material durante a mistura com adesivo, formação do colchão de partículas e prensagem dos painéis e ainda pode estar relacionado com o retorno em espessura dos painéis, e consequente aumento de volume, após as chapas serem retiradas da prensa quente.

Alguns autores como, Soares et al. (2017), Melo et al. (2009), Iwakiri et al. (2005), Guimarães Junior et al. (2016), Carvalho et al. (2017) e Guimarães et al. (2019), reportaram resultados similares.

Quanto a razão de compactação, houve diminuição significativa à medida que se adicionou partículas do endocarpo da macaúba (FIGURA 5).

Figura 5 - Razão de Compactação dos painéis aglomerados.



\* Indica valores significativos ao nível de 5%.

Fonte: Do autor (2020).

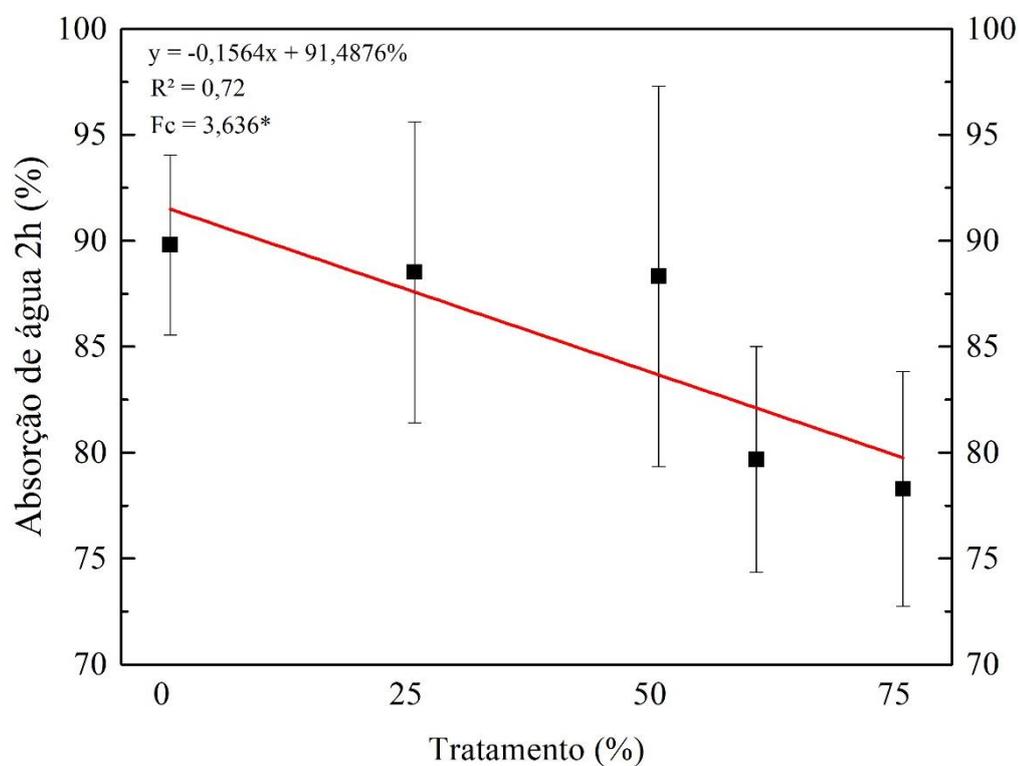
Os autores Carvalho et.al (2017) também relataram a diminuição da razão de compactação dos painéis conforme se adicionou resíduo lignocelulósico com densidade básica maior que a densidade da madeira de *Pinus oocarpa*, inferindo que a diminuição dessa propriedade se deve justamente a alta densidade do resíduo inserido.

Segundo Maloney (1993), para se obter um contato suficiente entre as partículas e uma boa ligação, o valor ideal para a razão de compactação deve variar de 1,3 a 1,6. Nenhum dos painéis produzidos se encontra dentro da faixa preconizada por Maloney (1993), contudo, Guimarães et al. (2019) ressalta que a faixa ideal de razão de compactação estabelecida por esse autor foi baseada em painéis aglomerados produzidos com madeira e não com resíduos lignocelulósicos alternativos, assim, possivelmente, uma nova faixa ideal deve ser estudada.

Os autores Carvalho et. al (2017), Scatolino et al. (2013) e Silva et al. (2016), trabalhando com o uso de resíduos lignocelulósicos para a produção de painéis aglomerados também obtiveram valores para a razão de compactação das chapas fora da faixa estabelecida por Maloney (1993).

Com relação a absorção de água dos painéis, após 2h de imersão, houve uma diminuição estatisticamente significativa conforme se adicionou partículas do endocarpo de Macaúba (FIGURA 6).

Figura 6 - Valores médios de absorção de água dos painéis, após duas horas de imersão, para diferentes porcentagens de partículas do endocarpo de Macaúba.

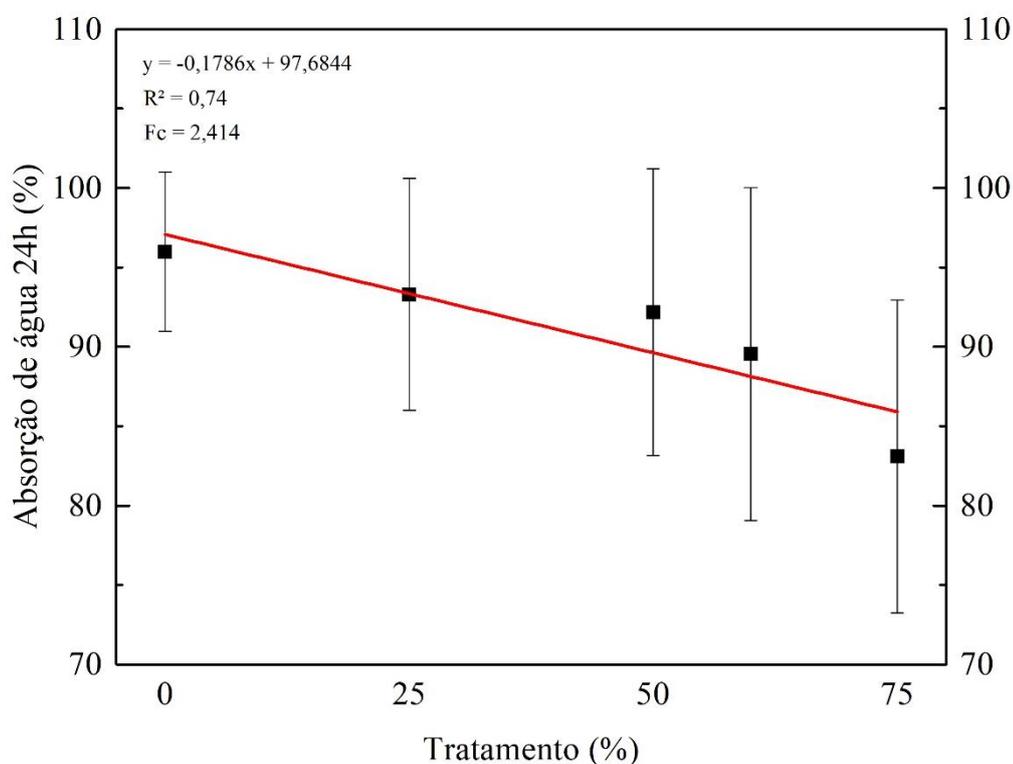


\*valores estatisticamente significativos ao nível de 5%.

Fonte: Do autor (2020).

Já para absorção de água após 24h de imersão, não se observou efeito significativo com relação a adição de partículas do resíduo, sendo que a média dos tratamentos variou de 89,80% a 78,28% (FIGURA 7). Contudo, observa-se uma tendência de diminuição dessa propriedade conforme se aumenta a proporção de partículas do endocarpo de Macaúba no painel.

Figura 7 - Valores médios de absorção de água dos painéis, após vinte e quatro horas de imersão, para diferentes porcentagens de partículas do endocarpo da macaúba.



\*valores estatisticamente significativos ao nível de 5%.

Fonte: Do autor (2020).

Observa-se que o aumento da utilização de partículas do endocarpo de Macaúba em cerca de 1%, provoca diminuição de 0,16% da absorção de água após 2h de imersão.

A melhoria dessa propriedade nas chapas está associada à densidade e à composição química do endocarpo de *Acrocomia Aculeata*. A diminuição da razão de compactação dos painéis com o aumento da porcentagem utilizada de partículas de macaúba, implica em uma menor quantidade de partículas compactadas em um mesmo volume, consequentemente, em menor disponibilidade de sítios hidroxílicos, acarretando em uma menor afinidade desse material com a água (GUIMARÃES JUNIOR et al., 2016; SCATOLINO et.al., 2013; SILVA et.al., 2016).

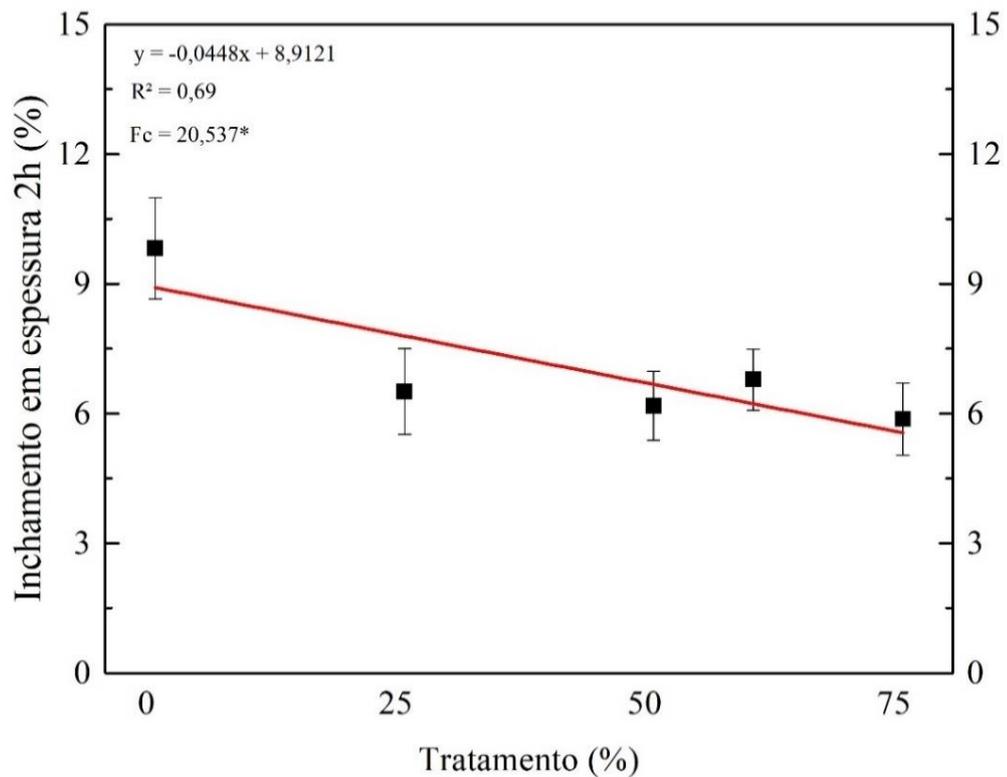
Outro fator que pode ter contribuído para tendência de diminuição da absorção de água dos painéis é o menor teor de holocelulose presente no endocarpo de Macaúba comparativamente à madeira de *Pinus*, indicando menor teor de hemiceluloses e, possivelmente, menor potencial hidrofílico do endocarpo de *Acrocomia aculeata*. A

substituição da madeira de Eucalipto por partículas do pergaminho do café, na produção de painéis aglomerados, também relatou diminuição da absorção de água das chapas após duas e vinte e quatro horas de imersão, encontrando valores variando de 120,54% a 84,72% e 138,08% a 109,44%, respectivamente (SCATOLINO et al., 2017).

Com relação à literatura, os autores Guimarães Junior et al. (2016), utilizando resíduos da cultura de sorgo, obtiveram valores desde 88,71% a 161,56% para duas horas e 95,79% a 175,65% para vinte e quatro horas de imersão. Ambas as variações mencionadas são superiores às obtidas neste trabalho, possivelmente devido ao fato de que nesses estudos foi utilizado adesivo ureia-formaldeído, o qual oferece menor resistência à umidade quando comparado ao adesivo fenol-formaldeído utilizado neste trabalho.

O gráfico da Figura 8 apresenta o ajuste da regressão linear para o inchamento em espessura dos painéis após 2h de imersão. Nota-se uma diminuição significativa dessa propriedade conforme se aumenta a inserção de partículas do endocarpo de Macaúba, sendo que o aumento de 1% de partículas do resíduo implica na diminuição de 0,05% dessa propriedade.

Figura 8 - Valores médios de inchamento em espessura dos painéis, após 2h de imersão, para diferentes porcentagens de partículas do endocarpo de Macaúba.

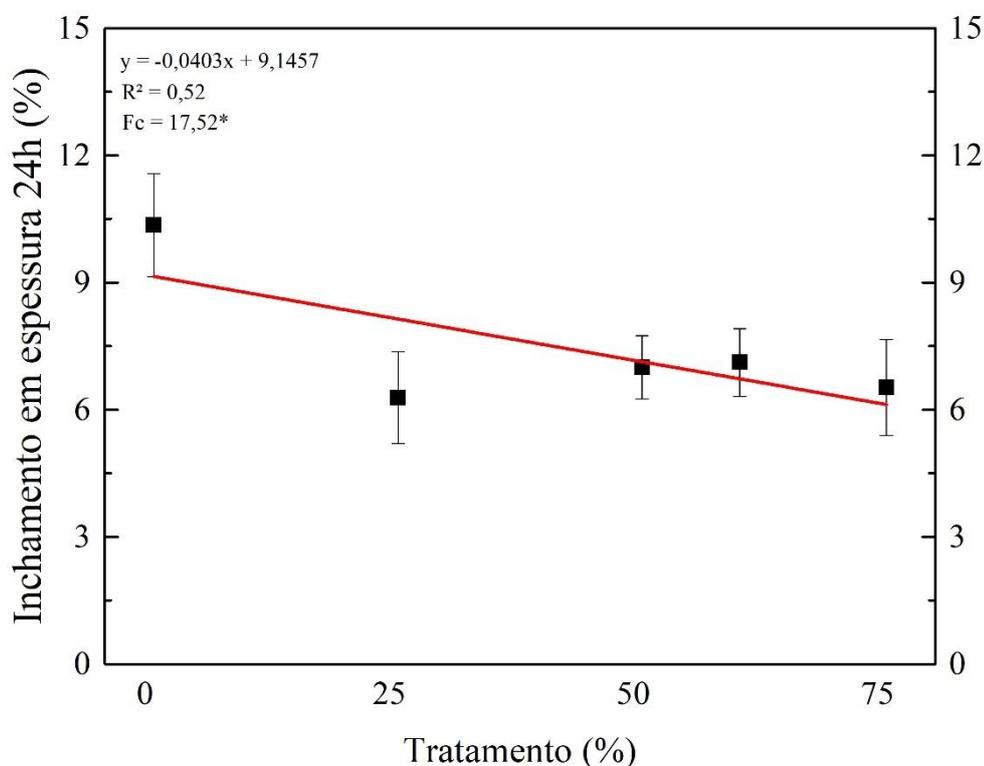


\*valores estatisticamente significativos ao nível de 5%.

Fonte: Do autor (2020).

Para o inchamento em espessura após 24h de imersão, também se nota uma diminuição significativa ao se adicionar partículas do endocarpo de Macaúba (FIGURA 9). Para cada 1% adicionado, observa-se uma diminuição do inchamento em 0,04%.

Figura 9 - Valores médios de inchamento em espessura dos painéis, após 24h de imersão, para diferentes porcentagens de partículas do endocarpo de Macaúba.



\*valores estatisticamente significativos ao nível de 5%.

Fonte: Do autor (2020).

De acordo com Guler, Copur e Tascioglu (2008), o inchamento em espessura dos painéis está relacionado, entre outros fatores, à quantidade disponível de adesivo por partícula e à composição química da matéria prima utilizada. A maior densidade do endocarpo de Macaúba comparada à densidade da madeira de Pinus, implica em uma menor quantidade de partículas para se manter a densidade nominal do painel, assim, existirá maior disponibilidade de adesivo por partícula com o aumento da inserção do resíduo, o que possivelmente contribuiu para a melhor resistência dimensional dos painéis.

Quanto a composição química, o menor teor de extrativos presentes no endocarpo de Macaúba contribuiu para a melhor penetração do adesivo, aumentando a ligação das partículas, resultando em uma diminuição no inchamento em espessura das chapas (ALMEIDA et al., 2015).

Os resultados obtidos neste trabalho para o inchamento em espessura dos painéis foram inferiores aos encontrados por Scatolino et al. (2013), trabalhando com a incorporação do sabugo de milho na produção de painéis aglomerados, que variaram de 25,8% a 18,6%, após

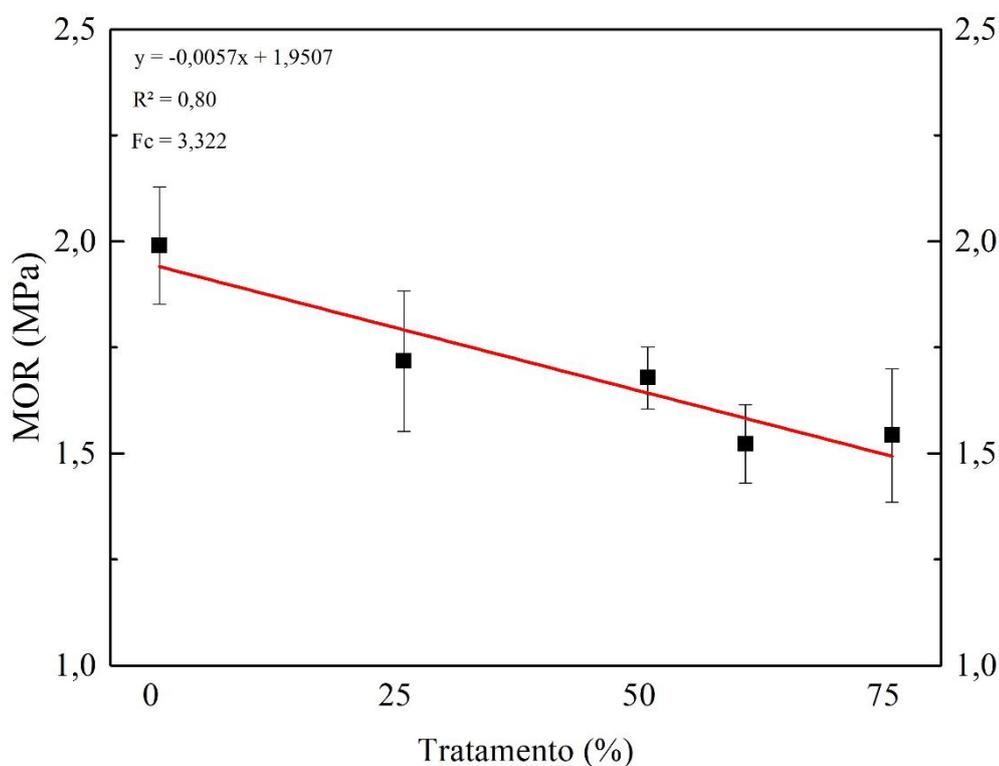
2h de imersão, e de 37% a 30%, após 24h de imersão. No entanto, foram superiores aos obtidos por Ferreira (2013), avaliando o efeito da adição de casca de noz macadâmia em diferentes porcentagens na produção de painéis de *Eucalyptus saligna*, obtendo valores de inchamento em espessura variando de 1,5% a 2%, após 2h de imersão, e de 5% a 11% após 24h de imersão.

Quanto a norma de comercialização ANSI A208.1 (ANSI, 1993), todos os painéis aglomerados produzidos ficaram abaixo do valor máximo de 35% permitido para o inchamento em espessura após 24h de imersão.

### 3.7 Propriedades mecânicas dos painéis aglomerados

O modelo de regressão ajustado em função do aumento da porcentagem de partículas do endocarpo de Macaúba nos painéis aglomerados para os valores de Módulo de Ruptura (MOR) na flexão estática é mostrado na Figura 10.

Figura 10 - Valores médios do Módulo de ruptura dos painéis, na flexão estática, para diferentes porcentagens de partículas do endocarpo da macaúba.



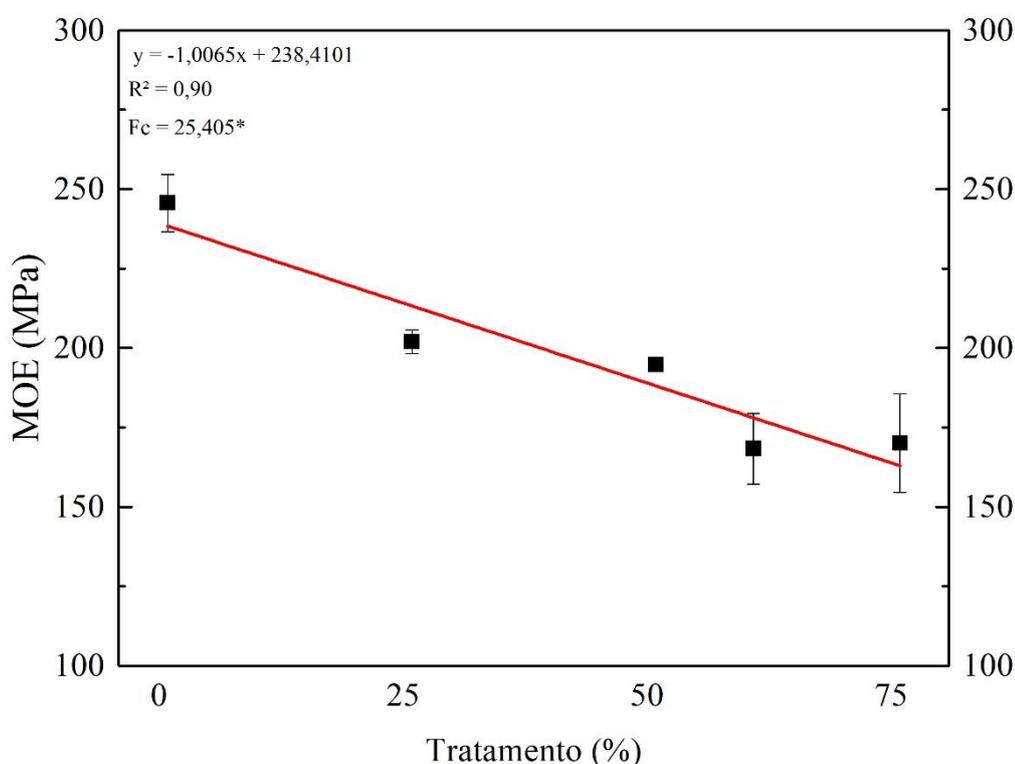
Fonte: Do autor (2020).

Não houve efeito estatisticamente significativo da adição de partículas do endocarpo de

Macaúba no Módulo de Ruptura dos painéis. No entanto, observa-se uma tendência de diminuição dos valores de MOR com o acréscimo do resíduo.

Já para o Módulo de Elasticidade, obteve-se uma diminuição estatisticamente significativa conforme se aumenta a utilização de partículas do resíduo nos painéis (FIGURA 11). Um aumento de cerca de 1% na porcentagem de partículas do resíduo implica em uma diminuição de 1% MPa no MOE.

Figura 11 - Valores médios do Módulo de elasticidade dos painéis, na flexão estática, para diferentes porcentagens de partículas do endocarpo de Macaúba.



\*valores significativos ao nível de 5%.

Fonte: Do autor (2020).

A diminuição dessas propriedades mecânicas pode estar relacionada à alta densidade da matéria-prima utilizada. Segundo Kelly (1977) ao se comparar painéis de mesma densidade produzidos com madeiras de baixa e de alta densidade, aqueles produzidos com a madeira mais densa apresentarão menor desempenho mecânico e maior estabilidade dimensional.

Além disso, partículas com índice de esbeltez dentro da faixa citada no item 3.2 tendem a distribuir melhor as tensões nas chapas e, conseqüentemente, melhoram as propriedades mecânicas dos painéis na flexão estática (MOE e MOR) (IWAKIRI et al., 2005). Assim, como as partículas do endocarpo de Macaúba possuem índice de esbeltez inferior ao indicado na

literatura, possivelmente não são suficientes para garantir reforço à matriz, acarretando na diminuição das propriedades dos painéis na flexão estática.

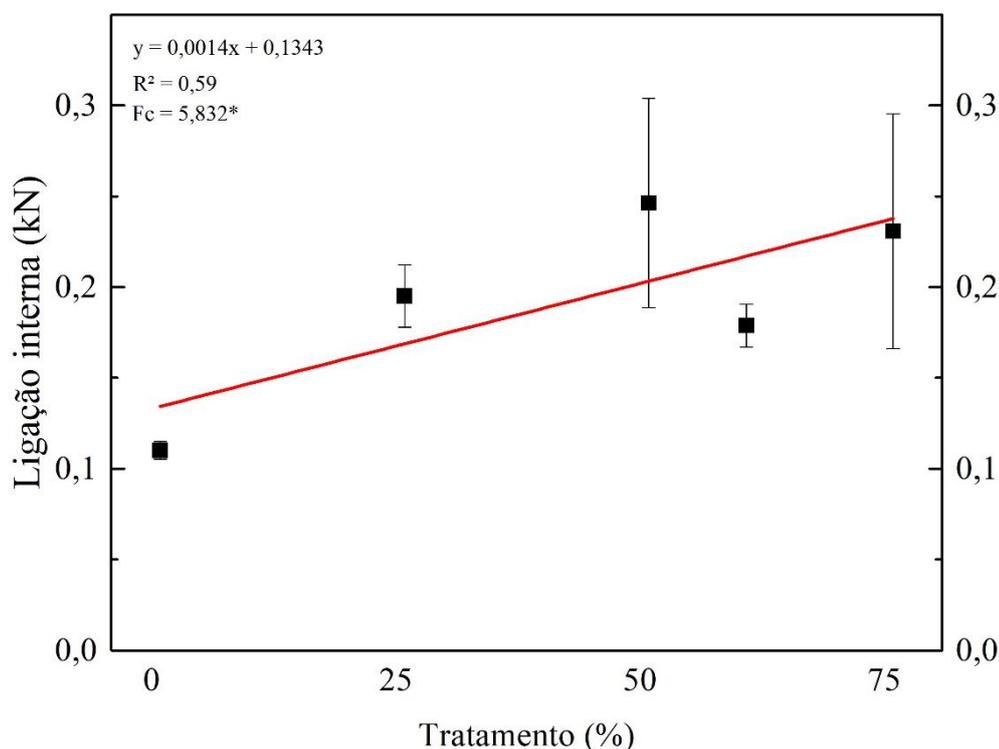
Com relação à literatura, Scatolino et al. (2017), trabalhando com a incorporação de pergaminho do grão de café na produção de painéis aglomerados de baixa densidade, também observaram diminuição das propriedades mecânicas, MOR e MOE, estando os valores variando de 8,2 MPa a 4,4 MPa e de 650 MPa a 401 MPa, respectivamente. Valores acima dos encontrados neste trabalho.

Já os autores Sekaluvu, Tumutegyereize e Kiggundu (2013) investigando os fatores que interferiam na produção e propriedades de painéis aglomerados produzidos com espiga de milho, encontraram valores de MOR variando de 0,32 a 1,50 MPa e MOE variando de 5,89 a 61,82 MPa, inferiores aos obtidos neste trabalho.

De acordo com a norma de comercialização ANSI A208.1 (ANSI, 1993), os painéis aglomerados de baixa densidade devem apresentar valor mínimo para MOR e MOE de 3 MPa e 550 MPa, respectivamente. Assim, constata-se que nenhum dos painéis produzidos atenderam a referida normativa. Em um trabalho sobre a valorização do bagaço de cana-de-açúcar na produção de painéis aglomerados de baixa densidade, Soares et.al (2017) também obteve para os painéis valores de MOR e MOE inferiores aos exigidos pela norma mencionada, atribuindo o fato às peculiaridades do processo de produção laboratorial.

Quanto à ligação interna dos painéis, observou-se uma tendência de aumento desta propriedade com a inserção de partículas do endocarpo da macaúba (FIGURA 12).

Figura 12 - Valores médios de Ligação interna dos painéis para diferentes porcentagens de partículas do endocarpo da macaúba.



\*valores significativos ao nível de 5%.

Fonte: Do autor (2020).

Segundo Guimarães Junior et al. (2016), a ligação interna é a propriedade que avalia a eficiência da colagem entre as partículas. Assim, o aumento desta propriedade com a inserção de resíduo pode ser relacionado com a alta densidade do endocarpo de Macaúba, uma vez que, uma menor razão de compactação implica em uma maior disponibilidade de adesivo por partícula, afetando significativamente as propriedades da chapa quando submetida a esforços de tração (SCATOLINO et al., 2013).

Outro fator que acarreta em uma maior disponibilidade de adesivo é o menor índice de esbeltez das partículas do endocarpo de Macaúba. De acordo com Irle et al. (2012) essas partículas possuem menor área superficial específica acarretando maior disponibilidade de adesivo e melhor desempenho das chapas em propriedades de ligação interna. Apresenta destaque também, o valor de menor teor de extrativos presentes no endocarpo de Macaúba comparativamente a madeira de Pinus (Tabela 3), resultando na diminuição do teor de extrativos nos painéis com o aumento da inserção do resíduo.

Semelhante a este trabalho, Scatolino et al. (2017) avaliando as propriedades mecânicas de painéis aglomerados de baixa densidade produzidos com madeira de eucalipto e variadas

porcentagens de pergaminho de café, também obtiveram um aumento da ligação interna das chapas para até 30% de inserção do resíduo, encontrando valores variando de 0,25 a 0,34 MPa. Já Soares et al. (2017) obteve em seu estudo valores de ligação interna variando de 0,19 a 0,11 MPa, similares aos retratados neste trabalho.

Com relação a norma de comercialização ANSI A208.1 (ANSI, 1993), painéis aglomerados de baixa densidade devem atingir o valor mínimo de 0,10 MPa para a ligação interna. Assim, todos os painéis produzidos atendem ao valor estabelecido pela normativa.

A Tabela 8 mostra os valores obtidos para dureza Janka e arrancamento de parafusos, face e topo, dos painéis aglomerados produzidos.

Tabela 8 - Valores de Dureza Janka e Arrancamento de parafusos dos painéis para diferentes porcentagens de partículas do endocarpo da macaúba.

Tratamento	<i>Acrocomia aculeata</i> (%)	Dureza Janka (kN)	Arrancamento de Parafusos (kN)	
			Topo	Superfície
Referência	0	1,40 (11,00)	0,19 (2,62)	0,37 (15,32)
T1	25	1,25 (28,86)	0,17 (6,67)	0,33 (9,73)
T2	50	1,21 (7,59)	0,17 (2,51)	0,32 (8,36)
T3	60	1,17 (11,40)	0,16 (3,85)	0,31 (8,33)
T4	75	1,19 (27,04)	0,16 (8,09)	0,26 (5,97)

\*Médias seguidas da mesma letra em uma mesma coluna não diferem entre si pelo teste Tuckey a 5% de significância. Valores entre parênteses indicam o coeficiente de variação experimental (CV).

Fonte: Do autor (2020).

Não foi observado efeito estatisticamente significativo, pelo teste de Tuckey a 5% de significância, da adição de partículas do endocarpo da macaúba em relação à dureza Janka e ao arrancamento de parafusos dos painéis.

Para a Dureza Janka, obteve-se média geral de 1,23 kN. Em um estudo sobre o efeito da adição em variadas porcentagens de partículas de Paricá em painéis aglomerados, Naumann et al. (2008) também não obteve diferenças significativas nos valores de Dureza Janka dos painéis com relação à adição de partículas de Paricá, encontrando médias variando de 1,47 a 3,9 kN.

Já em um estudo sobre a qualidade de painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de madeira e capim-annoni, Baldin et al. (2016), relata relação não significativa da Dureza Janka dos painéis com relação a inserção de resíduos, encontrando média geral variando de 1,487 a 1,057 kN para painéis produzidos com ureia formaldeído.

Para o arrancamento de parafusos com relação à superfície e ao topo dos painéis obteve-

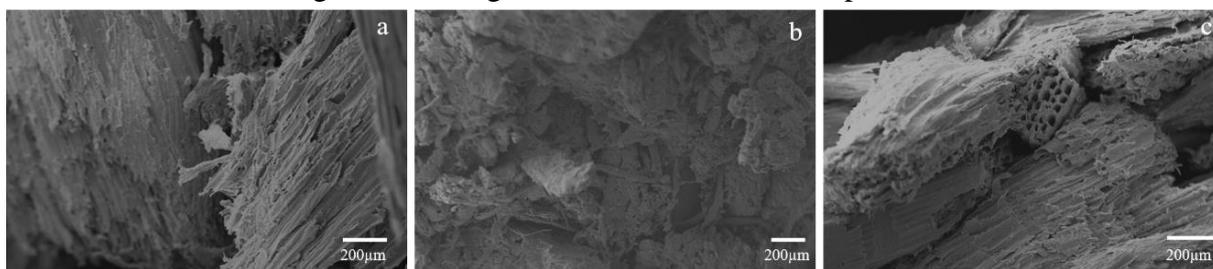
se média geral de 0,32 kN e 0,17 kN, respectivamente. Em relação ao relatado em outros estudos, observa-se resultados inferiores aos obtidos por Trianoski et al. (2013), com variação de 1,031 a 1,482 kN, para o ensaio de superfície, e de 0,846 a 1,156 kN para o ensaio de topo, por outro lado, similares aos encontrados por Dacosta et al. (2005), em seu estudo das propriedades de chapas de partículas aglomeradas fabricadas com resíduos do processamento mecânico da madeira de *Pinus elliottii*, com variação de 0,456 a 0,745 kN.

Segundo a norma de comercialização ANSI A208.1 (ANSI, 1993), painéis aglomerados de baixa densidade devem atender ao valor mínimo de 0,4 kN para o arrancamento de parafusos com relação a superfície dos painéis. Dessa forma, nenhum dos painéis produzidos atende aos requisitos da normativa, mas apresentam valores bem próximos ao exigido. Não há especificações para os valores de arrancamento de parafusos com relação ao topo e para a dureza Janka dos painéis.

### 3.8 Microscopia Eletrônica de Varredura

Na Figura 13 encontra-se as imagens de MEV dos miolos dos painéis aglomerados.

Figura 13 - Imagem de MEV do miolo dos painéis.



a: Painel referência (100% Pinus); b: Tratamento T1 (25%) de macaúba; c: Tratamento T3 (75%) de macaúba.

Fonte: Do autor (2020).

Nota-se que as partículas foram envolvidas com eficiência pelo adesivo, sendo que na Figura 15a tem -se uma distribuição em camadas mais finas e homogêneas, devido à maior concentração de partículas. Já nas Figuras 15b e 15c observa-se uma distribuição em camadas mais grosseiras, havendo acúmulo do adesivo em algumas áreas, resultado da menor concentração de partículas em um mesmo volume.

## 4. CONCLUSÃO

O endocarpo de *Acrocomia aculeata* apresenta composição química semelhante à madeira contendo celulose, hemicelulose e lignina em sua estrutura. Destaca-se o baixo teor de extrativos e alta quantidade de lignina quando comparado à madeira de *Pinus oocarpa*, fato que para aplicações, como a produção de painéis de madeira aglomerada, é uma vantagem. O resíduo possui alta densificação, podendo ser comparado a madeiras de alta densidade.

Quanto aos painéis aglomerados, para todos os tratamentos produzidos a densidade nominal foi inferior à densidade fixada de 0,70 g/cm<sup>3</sup>, sendo todos os painéis classificados como de baixa densidade, de acordo com a norma CS-236-66. A razão de compactação dos painéis possui relação decrescente com a adição de partículas do endocarpo de Macaúba, fato que está relacionado à alta densidade do resíduo.

Já quanto às propriedades físicas, os painéis apresentaram diminuição da absorção de água e da instabilidade dimensional com o aumento da utilização de partículas do endocarpo de Macaúba. Todos os painéis produzidos atenderam à norma de comercialização ANSI A208.1, em relação ao inchamento em espessura após 24h de imersão.

Quanto as propriedades mecânicas, houve uma diminuição do desempenho na flexão estática e um aumento da ligação interna dos painéis conforme se aumentou a utilização de partículas do resíduo. Não foi observada interferência significativa da adição de partículas do endocarpo de Macaúba nas propriedades de dureza Janka e arrancamento de parafusos dos painéis.

Nenhum dos painéis produzidos atendem à norma ANSI A208.1 quanto aos requisitos módulo de ruptura, módulo de elasticidade e arrancamento de parafusos com relação à superfície. No entanto, todos os painéis atendem à normativa quanto aos valores de ligação interna.

Finalmente, os painéis produzidos possuem potencial para utilização em aplicações não estruturais, como divisórias, forros, revestimentos decorativos e enchimento de portas. O endocarpo de *Acrocomia aculeata* comprovou ser um resíduo com grande potencial para geração de novos produtos industriais.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à Unidade Experimental de Painéis de Madeira (UEPAM), ao núcleo de estudos GÓleo, ambos da Universidade Federal de Lavras. Agradecem também à

CAPES, CNPQ, FAPEMIG e a Universidade Federal de Lavras (UFLA) pela concessão de bolsa de Iniciação Científica pelo programa institucional PIBIC-UFLA.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, K. N. S. de et al. **Qualidade de painéis aglomerados produzidos com Eucalyptus urophylla e resíduos da desrama de Acacia mangium Willd.** Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 43, n. 107, p. 713-720, 2015.
- American National Standards Institute. **ANSI A208.1:** Mat-formed wood particleboard: Specification; National Particleboard Association. Gaithersburg, 1993.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 1037:** standard methods of evaluating properties of wood-base fiber and particles materials. Philladelphia, 2006.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 143-94:** methods of testing of small clear specimens. [S.l.], 1996.
- ARAÚJO, C. K C. **Influência da geometria das partículas da camada interna nas propriedades de painéis particulados de três camadas.** 2016. 47 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Industrial Madeireira, Universidade Estadual Paulista, Itapeva, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13999:** Papel, cartão, pastas celulósicas e madeira — Determinação do resíduo (cinza) após a incineração a 525 °C. Rio de Janeiro; 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810:** painéis de madeira de média densidade. Parte 2: requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2006. 69p
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14853:** Madeira - Determinação do material solúvel em etanol-tolueno e em diclorometano e em acetona. Rio de Janeiro; 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7989:** Pasta celulósica e madeira - Determinação de lignina insolúvel em ácido. Rio de Janeiro; 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941:** Madeira – Determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. 6p.
- BADDI, G.A. et al. **Characterization of fulvic acids by elemental and spectroscopic (FTIR and <sup>13</sup>C-NMR) analyses during composting of olive mill wastes plus straw.** Bioresource Technology, n. 93, p. 285-290, 2004.
- BALDIN, T. et al. **Qualidade de painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de madeira e capim-annoni.** Revista Brasileira de Ciências Agrárias, [S.l.], v. 11, n. 3, p. 230-237, 2016.
- BERTOLINI, M. S. **Emprego de resíduos de Pinus tratado com preservante CCB na produção de chapas de partículas homogêneas utilizando resina poliuretana à base de mamona.** 2011. 126 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.
- BULIGON, E. A. **Características físico-mecânicas de painéis de lâminas paralelas reforçados com fibra de vidro.** 2011. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.
- 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.

CARVALHO, K.M. et al. **Aproveitamento de resíduo de madeira de *Hymenaea courbaril* para produção de painéis aglomerados convencionais em comparação com painéis de *Pinus oocarpa***. Enciclopédia Biosfera, Goiânia, v. 14, n. 25, p. 127-135, 20 jun. 2017.

CHUPIN, L. et al. **Study of thermal durability properties of tannin–lignosulfonate adhesives**. Journal Of Thermal Analysis And Calorimetry, [S.l.], v. 119, n. 3, p. 1577-1585, 2014.

CICONINI, G. **Caracterização de frutos e óleo de polpa de macaúba dos biomas Cerrado e Pantanal do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil**. 2012. 150 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Biotecnologia, Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande, 2012.

COMMERCIAL STANDARD. **CS 236-66**: Mat formed wood particleboard. [S.l.], 1968.

DACOSTA, L. P. E. **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.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 52362**: Testing of wood chipboards, bending test, determination of bending strength. Berlin, 1982. 40 p.

DIN. NORMEN FÜR HOLZFASERPLATEN SPANPLATTEN SPERRHOLZ. **DIN 52362**: Testing of wood chipboards bending test, determination of bending strength. Berlin, 1982 40p.

FARIA, D. et al. **Classificação dos coeficientes de variação para as propriedades de painéis de madeira aglomerada**. Agrarian Academy, Goiânia, v. 6, n. 11, p. 95-101, 2019.

FARRAPO, C. L. et al. **Utilização da madeira de *Pterocarpus violaceus* na produção de painéis aglomerados**. Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 42, n. 103, p. 329-335, 2014.

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood—Chemistry, Ultrastructure, Reactions**. 2nd Edition, Walter de Gruyter, Berlin, 1989.

FERREIRA, B.S. **Propriedades físico-mecânicas de painéis particulados de *Eucalyptus saligna* com adição de casca de noz macadâmia**. 2013. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

FIORELLI, J et al. **Painéis de partículas à base de bagaço de cana e resina de mamona – produção e propriedades**. Acta Scientiarum. Technology, v. 33, n. 4, p.401-406,2011.

FREIRE, C.S. et al. **Propriedades físicas de painéis aglomerados comerciais confeccionados com bagaço de cana e madeira**. Floresta e Ambiente, [S.l.], v. 18, n. 2, p. 178-185, 2011.

FRENCH, A.D.; SANTIAGO C. M. **Cellulose polymorphy, crystallite size, and the Segal Crystallinity Index**. Cellulose, v. 20, p. 583–588, 2013.

GHAHRI, S. et al. **Improving Water Resistance of Soy-Based Adhesive by Vegetable Tannin**. Journal Of Polymers And The Environment, [S.l.], v. 26, n. 5, p. 1881-1890, 2017.

GRUBE, M. et al. **Evaluation of sewage sludge-based compost by FTIR spectroscopy**. Geoderma, [S.l.], v.130, p.324-333, 2006.

GUIMARÃES JUNIOR, J. B. et al. **Produção de painéis aglomerados da madeira de desrama de *Acacia mangium***. Pesquisa Florestal Brasileira, [S.L.], v. 33, n. 76, p. 387-391, 31 dez. 2013.

GUIMARÃES JUNIOR, J.B. et al. **Inclusão de resíduo da cultura de sorgo em painéis aglomerados de eucalipto**. Pesquisa Florestal Brasileira, [S.I.], v. 36, n. 88, p. 435-442, 2016.

GUIMARÃES JUNIOR, J.B. et al. **Inclusão de resíduo da cultura de sorgo em painéis aglomerados de eucalipto**. Pesquisa Florestal Brasileira, [S.I.], v. 36, n. 88, p. 435, 11 jan. 2017.

GUIMARÃES, I.I. et al. **Aproveitamento do casquilho de soja para a produção de painéis aglomerados convencionais de baixa densidade**. Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal Of Agricultural Sciences, [S.I.], v. 14, n. 2, p. 1-6, 2019.

GULER, C.; COPUR, Y.; TASCIOGLU, C. **The manufacture of particleboards using mixture of peanut hull (*Arachis hypoqaea* L.) and European Black pine (*Pinus nigra* Arnold) wood chips**. Bioresource Technology, [S.I.], v. 99, n. 8, p. 2893-2897, 2008.

IBÁ – **Indústria Brasileira de Árvores**. Relatório IBA 2019. São Paulo. 2019.

IRLE, M. A. et al. **Wood Composites**. In: ROWELL, R. M. Handbook of wood chemistry and wood composites. Boca Raton: CRC Press, 2012. Cap. 10.

IWAKIRI, S. et al. **Avaliação das propriedades de painéis aglomerados produzidos com resíduos de serrarias de nove espécies de madeiras tropicais da Amazônia**. Acta Amazonica, Manaus, v. 42, n. 1, p. 59-64, 2012.

IWAKIRI, S. et al. **Avaliação do potencial de utilização da madeira de *Schizolobium amazonicum* "Paricá" e *Cecropia hololeuca* "Embaúba" para produção de painéis aglomerados**. Acta Amazonica, [S.I.], v. 40, n. 2, p. 303-308, 2010.

IWAKIRI, S. et al. **Chapas de madeira aglomerada**. In: IWAKIRI, S. et al. Painéis de madeira. [S.I.], 2002. p. 103-131.

IWAKIRI, S. et al. **Produção de chapas de madeira compensada de cinco espécies de pinus tropicais**. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 71-77, 2001.

IWAKIRI, S. et al. **Produção de painéis aglomerados de alta densificação com uso de resina melamina-ureia-formaldeído**. Cerne, Lavras, v. 11, n. 4, p. 323-328, 2005.

JESKE, H. **Development of a thermogravimetric analysis (TGA) method for quantitative analysis of wood flour and polypropylene in wood plastic composites (WPC)**. Thermochemica Acta, [S.L.], v. 543, p. 165-171, 2012.

JIN, E. **On the polymorphic and morphological changes of cellulosenanocrystals (CNC-I) upon mercerization and conversion to CNC-II**. Carbohydrate Polymers, [S.I.], v. 143, n. 5, p. 327-335, 2016.

JOURAIPHY, A. et al. **Chemical and spectroscopic analysis of matter transformations during composting of sewage Green plant waste**. International Biodeterioration and Biodegradation, v. 56, p. 101-108, 2005.

KELLY, M. W. **A critical literature review of relationship between processing parameters and physical properties of particleboard**. Madison: U.s. for. Prod. Lab. General Technical Report, 1977. 66 p.

- LACERDA, V. S. et al. **Efficient microwave-assisted acid hydrolysis of lignocellulosic materials into total reducing sugars in ionic liquids.** Cellulose Chemistry And Technology, [s.l.], v. 50, n. 7-8, p. 761-770, 2016.
- LANGFORD, J. I.; WILSON, A. J. C. **Scherrer after sixty years: A survey and some new results in the determination of crystallite size.** Journal of Applied Crystallography, v. 11, n. 2, p. 102–113, 1978.
- LORENZI, J. M. A. C. **Acrocomia aculeata (Jacq.) Lodd. ex Mart. - Areceaceae: Bases para o extrativismo sustentável.** 2006.
- MACHADO, J. S. **Placas de derivados de madeira: tipos de placas e sua especificação.** Lisboa: LNEC Divisão de edições e Artes Gráficas, 2005.
- MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing.** San Francisco: M. Freeman, 1993. 689 p.
- MELO, R. F. et al. **Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de madeira e casca de arroz.** Ciências Florestais, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 449-460, 2009.
- MENDES, R. F. et al. **Efeito da incorporação de casca de café nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados de Eucalyptus urophylla S.T. Blake.** Ciênc. agrotec., Lavras, v. 34, n. 3, p. 610-617, 2010.
- MENDES, R. F. et al. **Qualidade de painéis aglomerados homogêneos produzidos com a madeira de clones de Eucalyptus urophylla.** Cerne, Lavras, v. 20, n. 2, p. 329-336, jun. 2014.
- MUTJÉ, P. et al. **Full exploitation of Cannabis sativa as reinforcement/filler of thermoplastic composite materials.** Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, [S.I.], v. 38, n. 2, p. 369-377, 2007.
- NASCIMENTO, M.F. **CHP – Chapas de partículas homogêneas: madeiras do nordeste do Brasil.** 143 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.
- NAUMANN, R. B. et al. **Propriedades de chapas fabricadas com partículas de madeira de Eucalyptus urophylla S.T Blake e de Schizolobium amazonicum Herb.** Revista Árvore, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 1143-1150, 2008.
- NDAZI, B. S. et al. **Chemical and physical modifications of rice husks for use as composite panels.** Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, v.38, n. 33, p.925-935, 2007.
- NEGRO, M. J. et al. **Change in various Physical/Chemical Parameters of Pinus Pinaster Wood Pretreatment.** Biomass Bioenergy, v. 25, p. 301-308.
- PÄÄKKÖ, M. et al. **Enzymatic hydrolysis combined with mechanical shearing and high-pressure homogenization for nanoscale cellulose fibrils and strong gels.** Biomacromolecules, [S.I.], v. 8, n. 6, p. 1934-1941, 2007.
- PEREIRA, B. L. C. et al. **Estudo da degradação térmica da madeira de Eucalyptus através de termogravimetria e calorimetria.** Revista Árvore, Viçosa, v. 37, n. 3, p. 567-576, 2013.

- PEREIRA, M. R. N. **Nanopartículas de Hidróxido de Cálcio Suportadas em Carvão Ativado do Endocarpo de Macaúba para Desacidificação de Óleos Vegetais**. 2018. 148 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018. Cap. 4.
- PROTÁSIO, T. P. et al. **Estabilidade térmica de painéis aglomerados de bagaço de cana-de-açúcar e madeira de Pinus spp**. Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 43, n. 107, p. 683-691, 2015.
- RENNECKAR, S. et al. **Compositional analysis of thermoplastic wood composites by TGA**. Journal Of Applied Polymer Science, [S.I.], v. 93, n. 3, p. 1484-1492, 2004.
- RIGUEIRA, J. P. S. et al. **Composição química e digestibilidade in vitro de tortas da macaúba**. Unimontes Científica, Montes Claros, v. 19, n. 2, p. 63-72, 2017.
- RIOS, R.D.F. et al. **Adsorção de fenol no carvão ativado produzido a partir do endocarpo do fruto da macaúba**. In: Anais do XX Congresso brasileiro de Engenharia Química, COBEQ 2014. Florianópolis, 2014. p. 8524-8531.
- ROTARU A.E. et al. **Conductive particles enable syntrophic acetate oxidation between Geobacter and Methanosarcina from coastal sediments**. MBio, v.9, n.3, 2018.
- SAMPAIO, E. J. R. S.; CARDOSO, N. A.; VALADARES, L. F. **Compósitos de borracha natural e edocarpo de macaúba: efeito sobre a coloração e propriedades mecânicas**. In: III ENCONTRO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA EMBRAPA E AGROENERGIA, 2016, Brasília. p. 168-173.
- SCATOLINO, M. V. et al. **Use of maize cob for production of particleboard**. Ciênc.agrotec., Lavas, v. 37, n. 4, p. 330-337, 2013.
- SCATOLINO, M.V. et al. **Eucalyptus wood and coffee parchment for particleboard production: physical and mechanical properties**. Ciência e Agrotecnologia, [S.I.], v. 41, n. 2, p. 139-146, 2017.
- SEKALUVU, L.; TUMUTEGYEREIZE, P.; KIGGUNDU, N. **Investigation of Factors Affecting the Production and Properties of Maize Cob-Particleboards**. Waste And Biomass Valorization, [S.L.], v. 5, n. 1, p. 27-32, 2013.
- SILVA, D. W. et al. **Addition of Different Proportions of Castor Husk and Pine Wood in Particleboards**. Waste And Biomass Valorization, [S.I.], v. 9, n. 1, p. 139-145, 2016.
- SILVA, J. C.; BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O. **Endocarpos de babaçu e de macaúba comparados a madeira de Eucalyptus grandis para a produção de carvão vegetal**. Ipef, [S.I.], n. 34, p. 31-34, 1986.
- SMIDT, E. et al. **Characterization of different decomposition stages of biowaste using FT-IR spectroscopy and pyrolysis-field ionization mass spectrometry**. Biodegradation, v. 16, p. 67-79, 2005.
- SMIDT, E.; MEISSL, K. **The applicability of Fourier transform infrared (FT-IR) spectroscopy in waste management**. Waste Management, [S.I.], v. 27, n. 2, p. 268-276, 2007.
- SOARES, S. S. et al. **Valorização do bagaço de cana-de-açúcar na produção de painéis aglomerados de baixa densidade**. Revista Ciência da Madeira - Rcm, [S.I.], v. 8, n. 2, p. 64-73, 2017.

SOBREIRA, H. F. **Resíduo do coco da macaúba em substituição parcial ao milho e farelo de soja em rações para vacas mestiças lactantes**. 2011. 27 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

TONDI, G.; PETUTSCHNIGG, A. **Middle infrared (ATR FT-MIR) characterization of industrial tannin extracts**. *Industrial Crops And Products*, [S.l.], v. 65, p. 422-428, 2015.

TRIANOSKI, R. et al. **Propriedades físicas e mecânicas de painéis de madeira aglomerada de *Acrocarpus fraxinifolius*, compostos com diferentes percentuais de casca**. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 23, n. 4, p. 761-769, 2013.

VARANDA, L.D. **Produção e avaliação do desempenho de painéis de partículas de *Eucalyptus grandis* confeccionados com a adição de casca de aveia**. 157 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

VÁRHEGYI, G. et al. **Kinetic modeling of biomass pyrolysis**. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, v.42, n.1 42, p. 73-87, 1997.