

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE FLORESTAS**  
**PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E**  
**FLORESTAIS**

**DISSERTAÇÃO**

**Efeito do uso de Adesivos à base de Lignosulfonato Calcítico e Tanino na  
Produção de Painéis de Partículas de Média Densidade (MDP)**

**Hudson Mota Lima Pereira**

**2021**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS  
E FLORESTAIS**

**Efeito do uso de Adesivos à base de Lignosulfonato Calcítico e Tanino na  
Produção de Painéis de Partículas de Média Densidade (MDP)**

**HUDSON MOTA LIMA PEREIRA**

*Sob a orientação do Professor*  
**Roberto Carlos Costa Lelis**

*e Co-orientação dos Professores*  
**Fabricio Gomes Gonçalves**  
**Fernando José Borges Gomes**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Ciência e Tecnologia de Produtos Florestais.

Seropédica, RJ  
Agosto de 2021

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

P436e      Pereira, Hudson Mota Lima, 1990-  
              Efeito do uso de Adesivos à base de Lignosulfonato  
              Calcítico e Tanino na Produção de Painéis de Partículas  
              de Média Densidade (MDP) / Hudson Mota Lima Pereira.  
              Rio de Janeiro, 2021.  
              43 f.

              Orientador: Roberto Carlos Costa Lelis.  
              Coorientador: Fabrício Gomes Gonçalves.  
              Coorientador: Fernando José Borges Gomes.  
              Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal  
Rural do Rio de Janeiro, PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
CIÊNCIAS AMBIENTAIS E FLORESTAIS, 2021.

              1. Chapas de partículas. 2. Painéis. 3. Colagem. 4.  
Resíduo Lignocelulósico. I. Lelis, Roberto Carlos  
Costa, 1965-, orient. II. Gonçalves, Fabrício Gomes,  
1972-, coorient. III. Gomes, Fernando José Borges,  
1983-, coorient. IV Universidade Federal Rural do Rio  
de Janeiro. PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS  
AMBIENTAIS E FLORESTAIS. V. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

**HUDSON MOTA LIMA PEREIRA**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Ciência e Tecnologia de Produtos Florestais.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 27/08/2021

Roberto Carlos Costa Lelis. Prof. Dr. UFRRJ  
(Orientador)

Natália Dias de Sousa. Profª Drª. UFRRJ

Yonny Martinez Lopez. Dr. UFES



Emitido em 27/08/2021

TERMO Nº 968/2021 - PPGCAF (12.28.01.00.00.00.27)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 18/09/2021 11:26 )

NATALIA DIAS DE SOUZA  
CoordCGEFlo (12.28.01.00.00.00.26)  
Matrícula: ###728#2

(Assinado digitalmente em 10/09/2021 21:58 )

ROBERTO CARLOS COSTA LELIS  
IF (12.28.01.26)  
Matrícula: ###192#4

(Assinado digitalmente em 09/09/2021 17:47 )

YONNY MARTINEZ LOPEZ  
Passaporte: ##127#2

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrj.br/documentos/> informando seu número: **968**, ano: **2021**, tipo: **TERMO**, data de emissão: **09/09/2021** e o código de verificação: **9be65e804d**

## AGRADECIMENTOS

Foi um árduo caminho até aqui, o descrédito na ciência que o governo tem disseminado à população média, ligado à super desvalorização da área ambiental também fomentada pelo atual governo e a crise gerada pela pandemia se tornaram, sem dúvidas, para muitas pessoas uma barreira, um muro que bloqueia o caminho; bem, de fato tive grandes dificuldades em focar no meu trabalho, pensar nos fatos de forma lúcida e, até mesmo, vislumbrar um caminho possível à diante. Mesmo assim, apesar dos muitos contras, sempre há personagens que nos ajudam a lidar com a angústia, preocupações e ansiedade geradas como resultado do conjunto de efeitos dessas adversidades. Falado isso, eu tenho a felicidade em agradecer aos meus pais Celso, Sandra, ao meu irmão Leonardo e também a toda minha família por todo apoio, incentivo e ótimas intenções que sempre tiveram com relação a mim; claramente não seria facilmente possível a conclusão deste trabalho sem o apoio incondicional de vocês, muito obrigado! Agradeço também aos meus amigos queridos Jeferson, Mariana, Verônica, Felipe, Bia, Alejandro, Letícia, Thalita, Tharles, Flávia, Amanda, Guilherme, João, Caios, espero de verdade que nossa amizade cada vez cresça mais e continuemos seguindo um caminho de harmonia e gratidão. Agradeço ao Professor Dr. Roberto Carlos Costa Lelis pela orientação e suporte, ao Professor Dr. Fabrício Gomes por toda ajuda e orientação durante a fabricação dos painéis! Agradeço a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, pela oportunidade e apoio nas diversas partes do curso de mestrado. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## RESUMO

PEREIRA. Hudson Mota Lima. **Efeito do uso de Adesivos à base de Lignosulfonato Calcítico e Tanino na Produção de Painéis de Partículas de Média Densidade (MDP)**. 2021. 47p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2021.

Este trabalho teve como objetivo avaliar as propriedades de painéis MDP (Medium Density Particleboard) fabricados com materiais alternativos aos utilizados na indústria comercialmente. Foram utilizados como partículas o bagaço da cana-de-açúcar e a madeira de *Eucalyptus* sp., bem como os adesivos à base de lignosulfonato e de tanino. Primeiramente, foram desenvolvidos os adesivos utilizados para confecção dos painéis, a saber: Tanino-Formaldeído e a mistura Tanino + Lignosulfonato na proporção de 80:20 respectivamente, ambos com teor de sólidos de 50%. Os adesivos foram avaliados quanto ao pH, tempo de formação de gel, viscosidade e densidade. Os painéis foram produzidos com dimensões de 30x30x1,27 cm utilizando uma pressão de 5 MPa e sob 160 °C. Foram realizados 8 tratamentos, sendo dois tipos de adesivos (100% tanino e mistura de tanino-lignosulfonato na razão de 80:20) e 4 composições de partículas (100% madeira e mistura de madeira/bagaço de cana nas proporções de 90:10; 80:20 e 70:30). Após a fabricação, os painéis foram avaliados quanto às suas propriedades físicas e mecânicas. Nos ensaios físicos, os painéis foram testados quanto à absorção de água e inchamento de espessura, teor de umidade, densidade gravimétrica e densidade por raio X. Nos ensaios mecânicos, os painéis foram testados quanto ao módulo de elasticidade e ruptura e a tração perpendicular (ligação interna). Para a análise estatística, foi utilizado o software R, para desambiguação, o teste de Scott Knott foi utilizado quando necessário ( $p < 0,05$ ). Quanto às propriedades dos adesivos, foram obtidos resultados relevantes somente na viscosidade, onde o adesivo à base de tanino puro se mostrou com valores maiores (603,78 cP) em relação ao adesivo com misturas de tanino-lignosulfonato (80:20), com valores médios de 487,13 cP. Na densidade, todos tratamentos obtiveram médias semelhantes, exceto o tratamento T8, que foi o único que divergiu em média, tendo um valor de 506,87 g/cm<sup>3</sup>. Para o inchamento em espessura, as médias variaram de 24,15% a 35,57%, sendo os tratamentos que utilizaram lignosulfonato na composição do adesivo os de maiores médias. O mesmo efeito foi percebido no teste de absorção de água, os painéis com lignosulfonato como componente adesivo foram os que tiveram médias maiores, sendo o T8 com média de 101,06%, o de maior média e o T7 com a menor média de 78,65%. Avaliando os testes mecânicos, o teste de tração perpendicular obteve um resultado diferenciado para um dos tratamentos, sendo o T1 o único que se destacou de forma positiva dos demais, obtendo a melhor média e sendo o único que, estatisticamente, se diferenciou dos outros. Já na flexão estática temos duas análises realizadas, o módulo de ruptura, que não obteve diferenças significativas entre as médias, porém tendo os tratamentos T3, T6 e T7 como maiores médias e o módulo de elasticidade que obteve diferenças significativas entre T1 e T2, tendo as maiores médias, T3, T4 e T5, tendo médias de 832,64 MPa até 913,54 MPa e, por fim, T7, T6 e T8, que obtiveram as menores médias, sendo T8 a menor, com 680,57 MPa, e praticamente a metade da média de T1, que foi a maior média. Pode-se concluir que os painéis com adesivos utilizando lignosulfonato como componente obtiveram resultados inferiores quando comparados com os de tanino puro, principalmente no que diz respeito a testes com umidade e o teste de tração perpendicular, já no que diz respeito às partículas, há uma gradual perda de resistência quanto mais se substitui a madeira pelo bagaço de cana, o que mostra que é possível ser utilizado, porém somente para usos que não requerem maior resistência.

**Palavras-chave:** Chapas de partículas, Painéis, Colagem, Resíduo lignocelulósico

## ABSTRACT

PEREIRA, Hudson Mota Lima. **Effects of the use of Tannin and Calcitic Lignosulfonate based Adhesives for the production of Medium Density Particleboard Panels (MDP)**. 2021. 47p. Dissertation (Master of Environmental Science and Forestry). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2021.

The reconstituted wood panels are well developed options for the use of solid wood in products. This work was carried out in partnership with the UFES Wood Technology Laboratory, which provided one of the materials (Tannin) and the space for producing the panels. This work aimed to evaluate MDP (Medium Density Particleboard) panels made with alternative materials to those used in the industry commercially. The sugarcane bagasse and Eucalyptus sp. wood was used as particles, as well as the tannin and lignosulfonate based adhesives in contrast to the phenol and formaldehyde urea used frequently in the factories. First, the adhesives used to make the panels were developed: Tannin formaldehyde and the mixture Tannin + Lignosulfonate in the proportion of 80:20 respectively, both with a proportion of 50% in solids content. After finishing the preparation of the adhesives, they were tested for pH, gel formation time, viscosity and density. With the adhesives ready and tested, the manufacturing process of the panels began. These were produced with dimensions of 30x30x1.27 cm<sup>3</sup> using a pressure of 5 MPa and under 160 degrees celsius of temperature, following a series of steps from its assembly to pressing in the machine with the supervision of Prof. Dr. Fabrício from UFES. The physical and mechanical tests were performed at the Physics and Mechanics Laboratory of Madeira at UFRRJ, under the supervision of Prof. Dr. Alexandre Miguel. In the physical tests, the panels were tested for water absorption and thickness swelling, moisture content, gravimetric density and density by X-ray. In the mechanical tests, the panels were tested for elasticity and rupture modulus and perpendicular traction, which tests the internal connection between adhesives-wood. For statistical analysis, software R was used at a 5% significance level and, for disambiguation, the Scott Knott test was used when necessary. For the properties of the adhesives, relevant results were obtained only in viscosity, where the tannin-based adhesive showed higher values (603.78 cP) compared to the Lignosulfonate-based adhesive, which showed lower values, therefore, less viscous (487.13 cP). About the density, all treatments obtained similar averages, except treatment 8, which was the only one that diverged on average, having a value of 506.87 g/cm<sup>3</sup>, well below average 573.26 g/cm<sup>3</sup> of Treatment 7. For thickness swelling, the means varied from 24.15% to 35.57%, with the treatments that used Lignosulfonate in the adhesive composition being the highest averages. The same effect could be seen in the water absorption test, the panels with Lignosulfonate, as an adhesive component, had the highest averages, for example the T8 with 101.06% average, the highest average and T7 with the lowest average of 78.65%. Evaluating the mechanical tests, the perpendicular traction test obtained a different result for one of the treatments, T1 being the only one that stood out positively from the others, obtaining the best average and being the only one that, statistically, differed from the others. In static flexion, we have two analyzes performed, the rupture module (MOR), which did not obtain significant differences between the means, but with treatments 6, 7 and 3 as the highest means and the elasticity module (MOE) which obtained significant differences between T1 and T2, having the highest averages, T3, T4 and T5, with

averages from 832.64 MPa to 913.54 MPa and, finally, T7, T6 and T8, which obtained the lowest averages, with T8 the lowest, with 680.57 MPa, and practically half of the T1 average, which was the highest average. It can be concluded that the panels with adhesives using Lignosulfonate as a component obtained inferior results when compared to those of pure tannin, mainly with regard to tests with humidity and the perpendicular tensile test, as far as the particles are concerned, there is a gradual loss of resistance the more wood is replaced by sugarcane bagasse, which shows that it is possible to be used, but for uses that require greater resistance, this substitution is not advisable.

**Key words:** Particleboard, Panels, Gluing, Lignocellulosic waste

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Fluxograma do processo de fabricação de painéis de madeira aglomerada. ....	5
<b>Figura 2</b> - Amostra de lignosulfonato calcítico em pó. ....	13
<b>Figura 3</b> - Peneira mecânica utilizada para dimensionar partículas. ....	14
<b>Figura 4</b> - Encoladeira utilizada para o processo de mistura do adesivo com as partículas. ....	20
<b>Figura 5</b> - Colchão de partículas após acomodação na caixa formadora sobre a na chapa de alumínio, pronta para prensagem em alta temperatura e pressão. ....	21
<b>Figura 6</b> - Prensa termo hidráulica utilizada para fabricar os painéis em altas temperaturas. ....	21
<b>Figura 7</b> - Densitômetro de raio X do Laboratório de Painéis de Madeira, UFES. ....	22
<b>Figura 8</b> - Máquina universal de ensaios mecânicos, Laboratório de Ensaios Mecânicos, DPF/IF/UFRRJ. ....	23
<b>Figura 9</b> - Valores médios de Inchamento em Espessura (%) (IE) após 2 horas de imersão em água (%) para painéis MDP de madeira de eucalypto e bagaço de cana-de-açúcar, fabricados com adesivos à base de taninos e lignosulfonatos. ....	30
<b>Figura 10</b> - Valores médios de Absorção de Água (%) (AA) após 2 horas de imersão em água para painéis MDP de madeira de eucalypto e bagaço de cana-de-açúcar, fabricados com adesivos à base de taninos e lignosulfonatos. ....	32
<b>Figura 11</b> - Valores médios de Tração perpendicular (Ligação Interna) para painéis MDP de madeira de eucalypto e bagaço de cana-de-açúcar, fabricados com adesivos à base de taninos e lignosulfonatos. ....	34
<b>Figura 12</b> - Valores médios de Módulo de Ruptura (MOR) (MPa) para painéis MDP de madeira de eucalypto e bagaço de cana-de-açúcar, fabricados com adesivos à base de taninos e lignosulfonatos. ....	36
<b>Figura 13</b> - Valores médios de Módulo de Elasticidade (MOE) (MPa) para painéis MDP de madeira de eucalypto e bagaço de cana-de-açúcar, fabricados com adesivos à base de taninos e lignosulfonatos. ....	37

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Tipos de partículas geradas no processo de produção de madeira serrada e desdobros	7
<b>Tabela 2</b> - Tratamentos utilizados no trabalho e seus respectivos fatores .....	18
<b>Tabela 3</b> - Itens e quantidade (g) de partículas e adesivos utilizados na confecção de cada tratamento .....	19
<b>Tabela 4</b> - Valores médios para Tempo de gel, Viscosidade, Teor de Sólidos e pH para as soluções de tanino puro e de tanino modificado com lignosulfonato .....	26
<b>Tabela 5</b> - Valores médios de densidade pelo método gravimétrico e Raio X dos painéis fabricados .....	28
<b>Tabela 6</b> - Teste de Scott-Knott para densidade gravimétrica entre os tratamentos .....	29
<b>Tabela 7</b> - Teste de Scott-Knott para densidade, obtida pelo densitômetro de raio X, entre os tratamentos .....	29
<b>Tabela 8</b> - Teste de Scott-Knott para Inchamento de espessura entre os tratamentos .....	31
<b>Tabela 9</b> - Teste de Scott-Knott para Absorção de água entre os tratamentos .....	33
<b>Tabela 10</b> - Teste de Scott-Knott para Tração Perpendicular entre os tratamentos .....	35
<b>Tabela 11</b> - Teste de Scott-Knott para Módulo de ruptura (MOR) em MPa .....	36
<b>Tabela 12</b> - Teste de Scott-Knott para Módulo de Elasticidade (MOE) em MPa .....	38

## SUMÁRIO

RESUMO .....	I
ABSTRACT.....	II
LISTA DE FIGURAS .....	IV
LISTA DE TABELAS .....	V
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	4
2.1. Painéis aglomerados e MDP (Medium Density Particleboard) .....	4
2.2. Cana-de-açúcar .....	5
2.3. Eucalipto.....	6
2.4. Geometria das partículas .....	7
2.5. Adesão e adesivos .....	8
2.5.1. Viscosidade.....	9
2.5.2. Tempo de gel .....	9
2.5.3. Teor de sólidos .....	9
2.5.4. valor pH .....	9
2.6. Processo sulfito e lignosulfonato.....	10
2.7. Tanino .....	11
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	13
3.1. Obtenção dos materiais.....	13
3.2. Dimensionamento das partículas e secagem .....	13
3.3. Propriedades físicas das partículas .....	14
3.3.1. Determinação do teor de umidade das partículas .....	14
3.3.2. Determinação da densidade básica das partículas .....	15
3.4. Preparação dos adesivos e caracterização de suas propriedades .....	15
3.4.1 Teor de sólidos .....	16

3.4.2 Valor pH.....	16
3.4.3 Tempo de formação do gel.....	16
3.4.4 Viscosidade.....	16
3.4.5 Densidade das soluções .....	17
3.5. Produção dos painéis e Caracterização de suas propriedades.....	17
3.5.1. Delineamento Experimental .....	17
3.5.2. Confeção dos painéis MDP .....	18
3.5.3. Ensaio físico dos painéis .....	22
3.5.3. Ensaio mecânico dos painéis .....	23
3.6. Análise estatística .....	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
4.1. Propriedades físicas das partículas .....	25
4.2. Propriedades dos adesivos.....	25
4.3. Densidade dos painéis por gravimetria e densitômetro de raio x .....	27
4.4. Inchamento em espessura (IE) dos painéis para os diferentes tratamentos.....	30
4.5. Absorção de água (AA) dos Painéis .....	31
4.6. Ensaio de tração perpendicular dos painéis (Ligação Interna - LI) .....	34
4.7. Ensaio de Flexão Estática dos Painéis .....	35
5. CONCLUSÃO.....	39
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	40

## 1. INTRODUÇÃO

A madeira é um material rico em diversidade, onde suas propriedades se diferenciam de acordo com características como espécie, clima do local, manejo e idade, dentre outras. Com isso, muitas dessas propriedades intrínsecas à espécie e ao seu manejo são passadas para os materiais derivados.

Apesar do alto grau de heterogeneidade, a madeira é amplamente utilizada como material para diversos fins, desde os mais básicos e não nobres, até os fins mais elaborados, nobres, de topo de cadeia produtiva. Alguns desses fins podem ser evidenciados como a utilização da madeira pela construção civil, como acontece mais amplamente em países estrangeiros como os Estados Unidos, na construção de habitações e nas estruturas (ZENID, 2011), e no setor de móveis, onde além da qualidade e longevidade, é bem visada a estética do material. Nesse aspecto, a madeira se sobressai comparada a vários outros materiais existentes no mercado.

Os painéis de madeira reconstituída são também alvos bem requisitados das indústrias de móveis, pelo seu menor custo e maior facilidade de manuseio, quando comparados à madeira sólida. Com isso, novas tecnologias estão sempre sendo implantadas neste setor que tem crescido muito nos últimos anos, devido ao maior controle no processo produtivo e pesquisas relacionadas ao material. Há diversos tipos de painéis, que se diferenciam nos métodos que são produzidos; como exemplo, podemos listar o MDF (Medium Density Fiberboard), que é feito com fibras de materiais lignocelulósicos e o MDP (Medium Density Particleboard), que é feito com partículas de materiais lignocelulósicos ou outros tipos de materiais, como plástico, por exemplo (BIAZUS, 2010).

O MDP é mundialmente difundido e seu uso e produção tem crescido em vários países. Este material inicialmente foi uma alternativa ao uso de madeira maciça, pois estas eram utilizadas em larga escala aliada com o corte de árvores nativas, o que era péssimo ambientalmente. Hoje, após muito avanço nas pesquisas e experimentos utilizando como material-teste o MDP, houve uma evolução significativa no processo produtivo e na qualidade do produto final.

Além de madeira, na produção de painéis de MDP, podem ser utilizados todo e qualquer material lignocelulósico, tornando-se possível a criação de um produto final com características sustentáveis e excelentes propriedades físico-mecânicas (FIORELLI et al., 2012). Um desses

materiais é o bagaço da cana-de-açúcar, que é um resíduo muito abrangente na produção de biocombustíveis, como o etanol.

A cana de açúcar é um dos produtos que mais gera capital para o país, já que sua produção é bem significativa e os usos são diversos, desde para alimentação, até para combustível veicular. O Brasil é um dos maiores produtores de cana-de-açúcar no mundo, contando com cerca de 665 milhões de toneladas ao ano e, dessa produção, cerca de 53% foi gerada pelo estado de São Paulo (IBGE, 2017), sendo um grande pólo dessa produção e, também evidenciando a cana como um dos produtos mais bem valorizados no país. O bagaço da cana é um resíduo utilizado normalmente para queima na geração de energia, mas há uma quantidade grande deste resíduo e há interesse em utilizá-lo para fins mais nobres, pois com isso aumenta-se o valor aquisitivo e há uma maior versatilidade na comercialização do mesmo, o que pode contribuir para um aumento da lucratibilidade das empresas, com a utilização de um resíduo que fatalmente seria descartado.

Outro componente essencial para produção do MDP é o adesivo, que é intimamente ligado aos fenômenos de adesão e coesão, e responsável pela colagem das partículas umas às outras. Os adesivos mais comumente utilizados são Fenol formaldeído e Uréia formaldeído. Os adesivos que utilizam Uréia Formaldeído apresentam certos contratempos, devido a sua baixa resistência à ação da umidade e liberação do gás formaldeído, podendo ser potencialmente danosos ao meio ambiente e prejudiciais aos humanos pela sua possibilidade de toxicidade (ZAU et al, 2014). Com isso, há pesquisas em desenvolvimento onde o fenol ou uréia são substituídos por materiais mais sustentáveis ao meio ambiente, a exemplo do tanino obtido da casca de algumas espécies como Acácia negra (*Acacia mearnsii*). Outro material que vem sendo estudado na substituição de adesivos sintéticos é o lignosulfonato, resíduo da produção de celulose pelo processo sulfito, sendo um processo ácido, ao contrário do *kraft*, que utiliza um licor alcalino para o cozimento dos cavacos de madeira. Diferentes tipos de lignosulfonatos podem ser obtidos, dependendo do processo de polpação utilizado, dentre eles são mais comuns os de cálcio, sódio, magnésio e amônio (RODRÍGUEZ, 2005). Os lignosulfonatos são largamente utilizados como dispersantes, aglutinantes e emulsificantes em diversos setores da indústria, desde cimento e concreto, fornecendo plasticidade e fluidez ao concreto (OLIVEIRA, 2010, citado por SILVA, 2016), até a indústria de fertilizantes como matéria-prima para obtenção de material húmico (HERNANDEZ, 2007, citado por SILVA, 2016).

A produção de painéis utilizando materiais alternativos tem crescido no meio acadêmico e há uma potencialidade para ser levado a nível industrial. Sendo muitas vezes produzidos de

modelos mais simples, onde a fabricação tende a ser menos custosa, podem sim ter um nível interessante de competição no mercado atual.

O objetivo do presente trabalho foi evidenciar a possibilidade de utilização do bagaço de cana junto com madeira como partículas e tanino e lignosulfonato como adesivos para a fabricação de painéis MDP. A hipótese a ser testada é a de que os painéis produzidos por este trabalho terão propriedades físicas e mecânicas dentro dos padrões normativos dos painéis do mesmo tipo, mas que utilizam materiais tradicionais, isto é, partículas de madeira.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Painéis aglomerados e MDP (Medium Density Particleboard)**

Os painéis de madeira podem ser definidos como produtos em que há em sua composição componentes laminares, sarrafos, partículas e fibras, que são obtidos como resíduo da produção de madeira serrada e reconstituídos com a utilização de adesivos (IWAKIRI, 2005). No caso dos painéis de MDP, estes são constituídos basicamente de partículas de materiais fibrosos.

No Brasil há um dos maiores avanços na utilização de madeira reconstituída para produção de painéis, sendo também o país com o maior número de fábricas de última geração para esse produto. Segundo dados da ABIPA (2010), as empresas construíram versáteis e modernos parques industriais destinados à instalação de novas unidades, à atualização tecnológica das plantas já existentes, à implantação de linhas contínuas de produção e aos novos processos de impressão, de impregnação, de revestimento e de pintura.

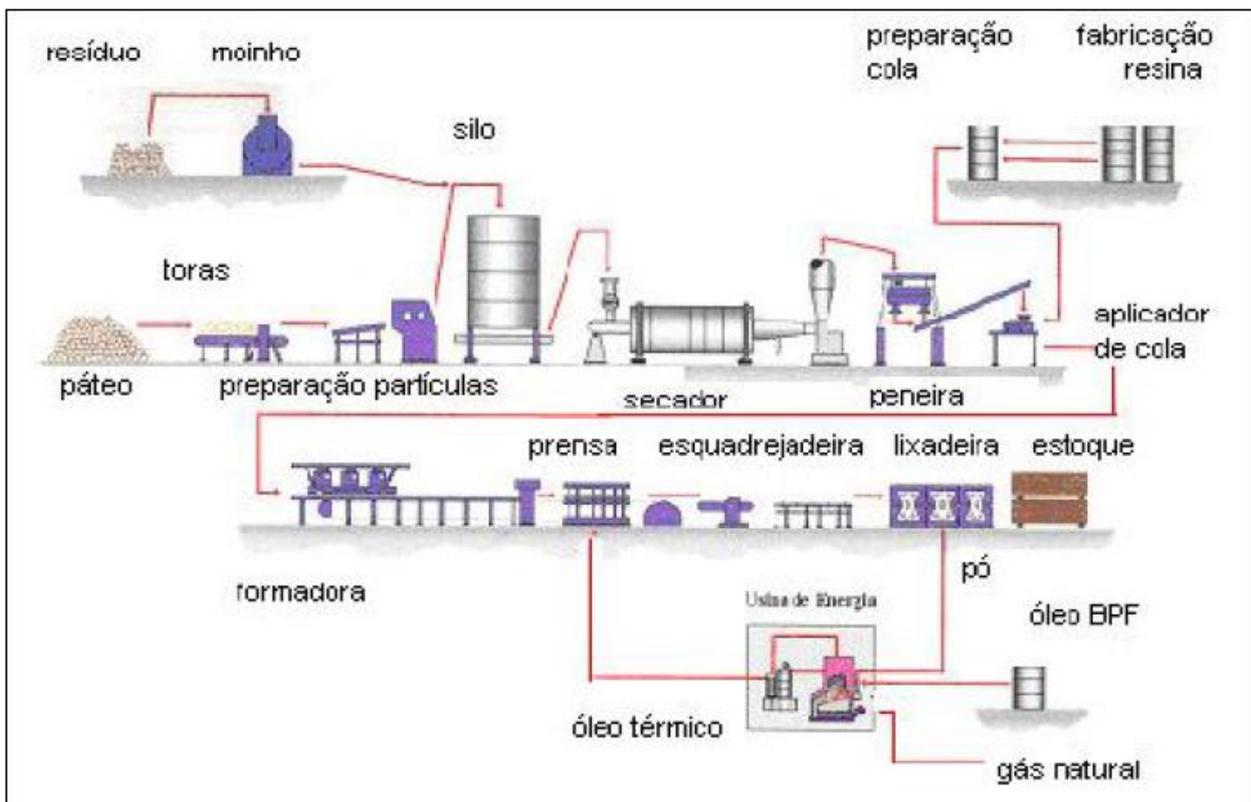
Os painéis MDP são produzidos com partículas e a incorporação de um adesivo, reconstituídos de forma randômica e estabilizados por meio de aplicação de calor e pressão na prensa quente. Maloney (1993) e Iwakiri (2005) afirmam que outros materiais, além da madeira, podem ser utilizados na fabricação de aglomerados.

Os painéis feitos de partículas foram implementados na indústria de mobiliários, pois é um painel homogêneo e de boa estabilidade dimensional, resistente à flexão e ao arranque de parafusos (ABIPA, 2010).

Pelas suas características, o MDP é especialmente indicado para a indústria moveleira e marcenaria, na produção de móveis residenciais e comerciais de linhas retas, e, de forma secundária, na construção civil (REMADE, 2004b). Suas principais aplicações são: portas retas, laterais de móveis, prateleiras, divisórias, tampos retos, tampos pós-formados, base superior e inferior e frentes e laterais de gaveta (ABIPA, 2010).

O processo de produção de painéis de madeira aglomerada envolve as seguintes etapas: geração de partículas, secagem, classificação, aplicação de adesivo e de aditivos químicos, formação do colchão, pré-prensagem, prensagem a quente, resfriamento, acondicionamento, acabamento, classificação, embalagem e armazenamento (IWAKIRI, 2005).

A Figura 1 apresenta um fluxograma do processo produtivo de painéis de madeira aglomerada.



**Figura 1** - Fluxograma do processo de fabricação de painéis de madeira aglomerada.

**Fonte:** Placas do Paraná (2001).

## 2.2. Cana-de-açúcar

A produção de cana-de-açúcar no Brasil é intensamente explorada por produtores, que veem neste cultivo uma oportunidade bem rentável para investir em um produto que tem dado um retorno altamente viável. Segundo dados do censo IBGE (2017), o principal produtor de cana-de-açúcar do país é o estado de São Paulo, mais precisamente no município de Morro Agudo que possui uma produção de 6.953.580,038 ton. das 354.353.921,512 ton. do estado inteiro. Na safra de 2015 para 2016 foram produzidas cerca de 665,6 milhões de toneladas, com um crescimento de 4,9% em relação à safra do ano anterior (BRASIL, 2016). Dentre os produtos listados no Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (IBGE, 2019), até maio de 2019 a cana-de-açúcar foi o produto com maior rendimento médio em Kg/ha, obtendo o número de 74.465 Kg/ha, seguido pelo tomate, com 68.649 Kg/ha.

A cultura da cana no Brasil é uma importante fonte de matéria-prima para a produção de etanol e de eletricidade, perfazendo 18,1% do total de energia primária produzida no país, reduzindo o consumo de combustível fóssil e compensação de carbono (RUDORFF et al., 2010;

WANG et al., 2014), tornando-se uma cultura de grande interesse para as nações, além da extrema importância do açúcar como commodity para o País (FAO, 2017). Ainda sobre dados da FAO (2017), no Brasil houve um aumento nos elementos de área total colhida e produção, cerca de 79% de aumento para área colhida e 85% de aumento de produção.

Segundo Cordeiro et al. (2008), durante o processo da extração do caldo da cana-de-açúcar é gerado grande montante de bagaço (aproximadamente 30% da cana moída). O bagaço é queimado em caldeiras (95% de todo o bagaço produzido no Brasil) para geração de energia; assim, a cinza do bagaço da cana (CBC), gerada como resíduo, e demais subprodutos destinados incorretamente no ambiente podem causar uma gama de problemas ambientais, como mencionado por Rebelato et al. (2013).

### **2.3. Eucalipto**

O gênero *Eucalyptus* spp. pertence à família Myrtaceae, sendo uma espécie nativa da Austrália, do Timor e da Indonésia. Os primeiros plantios se iniciaram na Europa, na Ásia e na África e depois em países como Espanha, Índia, Brasil, Argentina e Portugal (ANDRADE, 1961; GUIA DO EUCALIPTO, 2008).

Segundo Oliveira et al. (1999), o gênero *Eucalyptus* é representado por espécies com alta taxa de crescimento, fuste bem retilíneo, desrama natural e madeira adaptada a diversas condições de uso, ainda que com propriedades tecnológicas das mais variadas. Com isso, no Brasil houve um grande avanço nas tecnologias de implementação do Eucalipto, que hoje ocupa grande espaço na produção nacional de produtos madeireiros, papel e celulose e outras diversas áreas.

A madeira de Eucalipto é largamente utilizada para compor materiais, já que sua anatomia e propriedades físicas e mecânicas são bem conhecidas por estar incluída em diversos trabalhos.

Autores como Tomazello Filho (1985) e Oliveira (2005) encontraram valores de densidade aparente para espécies de eucalipto variando de 0,60 até 0,80 em árvores com idade de 22 anos e árvores de 10 anos de idade em Salesópolis-SP, exibindo valores de densidade básica de 0,50 até 0,40 das espécies de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus pilularis*. Sendo assim, é importante atentar a idade do indivíduo, para que as conclusões sejam certas com relação à produção.

Um exemplo de espécie com alto grau de utilização é relacionado ao híbrido *Eucalyptus urograndis*, que, de acordo com Brito e Barrichelo (1977), apresenta densidade básica em torno de 0,62 g/cm<sup>3</sup> e resistência à flexão em torno de 82,0 MPa (CARVALHO, 2000). Apresentando assim boas características quando comparado às duas espécies que deram origem ao mesmo.

## 2.4. Geometria das partículas

O tamanho, o tipo e a direção da grã das partículas em relação ao eixo longitudinal são variáveis que podem influenciar diretamente na produção dos painéis. Da geometria das partículas, encontram-se características muito importantes, tais como o índice de esbeltez, que se relaciona com a área de contato entre partículas, a razão de planicidade, que está relacionada ao volume de ar relativo do colchão e a área superficial específica, que está diretamente ligada ao consumo de adesivos (MALONEY, 1976). Segundo Juliana et al. (2012), a geometria da partícula pode afetar substancialmente a qualidade de colagem entre as partículas e, conseqüentemente, influenciar tanto a resistência quanto a rigidez dos painéis fabricados.

De acordo com Maloney (1993) e Moslemi (1974), partículas com dimensões menores, requerem maior consumo de adesivos, pois quanto menor é a partícula, maior é a sua área superficial. Com a aplicação de mesma quantidade de adesivo, o painel produzido com partículas maiores apresentará maior ligação interna, pois há uma menor área superficial específica e, conseqüentemente, maior disponibilidade de adesivo por unidade de área.

Na Tabela 1 a seguir estão as classificações dos elementos lignocelulósicos constituintes dos painéis de partículas, segundo Moslemi (1974) e FAO (1959).

**Tabela 1** - Tipos de partículas geradas no processo de produção de madeira serrada e desdobros

<b>Tipo de partículas</b>	<b>Espessura</b>	<b>Comprimento</b>	<b>Largura</b>	<b>Tipo de partícula</b>
<b>Flakes</b>	2 a 4	25 a 100	10 a 25	Plana, retangular e fina
<b>Shavings</b>	*	*	*	Finas, sem medidas padrões
<b>Chips</b>	1 a 5	12 a 25	0,5 a 3	Fragmentsos de madeira
<b>Lã de madeira</b>	0,5	250	5	Longas e finas
<b>Strands</b>	0,25 a 0,64	12,7 a 76,2	6,4 a 25,4	Lâminas compridas, produz o OSB
<b>Particles</b>	0,13 a 1,3	1,3 a 12,7	0,13 a 1,3	Fragmentsos pequenos e finos
<b>Granule</b>	*	*	*	Várias granulometrias (serragem)

\* - Sem dados padrões

A resistência à flexão, à tração paralela e perpendicular à superfície e ao arrancamento de parafusos e pregos são propriedades influenciadas pelo tamanho das partículas e isso altera também a absorção de água e de outros líquidos, causando alteração na estabilidade dimensional e modificações superficiais nos painéis (MALONEY, 1989).

Haselein & Della Lucia (1992) afirmam que partículas longas e finas resultam em maior índice de esbeltez e produzem painéis com maior resistência à flexão estática e maior estabilidade dimensional. Com isso, Iwakiri (2005) complementou que o índice de esbeltez exerce influência sobre as qualidades de acabamento e usinabilidade.

No setor industrial são utilizadas partículas de dimensões maiores na camada interna e partículas menores, ou finos, na camada externa (WEBER, 2011). Há na superfície a utilização constante de finos, que melhoram o acabamento superficial do painel, além de melhorar também as condições de aplicação do revestimento (IWAKIRI, 2005). Porém, com um elevado percentual de finos, o consumo de adesivo é aumentado e a qualidade dos painéis é prejudicada (JAGGER, 1992), pois a adesão interna entre as camadas do painel é reduzida.

Por outro lado, painéis fabricados com partículas curtas e espessas aumentam a resistência à tração perpendicular ou adesão interna. Moslemi (1974) e Maloney (1993) afirmaram que partículas menores, devido à maior área superficial requerem maior consumo de adesivo. As partículas maiores apresentam menor área superficial e, conseqüentemente, maior é a disponibilidade de adesivo.

Além da geometria, se faz necessário controlar adequadamente o processo de secagem das partículas, pois partículas muito úmidas provocam a formação de bolhas no interior dos painéis no momento da prensagem, inutilizando o mesmo, além de interferir na qualidade da adesão. Por outro lado, partículas muito secas geram maior quantidade de finos e são expelidas das laterais do painel durante a operação de prensagem, devido à falta de adesivo em suas superfícies.

A atenção ao dimensionamento e geometria das partículas é algo primordial para a formação dos painéis MDP, pois de acordo com essas características será avaliado a viabilidade ou não de formar o produto final com a qualidade e resistência esperadas.

## **2.5. Adesão e adesivos**

O adesivo é um composto que possui propriedades aderentes e, assim, possuindo a capacidade de manter outros materiais ligados à sua superfície. Segundo Tsoumis (1991), a primeira resina sintética, a fenol-formaldeído, surgiu em 1929 e posteriormente, em 1931 foi desenvolvida a ureia-formaldeído, que são hoje as duas mais utilizadas no setor de fabricação de painéis de madeira.

Um adesivo deve possuir certas características e propriedades para ser assim considerado. Tais características devem ser adequadas a sua finalidade principal, que é servir como elo entre

duas superfícies, portanto são listadas abaixo algumas dessas características e suas consequências no fenômeno da adesão.

### **2.5.1. Viscosidade**

A viscosidade de um líquido pode ser definida como a resistência de um fluido ao escoamento, portanto os adesivos que possuem elevada viscosidade apresentam menor fluidez e assim possuem maior dificuldade no seu espalhamento, além de uma penetração reduzida na estrutura capilar da madeira, acarretando assim em uma qualidade inferior de colagem, por consequência de uma ligação madeira-adesivo insuficiente. Por outro lado, quando a viscosidade é muito baixa, o adesivo escorre pela estrutura da madeira ocasionando uma fraca linha de cola, conhecida como linha de cola faminta (IWAKIRI, 2005; MOSLEMI, 1974).

### **2.5.2. Tempo de gel**

De acordo com Iwakiri (2005), o tempo de gel é o período de tempo em que o adesivo transita entre o estado líquido para o sólido, desde sua preparação até a aplicação e por fim o endurecimento do mesmo. O tempo de gel depende, dentre outras nuances, das condições físicas da linha de cola e dos mecanismos químicos do adesivo (MARRA, 1992); sendo assim, quanto maior a temperatura, maior será a reatividade do adesivo ocorrendo assim uma redução no tempo de gel e quando se obtém o ponto máximo de viscosidade tolerável para sua aplicação. Essa característica está altamente relacionada à qualidade do adesivo, pois influencia diretamente no tempo de prensagem (IWAKIRI, 2005).

### **2.5.3. Teor de sólidos**

O teor de sólidos, segundo Iwakiri (2005), é a quantidade de elementos sólidos contidos no adesivo, em comparação com os líquidos que estão na solução. Com a prensagem a quente, pode-se perceber a evaporação da fração líquida presente na solução utilizada, que são os solventes orgânicos, e a formação da adesão entre as superfícies, devido a polimerização do adesivo.

### **2.5.4. valor pH**

O pH de uma solução é a quantificação da sua acidez e basicidade (IWAKIRI, 2005), ou seja, a concentração de íons  $H^+$  e  $OH^-$  (FIORUCCI et al., 2001). É um importante fator para a

adesão, pois se o adesivo estiver abaixo ou acima do intervalo de 2,5 a 11, isso pode acarretar na desnaturação das células da madeira, afetando assim a qualidade do produto final.

Os adesivos são tão importantes quanto as partículas na produção dos painéis, pois são a base de ligação para todas as partículas presentes no conteúdo e, além disso, conforme sugerido por Akers (1966), há um custo mais elevado que a própria madeira quando se usa adesivos sintéticos. Embora apresentem implicações econômicas e técnicas, são componentes essenciais para utilização de produtos constituídos de madeira (PIZZI, 1994).

## **2.6. Processo sulfito e lignosulfonato**

Os processos químicos de polpação da madeira que utilizam o sulfito são aqueles em que os cavacos são cozidos em compartimentos chamados de digestores utilizando-se de licor ácido para o cozimento, ao contrário do processo *kraft*, que utiliza um licor com pH alcalino. No processo de polpação sulfito, a madeira é digerida a 140-170°C, com uma solução aquosa de um sulfito ou bissulfito de sal de sódio, amônio, magnésio ou cálcio, em que durante o processo vários eventos químicos ocorrem, incluindo a quebra de ligações entre a lignina e os carboidratos, de ligações das unidades carbono-oxigênio interconectadas da lignina e a sulfonação de sua cadeia alifática (LORA, 2008). Este licor ácido é preparado a partir de compostos de enxofre, tais como o (SO)<sub>2</sub> e uma base, podendo ser NaOH, Ca(OH)<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>OH, dentre outros. Este processo gera como resultado uma pasta celulósica mais transparente, mas a celulose produzida mesmo sendo de fácil refinação, apresenta baixa resistência comparada às obtidas por outros processos.

O processo sulfito era largamente utilizado para a confecção de papéis para impressão e escrever, mas devido à grande dificuldade de regeneração dos produtos químicos e problemas quanto a poluição das águas (SENAI – CETCEP, 2001), este processo tem sido substituído pelo processo sulfato ou *kraft* no Brasil. Além disso, o grande conteúdo de SO<sub>2</sub> livre dificulta o cozimento de madeiras resinosas e cavacos com casca, os ciclos de cozimento são grandes devido ao aquecimento e aos períodos de alívio da pressão requeridos. A grande pressão parcial do dióxido de enxofre origina frequentes perdas e contaminação atmosférica, com odores desagradáveis dentro e fora da fábrica.

Atualmente o processo continua sendo utilizado principalmente para produzir polpas úteis na fabricação de produtos como rayon, polpas para papel imprensa, higiênicos e outros.

Temos como subproduto do processo várias diferentes substâncias, dentre elas a lignina transformada em uma resina fenólica que pode ser utilizada como adesivo, etanol, devido à

fermentação anaeróbica de pentoses e hexoses presentes nos licores, proteínas, devido a fermentação aeróbica das pentoses e hexoses e que podem ser utilizadas como ração animal e o lignosulfonato (IWAKIRI, 2005).

A produção do lignosulfonato ocorre por meio do processo de cozimento dos cavacos de madeira, no qual a lignina é separada da polpa, para individualização de suas fibras e para extração da pasta celulósica (NEXTBAR, 2011; SAVASTANO, 2002; GODA et al., 2000).

Segundo Hartmann (2002), os lignosulfonatos são conhecidos como aditivos plastificantes de primeira geração e utilizados como redutores de água normais e em alguns casos também como superplastificantes.

Os lignosulfonatos, chamados também de ligninas sulfonadas, são resíduos industriais obtidos como um subproduto do processo de polpação sulfito da madeira para obtenção da celulose. Neste processo, a madeira em cavacos é cozida em ácidos e as ligninas são sulfonadas de modo a se tornarem solúveis em água, e assim poderem ser separadas da celulose insolúvel, tendo desta forma, o lignosulfonato.

Dependendo do tipo de processo de polpação, diferentes lignosulfonatos podem ser obtidos, como os de cálcio, sódio, magnésio e amônio (RODRÍGUEZ, 2005), e suas características ainda vão depender da sua estrutura química, de sua formação e da planta que lhe deu origem, sendo que os lignosulfonatos obtidos do processo sulfito, são hidrofílicos se dissolvendo em água, ao contrário das ligninas oriundas da polpação *kraft* que são hidrofóbicas e não se dissolvem em água (SANTOS, 2011, citado por SILVA, 2015).

Atualmente no Brasil já não há mais a produção de celulose utilizando o processo sulfito, as empresas nacionais possuem o processo *kraft* como sendo o padrão, mesmo sendo necessário o uso de maiores quantidades de substâncias químicas para branquear a pasta.

## **2.7. Tanino**

Os polifenóis são componentes dos tecidos vegetais de muitas plantas e em diversas partes da anatomia destas, desde folhas até cascas e madeira e isso independe de sua localização geográfica (Rosales et al., 2002; Cano et al., 2002; Kim, 2009).

Os taninos são polímeros fenólicos que contêm grupos hidroxifenólicos e alifáticos, em raros casos podem conter grupos carboxílicos (CORTEZ, 2012). São compostos naturais presentes nas plantas, em mais abundância nas cascas de algumas espécies como *Acacia mearnsii*, *Myracrodruon urundeuva*, *Moquinia polymorpha*, entre outras (VIEIRA, 2010).

Dentre suas propriedades estruturais, pode-se destacar sua solubilidade em água, o valor de massa molecular entre 300 e 5000 e, segundo Isaza (2007), podem ser caracterizados como taninos condensados, sendo o maior grupo e taninos hidrolisados, como menor grupo.

Os taninos hidrolisáveis são ésteres de ácidos carboxílicos e açúcares que são facilmente hidrolisados dando origem a derivados do ácido benzóico e açúcares (ROWELL, 2005). Já os taninos condensados são um grupo de polímeros à base de unidade de monômeros flavonóides C-15 hidroxilados (ROWELL, 2005). Na planta, estes seriam responsáveis por assegurar a proteção contra microorganismos patogênicos (ZUCKER, 1983).

Taninos condensados são constituídos por unidades de flavonóides que contêm vários graus de condensação. Mono Flavonóides representa o grupo mais estudado na área comercial de extratos de tanino, devido à sua relativa simplicidade. Eles representam a maioria das classes conhecidas de flavonóides análogos. Um típico exemplo de mono flavonóide é o tanino extraído da casca de Acácia negra (*Acacia mearnsii*), onde as quatro combinações possíveis de resorcinol e floroglucinol, com catecol e pirogalol coexistem, embora esses flavonóides constituem uma porcentagem menor (3%) do total de fenólicos (ROUX, FSREIRA, HUNDT e MALAN, 1975).

No entanto, os carboidratos simples (hexoses, pentoses e dissacarídeos) e glucuronatos complexos (gomas hidrocolóides) são frequentemente presentes em quantidades suficientes para diminuir e aumentar, respectivamente viscosidade e essa variação excessiva em suas porcentagens podem alterar as propriedades físicas do extrato natural independentemente das contribuições relacionadas ao grau de condensação dos taninos (PIZZI, 1980).

Pode-se quantificar os taninos a partir de dois métodos, pelo método de Folin-Ciocalteu, que é um ensaio baseado na reação dos compostos fenólicos com o reativo de Folin-Ciocalteu em um pH básico, obtendo uma coloração azul (LOPEZ, 2015), este método utiliza a oxirredução e também pode ser considerado um método de medida da atividade antioxidante total. O segundo método é o de Stiasny, que permite a determinação gravimétrica dos taninos condensados (AGUILAR et al., 2012), este método permite estimar a quantidade de taninos condensados que serão componentes essenciais para produção do adesivo.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Obtenção dos materiais

As partículas de madeira de *Eucalyptus* sp., geradas a partir de árvores de 8 anos de idade, foram cedidas pela empresa DURATEX, de Botucatu - SP, sendo classificadas em uma máquina com um conjunto de peneiras. As partículas de bagaço de cana foram obtidas no Campus da UFRRJ em Campos dos Goytacazes, RJ. O lignosulfonato à base de cálcio utilizado (Figura 2) foi cedido pela empresa LIGNOTECH, de São Paulo, SP. Os taninos (Phenotan M) de *Acacia mearnsii* De Wild. foram doados pela TANAC S/A, Montenegro, RS.



**Figura 2** - Amostra de lignosulfonato calcítico em pó.

**Fonte:** Autor (2019).

#### 3.2. Dimensionamento das partículas e secagem

As partículas de madeira foram peneiradas utilizando duas peneiras, uma de 4,5 mm, para eliminar uma fração mais grosseira e outra de 0,53mm logo abaixo para reter uma fração mais fina

dessas partículas. As partículas utilizadas foram aquelas que passaram pela peneira de 4,0 mm e que ficaram retidas na de 0,53mm. Para o bagaço de cana foram utilizadas as partículas que ficaram retidas na peneira de 0,5 mm, retirando-se somente os finos que passaram na peneira de 0,5 mm.

As partículas de madeira e de bagaço de cana foram secas em estufa de secagem, sendo dispostas em um tambor que possibilita a passagem de ar, facilitando a ação de secagem. As partículas foram secas a 10 - 15% de umidade.



**Figura 3** - Peneira mecânica utilizada para dimensionar partículas.

**Fonte:** Autor (2019).

### **3.3. Propriedades físicas das partículas**

#### **3.3.1. Determinação do teor de umidade das partículas**

O teor de umidade das partículas, tanto de madeira como de bagaço de cana, é um fator importante para a viabilidade de uso das mesmas, pois estas podem ter suas propriedades totalmente alteradas devido ao aumento deste teor.

Para o cálculo do teor de umidade das partículas, foi utilizada a Equação 1, apresentada a seguir na base seca.

$$U = \frac{PU - PS}{PS} \quad (1)$$

Onde:

PU: Peso úmido

PS: Peso seco

### 3.3.2. Determinação da densidade básica das partículas

Para determinação da densidade básica das partículas, foi utilizado o método do Máximo Teor de Umidade, relatado pela norma padrão NBR 11941 (2003). Com isso, a norma indica ser necessária a adoção de uma quantidade de 100 a 250g de partículas devidamente peneiradas e selecionadas de modo a assegurar uma amostragem representativa do montante. Foram feitas determinações em cinco repetições, como indica a citada NBR.

Para o cálculo da densidade, utilizou-se a Equação 2, a seguir:

$$D_b = \frac{1}{\left(\frac{m_1}{m_2}\right)^{-0,346}} \quad (2)$$

Onde:

$D_b$ : Densidade básica da madeira em g/cm<sup>3</sup>;

$m_1$ : Massa úmida da amostra, em gramas;

$m_2$ : Massa seca em estufa a  $105 \pm 2^\circ\text{C}$ , em gramas.

### 3.4. Preparação dos adesivos e caracterização de suas propriedades

Foram utilizados dois adesivos: adesivo puro (100%) à base de tanino de acácia negra e adesivo de tanino modificado com lignosulfonato na razão de 80:20.

Os materiais em pó (lignosulfonato e tanino) foram solubilizados em água destilada a 60 °C em uma concentração de 50% em um becker e bastão de vidro; o aquecimento serviu para facilitar essa solubilização e diminuir o tempo do processo de mistura.

### 3.4.1 Teor de sólidos

O teor de sólidos dos adesivos preparados foi calculado de acordo com Brito (1995). Foram colocados 5g de solução em um cadinho de massa conhecida para cada tratamento, realizando-se cinco repetições para cada adesivo. Tais cadinhos foram encaminhados para estufa aquecida a  $105 \pm 2^\circ \text{C}$ , permanecendo nesta por um período de 24 horas para obtenção de massa seca. O cálculo do teor de sólidos foi realizado com a Equação 3.:

$$TS = \frac{PS}{PU} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

TS: Teor de sólidos em %

PS: Peso seco

PU: Peso úmido

### 3.4.2 Valor pH

O valor pH das soluções foi determinado utilizando-se um pHmetro, após 4 min de contato do eletrodo com cada uma das soluções dos adesivos.

### 3.4.3 Tempo de formação do gel

O tempo de formação de gel foi determinado com o uso de um bastão de vidro, becker com água e tubo de ensaio. Em banho maria, o tubo de ensaio contendo o adesivo foi colocado no becker com água já aquecida a  $90^\circ \text{C}$ ; com o bastão de vidro fez-se movimentos circulares até que houvesse resistência do líquido adesivo ao movimento do bastão, o que indica início do processo de gelificação. Nesta etapa final, anotou-se o tempo de gel em segundos.

### 3.4.4 Viscosidade

Com as soluções de adesivos já preparadas, a viscosidade foi determinada utilizando-se um copo Ford n° 4, atendendo especificações da ASTM D-1200 (1994). No copo foram adicionados 130 mL de solução, registrando-se o tempo necessário para o escoamento da solução no copo. Para a obtenção do valor da viscosidade foi utilizada a Equação 4:

$$V = (3,82 \times t - 17,28) \times d \quad (4)$$

Onde:

V: Viscosidade, em mPa/s;

t: Tempo de escoamento, em segundos;

d: Densidade da solução, em g/cm<sup>3</sup>

### **3.4.5 Densidade das soluções**

A densidade das soluções foi obtida por meio de cálculo, colocando-se 10 mL de solução do adesivo em uma proveta sobre balança previamente tarada. Após, foi relacionada a massa lida na balança por 10 mL de solução, obtendo-se assim a densidade em g/cm<sup>3</sup>.

## **3.5. Produção dos painéis e Caracterização de suas propriedades**

### **3.5.1. Delineamento Experimental**

Os tratamentos foram organizados de modo a testar a eficiência dos componentes do painel, bem como a resistência desses perante esforços físicos e mecânicos.

Os fatores foram os tipos de partículas (Madeira e Bagaço de cana) e os teores de substâncias utilizadas como adesivo (Lignosulfonato e Tanino). Já os tratamentos foram o cruzamento destes fatores. Sendo então, no total de 8 tratamentos, em que os tratamentos 1 e 2 contêm 100% de partículas de madeira em sua composição, os tratamentos 3 e 4 contêm 90% de madeira e 10% de bagaço de cana, os tratamentos 5 e 6 contêm 80% de madeira e 20% de bagaço e os tratamentos 7 e 8 contêm 70% de madeira e 30% de bagaço. Também estão separados na proporção do adesivo utilizado, onde temos os painéis T1, T3, T5 e T7 fabricados com 100% do adesivo à base de tanino e os painéis T2, T4, T6 e T8 fabricados utilizando a proporção 80:20 de tanino e lignosulfonato, respectivamente. Os tratamentos e os subsequentes fatores envolvidos estão descritos na Tabela 2 a seguir.

**Tabela 2** - Tratamentos utilizados no trabalho e seus respectivos fatores

Composição dos tratamentos	T <sub>100%</sub>	T <sub>80%</sub> e L <sub>20%</sub>
M <sub>100%</sub>	T <sub>r1</sub>	T <sub>r2</sub>
M <sub>90%</sub> e BC <sub>10%</sub>	T <sub>r3</sub>	T <sub>r4</sub>
M <sub>80%</sub> e BC <sub>20%</sub>	T <sub>r5</sub>	T <sub>r6</sub>
M <sub>70%</sub> e BC <sub>30%</sub>	T <sub>r7</sub>	T <sub>r8</sub>

Onde: T- Tanino, L- Lignosulfonato, M- Madeira, BC- Bagaço de Cana, Tr- Tratamento.

### 3.5.2. Confeção dos painéis MDP

Os painéis foram produzidos com dimensões de 30×30×1,27 cm<sup>3</sup>, utilizando uma pressão de 5 Mpa e sob 160 °C, obedecendo uma série de etapas desde sua montagem até a prensagem na máquina.

O protocolo de montagem dos painéis seguiu as seguintes etapas:

- a- Foram separados dois ambientes no laboratório, onde um estava intimamente ligado a separação e pesagem das partículas, mistura das partículas com adesivo na encoladeira, formação do colchão, prensagem a frio e prensagem em alta temperatura. Já o outro se destinou ao processo de ativação do adesivo com formaldeído, que era adicionado no momento exato em que o adesivo seria aplicado às partículas.
- b- As partículas foram pesadas em uma balança de precisão, sendo adotado o cálculo referente à densidade desejada do painel, sendo ele baseado em perdas de partículas e adesivos na encoladeira. A Tabela 3 lista a proporção de partículas e adesivos utilizado.

**Tabela 3** - Itens e quantidade (g) de partículas e adesivos utilizados na confecção de cada tratamento

Tratamentos	Bagaço de cana	Madeira	Adesivos	Repetições	Parte de Partículas de M	Parte de Partículas de BC	Parte de Adesivo	Parte de H <sub>2</sub> O	Total de Partes
<b>T1</b>	0% BC	100% M	100% Tanino	3	100	0	12	12	124
<b>T2</b>	0% BC	100% M	80% T 20% L	3	100	0	12	12	124
<b>T3</b>	10% BC	90% M	100% Tanino	3	90	10	12	12	124
<b>T4</b>	10% BC	90% M	80% T 20% L	3	90	10	12	12	124
<b>T5</b>	20% BC	80% M	100% Tanino	3	80	20	12	12	124
<b>T6</b>	20% BC	80% M	80% T 20% L	3	80	20	12	12	124
<b>T7</b>	30% BC	70% M	100% Tanino	3	70	30	12	12	124
<b>T8</b>	30% BC	70% M	80% T 20% L	3	70	30	12	12	124

M- Madeira, BC- Bagaço de cana, L- Lignosulfonato, T- Tanino.

- c- Após a pesagem do material particulado, este foi para a encoladeira para ser misturado com o adesivo. Enquanto isso, o formaldeído era adicionado à solução do adesivo utilizado.
- d- Com o adesivo já pronto (Tanino-formaldeído ou Tanino-Lignosulfonato-Formaldeído) e as partículas pesadas, os dois itens foram adicionados à encoladeira (Figura 4). As partículas foram depositadas dentro do tambor para assim ter o conteúdo homogeneizado e o adesivo adicionado em aspersão por meio de uma pistola aspersora acoplada a um compressor de ar.



**Figura 4** - Encoladeira utilizada para o processo de mistura do adesivo com as partículas.

**Fonte:** Autor (2019).

- e- Após 10 minutos de mistura dentro da encoladeira, procedeu-se a etapa de formação do colchão, utilizando-se placas de alumínio e a caixa formadora de 30x30 cm para dar forma às partículas (Figura 5).



**Figura 5** - Colchão de partículas após acomodação na caixa formadora sobre a na chapa de alumínio, pronta para prensagem em alta temperatura e pressão.

**Fonte:** Autor (2019).

- f- Em seguida, o painel seguiu para a prensa termo hidráulica (Figura 6) a uma temperatura de 160 °C, com uma pressão de 37 ton/m<sup>2</sup> (0,3628 Mpa) por 10 minutos.



**Figura 6** - Prensa termo hidráulica utilizada para fabricar os painéis em altas temperaturas.

**Fonte:** Autor (2019).

Em seguida, os painéis foram colocados em uma sala de climatização com condições controladas de temperatura e umidade ( $20\pm 2$  °C e  $65\pm 5\%$  de umidade relativa), segundo especificações da ASTM D 1037-78, até atingir o equilíbrio. Para avaliar a qualidade dos painéis, estes foram caracterizados quanto às suas propriedades físicas e mecânicas.

### 3.5.3. Ensaios físicos dos painéis

Foram seguidos os padrões das normas NBR 14810-2 (2013) e ASTM D-103715 para os testes de absorção de água, inchamento de espessura após duas horas de imersão, estimativa do teor de umidade e densidade gravimétrica do painel. Além dos testes citados houve também o teste de densidade por raio X, utilizando-se o densitômetro de raio X (Figura 7) do Laboratório de Painéis de Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), campus Jerônimo Monteiro.



**Figura 7** - Densitômetro de raio X do Laboratório de Painéis de Madeira, UFES.

**Fonte:** Autor (2019).

### 3.5.4. Ensaio mecânico dos painéis

Para a caracterização mecânica dos painéis, foram realizados os ensaios de flexão para os módulos de elasticidade (MOE) e de ruptura (MOR) e de Tração Perpendicular (Ligação Interna), seguindo a NBR 14810-3 (2013).

Os ensaios mecânicos foram realizados na máquina universal de ensaios do Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (Figura 8), esta máquina é equipada com um sistema computadorizado para controle de variáveis de teste e coleta de dados.



**Figura 8** - Máquina universal de ensaios mecânicos, Laboratório de Ensaio Mecânico, DPF/IF/UFRRJ.

**Fonte:** Autor (2019).

### **3.6. Análise estatística**

Os dados foram avaliados quanto à normalidade e homogeneidade da variância, procedendo-se a seguir a análise de variância. Foi utilizado o software R estatística para realizar as análises dos dados. Havendo diferença significativa, foi empregado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade e, para desambiguação, o teste de Scott Knott, quando necessário, na mesma significância.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. Propriedades físicas das partículas**

Em geral, painéis MDF com partículas de madeira de alta densidade tendem a ter uma maior resistência mecânica, densidade e estabilidade dimensional, enquanto painéis com partículas de madeira de baixa densidade tendem a ser mais leves e menos resistentes. A densidade das partículas também pode afetar a uniformidade do painel, com partículas de densidades diferentes resultando em um painel menos homogêneo. Além disso, a densidade das partículas pode afetar a adesão entre as partículas e a resina utilizada para unir as partículas.

Em geral, a escolha da densidade das partículas de madeira a serem utilizadas em painéis MDF dependerá do objetivo final do painel e das propriedades desejadas. Por exemplo, para aplicações que exigem maior resistência, pode ser preferível usar partículas de madeira de alta densidade, enquanto para aplicações que requerem um painel mais leve, partículas de baixa densidade podem ser mais adequadas.

A densidade do bagaço de cana foi de  $0,20 \text{ g/cm}^3$  e da madeira de  $0,32 \text{ g/cm}^3$ . Autores como Protásio et al. (2013) e Belini et al. (2010) encontraram também valores para densidade das partículas de bagaço de cana em torno de  $0,10 \text{ g/cm}^3$  e da madeira em torno de  $0,40 \text{ g/cm}^3$ . Os autores Belini et al. (2010) afirmam que uma das razões da baixa densidade do bagaço de cana é devido à presença de espaços vazios dentro de parênquimas de armazenamento do material, que antes armazenavam açúcares. A menor área específica aparente dos elementos celulares das partículas de bagaço de cana-de-açúcar pode propiciar maiores espaços de vazios no interior dos painéis, formando regiões de menor densidade, e influenciar negativamente as propriedades físicas dos painéis.

### **4.2. Propriedades dos adesivos**

A propriedade dos adesivos tem uma grande influência nas propriedades dos painéis de madeira de partículas (MDP). Os adesivos utilizados em painéis MDP devem possuir propriedades como alta resistência mecânica, aderência, estabilidade térmica e resistência à umidade.

Em geral, a escolha do adesivo dependerá do tipo de aplicação para o qual o painel MDP será utilizado e das propriedades desejadas, como resistência mecânica, estabilidade térmica e resistência à umidade.

Testar as propriedades dos adesivos é essencial para pontuar seus atributos mais marcantes e evidenciar quais se destacam em comparação com outros testados. A Tabela 4 apresenta os resultados da caracterização dos adesivos utilizados no presente trabalho, a saber o tempo de gel, a viscosidade, o teor de sólidos e o pH.

**Tabela 4** - Valores médios para Tempo de gel, Viscosidade, Teor de Sólidos e pH para as soluções de tanino puro e de tanino modificado com lignosulfonato

Testes	Tratamentos	Médias	Emparelhamento*
Tempo de Gel (s)	100% Tanino	338,00	a
	80:20 Tanino:Lignosulfonato	270,67	a
Viscosidade (cP)	100% Tanino	603,78	a
	80:20 Tanino:Lignosulfonato	487,13	b
Teor de sólidos (%)	100% Tanino	49,33	b
	80:20 Tanino:Lignosulfonato	48,00	b
pH	100% Tanino	5,32	a
	80:20 Tanino:Lignosulfonato	4,98	a

\* Médias seguidas com letras iguais para um mesmo teste, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Scott-Knott ( $p \geq 0,05\%$ ).

Observa-se que não houve diferença significativa nos valores de Tempo de gel entre os tratamentos. Os valores médios encontrados para 100% tanino (338 seg) foram superiores aos encontrados por Guimarães et al. (2014) em taninos também de acácia negra (130 seg), possivelmente isso está associado à validade do material estudado.

Quanto à viscosidade, a adição de lignosulfonato favoreceu para diminuição dos valores, sendo a diferença significativa. Os valores médios de viscosidade encontram-se dentro da faixa ideal para fabricação de painéis MDP. Normalmente, os lignosulfonatos apresentam baixa viscosidade, conforme valor relatado por Silva et al. (2015), que encontraram valores de 57,5 CP.

O teor de sólidos ficou próximo ao valor estipulado anteriormente (50%) para os taninos e suas modificações com lignosulfonatos.

Os valores de pH também não foram significativos entre os tratamentos, embora, perceba-se uma diminuição do valor pH com adição de lignosulfonato ao tanino. Carvalho et al. (2014) encontraram valores médios de pH de 6,5 para taninos de acácia negra, sendo superiores aos encontrados neste trabalho. Vieira et al. (2014) encontraram valores médios de pH para extratos tânicos da casca de *Pinus oocarpa* de 3,14, evidenciando também as diferenças entre as espécies.

Silva et al. (2015) encontraram valor pH de 3,0 para lignosulfonatos puros, evidenciando grande acidez dos lignosulfonatos. Silva et. al (2017) encontraram valor pH de 2,87 para

lignosulfonatos puros. O pH é uma variável muito importante, pois afeta o processo de endurecimento do adesivo na prensagem. Silva et al. (2017) testaram misturas de adesivo Fenol-Formaldeído e lignosulfonatos para confecção de painéis MDP, sendo que as diferentes misturas só foram viáveis com alteração do pH dos lignosulfonatos com adição de hidróxido de sódio, tornando-o mais alcalino.

#### **4.3. Densidade dos painéis por gravimetria e densitômetro de raio x**

A Tabela 5 apresenta os resultados da densidade pelo método gravimétrico e por densitometria de raio X dos diferentes painéis fabricados.

**Tabela 5** - Valores médios de densidade pelo método gravimétrico e Raio X dos painéis fabricados

Materiais das partículas			Adesivo		Densidade gravimétrica (Kg/m <sup>3</sup> )	Densidade Raio X (Kg/m <sup>3</sup> )
Tratamento	Bagaço de cana (%)	Eucalipto (%)	Tipo	%		
T1	0	100	Tanino-Formaldeído	100	544,89	542,67
T3	10	90			540,10	555,38
T5	20	80			543,27	543,21
T7	30	70			573,26	542,87
T2	0	100	Tanino-Lignosulfonato	80:20	544,56	542,67
T4	10	90			545,78	540,94
T6	20	80			565,31	538,15
T8	30	70			506,87	504,46

Médias seguidas pela mesma letra dentro da mesma coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ( $p \geq 0,05\%$ ).

A Tabela 6 e 7 apresentam a comparação das médias para a densidade gravimétrica e pelo teste de raio X, respectivamente, pelo teste de Scott-Knott.

**Tabela 6** - Teste de Scott-Knott para densidade gravimétrica entre os tratamentos

<b>Densitometria Gravimétrica (CV = 6.98 %)</b>			
<b>Tratamentos</b>	<b>Médias</b>		<b>Emparelhamento</b>
T7	573,26	30:70 (bagaço: madeira); TF 100%	a
T6	565,31	20:80 (bagaço: madeira); TL 80:20	a
T4	545,78	10:90 (bagaço: madeira); TL 80:20	a
T1	544,89	0:100 (bagaço: madeira); TF 100%	a
T2	544,56	0:100 (bagaço: madeira); TL 80:20	a
T5	543,27	20:80 (bagaço: madeira); TF 100%	a
T3	540,10	10:90 (bagaço: madeira); TF 100%	a
T8	506,87	30:70 (bagaço: madeira); TL 80:20	b

Tratamentos com letras iguais são estatisticamente semelhantes ( $p \geq 0,05\%$ ).

**Tabela 7** - Teste de Scott-Knott para densidade, obtida pelo densitômetro de raio X, entre os tratamentos

<b>Densitometria de Raio X (CV = 1.06 %)</b>			
<b>Tratamentos</b>	<b>Médias</b>		<b>Emparelhamento</b>
T7	570,9234	30:70 (bagaço: madeira); TF 100%	a
T6	555,3725	20:80 (bagaço: madeira); TL 80:20	a
T4	543,2084	10:90 (bagaço: madeira); TL 80:20	a
T2	542,8674	0:100 (bagaço: madeira); TL 80:20	a
T1	542,6665	0:100 (bagaço: madeira); TF 100%	a
T5	540,9447	20:80 (bagaço: madeira); TF 100%	a
T3	538,1455	10:90 (bagaço: madeira); TF 100%	a
T8	504,4617	30:70 (bagaço: madeira); TL 80:20	b

Tratamentos com letras iguais são estatisticamente semelhantes ( $p < 0,05\%$ ).

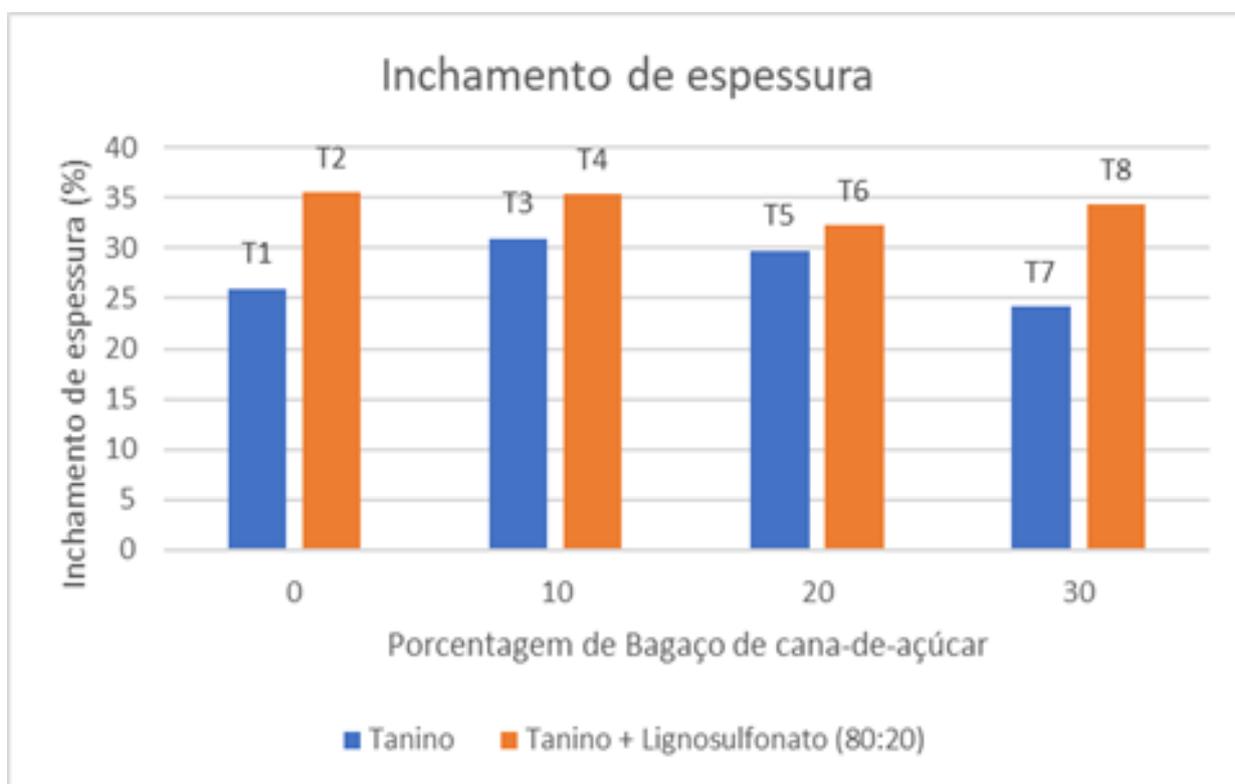
Com relação às densidades amostradas, não houve diferença significativa entre os testes gravimétrico e de densitometria de raio X, havendo uma forte correlação linear significativa ( $p < 0,05$ ) entre as mesmas ( $R^2$  igual a 0,9898), porém houve diferença significativa internamente em ambos os testes, já que nos painéis fabricados com 30% de bagaço de cana e misturas de tanino e lignosulfonato (80:20) (T8), os resultados de densidade foram inferiores e diferente estatisticamente frente aos demais tratamentos.

O perfil densitométrico dos painéis mostrou que as densidades médias máximas dos tratamentos respondem por 83,82% ( $D_{média} = 21,072 + *(0,84 \times D_{máxima})$ ) da densidade média e 78,34% da densidade média é explicado pela densidade média mínima ( $D_{média} = 239,95 +$

0,64\*D<sub>mínima</sub>), com significância de 95% de probabilidade. Isso indica boa uniformidade nos painéis formados, independente dos tratamentos estudados.

#### 4.4. Inchamento em espessura (IE) dos painéis para os diferentes tratamentos

Os valores médios de Inchamento em Espessura (IE) após 2 hs de imersão em água, dos painéis fabricados podem ser visualizados na Figura 9.



**Figura 9** - Valores médios de Inchamento em Espessura (%) (IE) após 2 horas de imersão em água (%) para painéis MDP de madeira de eucalipto e bagaço de cana-de-açúcar, fabricados com adesivos à base de taninos e lignosulfonatos.

Na Tabela 8 encontra-se o resultado do emparelhamento dos valores pelo teste de Scott-Knott para Inchamento em espessura entre os tratamentos.

**Tabela 8** - Teste de Scott-Knott para Inchamento de espessura entre os tratamentos

<b>Inchamentos de Espessura (CV = 7,03 %)</b>				
<b>Tratamentos</b>	<b>Médias transformadas</b>	<b>Médias originais</b>	<b>Composição dos tratamentos</b>	<b>Emparelhamento</b>
T2	35,57	36,14	0:100 (bagaço: madeira); TL 80:20	a
T4	35,35	36,04	10:90 (bagaço: madeira); TL 80:20	a
T8	34,33	35,12	30:70 (bagaço: madeira); TL 80:20	a
T6	32,33	33,45	20:80 (bagaço: madeira); TL 80:20	b
T3	31,01	32,56	10:90 (bagaço: madeira); TF 100%	b
T5	29,81	30,97	20:80 (bagaço: madeira); TF 100%	b
T1	25,99	26,66	0:100 (bagaço: madeira); TF 100%	c
T7	24,15	24,49	30:70 (bagaço: madeira); TF 100%	c

Tratamentos com letras iguais são estatisticamente semelhantes ( $p < 0,05$ )

Nota-se que após 2 horas, os valores de IE foram sempre mais elevados para os painéis fabricados com adesivo que apresentavam lignosulfonato na sua composição, com diferença significativa entre quase todos os tratamentos, com exceção dos tratamentos T5 e T6 (proporções de 20:80 de bagaço de cana e madeira). Os altos valores de IE dos painéis com lignosulfonatos podem estar correlacionados ao fato de que o lignosulfonato é altamente higroscópico, possibilitando assim a maior entrada de água no interior do painel.

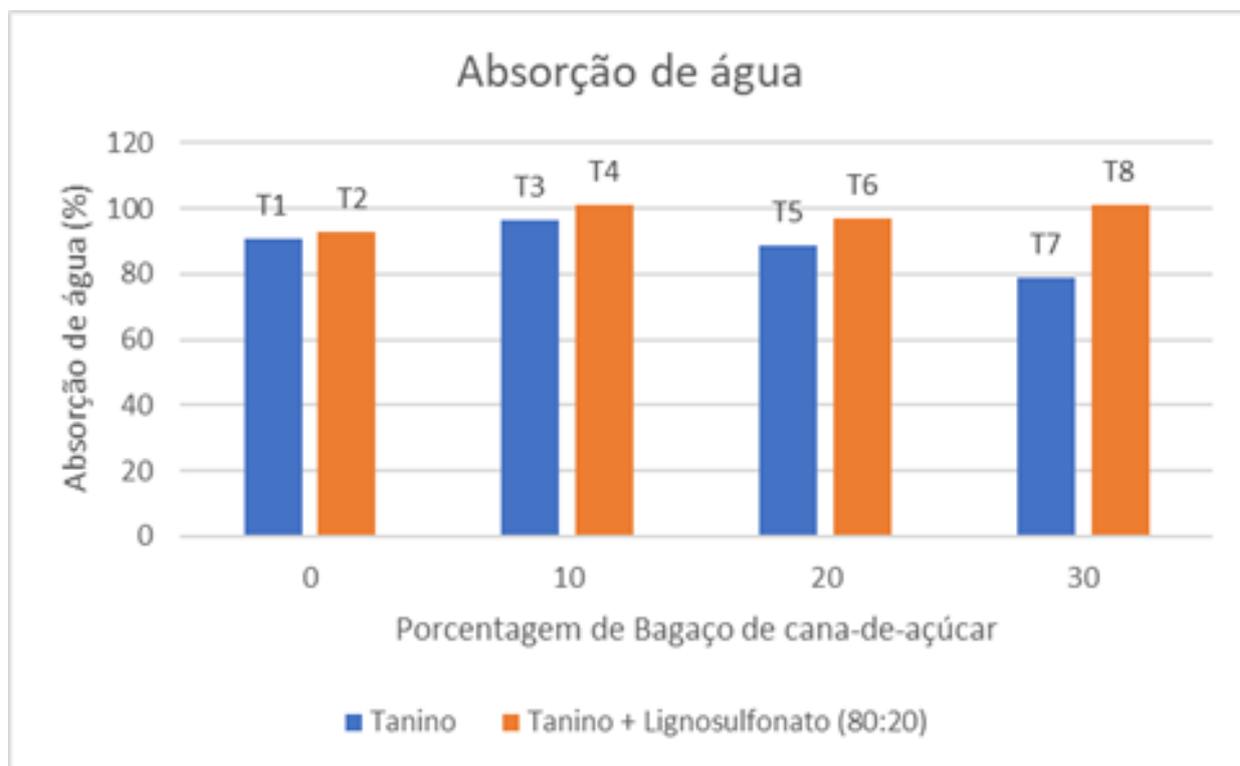
Os painéis fabricados com adesivo à base de tanino apresentaram menores valores de IE. A substituição de 10% e 20% de partículas de eucalyptus pelo bagaço de cana acarretou maiores valores de IE. Entretanto, com 30% de substituição, os valores médios de IE foram os menores obtidos, não havendo diferença significativa com os painéis fabricados com 100% de partículas de eucalyptus.

O fato do tratamento T8 (30:70 bagaço: madeira); TL 80:20) ter apresentado menores valores de densidade (Tabelas 6 e 7) não interferiu nos valores de IE encontrados.

Diversos trabalhos, como o dos autores Protásio et al. (2012), acharam correlação positiva entre o inchamento de espessura e o acréscimo da razão de compactação das chapas, onde quanto maior o inchamento de espessura, maior é a razão de compactação. A explicação para tal fenômeno se deve ao maior número de sítios de sorção, e a maior liberação das tensões de compressão geradas durante o processo de prensagem (KELLY, 1977; MELO, 2013).

#### **4.5. Absorção de água (AA) dos Painéis**

Os valores médios de Absorção de Água (AA) para os painéis fabricados nos diferentes tratamentos podem ser visualizados na Figura 10.



**Figura 10** - Valores médios de Absorção de Água (%) (AA) após 2 horas de imersão em água para painéis MDP de madeira de eucalipto e bagaço de cana-de-açúcar, fabricados com adesivos à base de taninos e lignosulfonatos.

Os testes relacionados à umidade em painéis são importantes para definir a sua utilização, pois há diferentes formas de emprego para os diferentes tipos de painéis. Por exemplo, painéis que tem pré-disposição para absorver mais água são indicados para ambientes internos não-úmidos, assim evitando o contato com a umidade do ambiente, que pode danificar sua estrutura.

Os painéis produzidos seguiram o mesmo comportamento encontrado nos ensaios de Inchamento em Espessura (IE), com valores de AA superiores para os painéis fabricados com adesivo à base de tanino e lignosulfonato, quando comparados aos painéis fabricados com 100% tanino.

Houve efeito significativo entre os tratamentos T8 e T7 (Tabela 9), que possuem fabricação de mesma matéria-prima em suas partículas, porém diferem na escolha do adesivo que os estruturam. T8, utilizando adesivo com lignosulfonato, atingiu a maior média de Absorção de Água, enquanto T7, utilizando adesivo somente com tanino formaldeído, atingiu a menor média nesta categoria. Isso evidencia que em painéis MDP, o uso de lignosulfonato na formulação do adesivo compromete o painel em relação as relações de higroscopicidade.

**Tabela 9** - Teste de Scott-Knott para Absorção de água entre os tratamentos

Tratamentos	Absorção de água (CV = 3.24 %)			Emparelhamento
	Médias transformadas	Médias originais		
T8	101,06	103,73	30:70 (bagaço: madeira); TL 80:20	a
T4	100,82	101,57	10:90 (bagaço: madeira); TL 80:20	a
T6	96,71	97,26	20:80 (bagaço: madeira); TL 80:20	a
T3	96,27	96,70	10:90 (bagaço: madeira); TF 100%	a
T2	92,92	93,08	0:100 (bagaço: madeira); TL 80:20	b
T1	90,73	91,43	0:100 (bagaço: madeira); TF 100%	b
T5	88,43	89,42	20:80 (bagaço: madeira); TF 100%	b
T7	78,65	79,03	30:70 (bagaço: madeira); TF 100%	c

Tratamentos com letras iguais são estatisticamente semelhantes ( $p < 0,05$ )

Para os painéis fabricados com 100% de tanino, o efeito da substituição de partículas de madeira por bagaço de cana-de-açúcar foi maior nos painéis com substituições de 20% e 30%, onde menores valores foram encontrados. Assim, a substituição de 20% a 30% foi positiva para redução dos valores de Absorção de Água (AA) dos painéis, sendo significativa na substituição de 30%, com os menores valores de AA entre todos os tratamentos.

Para os painéis fabricados com adesivo tanino-lignosulfonato (T2, T4, T6 e T8, na proporção de 80:20), o lignosulfonato foi decisivo para obtenção de altos valores de AA, independentemente da substituição de partículas de madeira por bagaço de cana, ou seja, a substituição de partículas de madeira por bagaço de cana não ocasionou diminuição de valores, como foi com os tratamentos com 100% tanino (T1, T3, T5 e T7). O caráter hidrofílico do lignosulfonato foi o fator decisivo para a obtenção dos altos valores de AA.

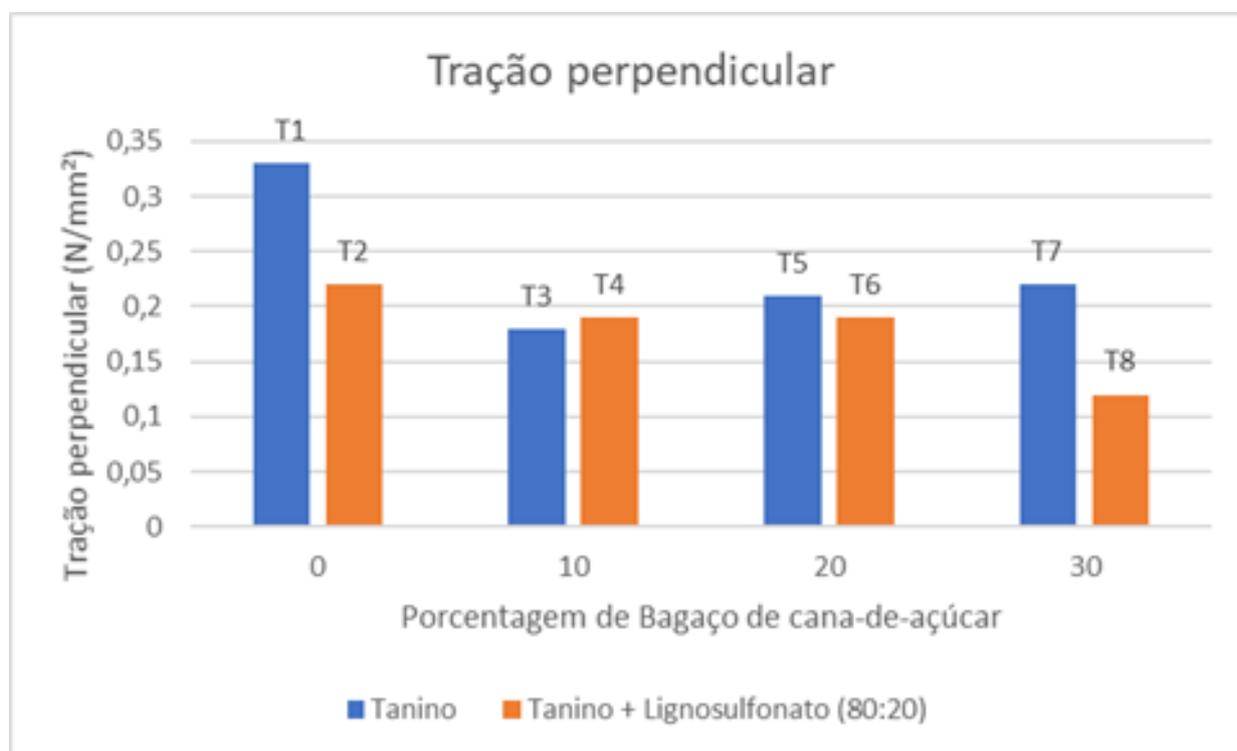
Os valores obtidos foram inferiores aos encontrados pelos autores Scatolino et al. (2017), que relataram valores de absorção de água em torno de 130% após imersão em água de 2 horas para painéis de baixa densidade usando madeira de eucalipto. Já os autores Mendes et al. (2012) e Guimarães Júnior et al. (2016) identificaram aumento gradual na Absorção de água (AA) em relação diretamente proporcional com o aumento da porcentagem de bagaço-de-cana na composição dos painéis, diferentemente do encontrado neste trabalho. Os autores atribuíram ainda tal resultado à maior porcentagem de holocelulose presente nas partículas de bagaço de cana; conseqüentemente, com o maior número de hemiceluloses e de áreas amorfas da celulose, que aumentam significativamente a higroscopicidade do material.

Os resultados encontrados neste trabalho corroboram aos obtidos por Rosa et al. (2014), que encontraram valores de AA em ascensão com o acréscimo de lignosulfonato na composição

dos adesivos. Com isso, concluíram que a presença de lignosulfonato na composição do adesivo diminui consideravelmente a resistência à água dos painéis testados.

#### 4.6. Ensaio de tração perpendicular dos painéis (Ligação Interna - LI)

Os valores médios de resistência à tração perpendicular ou Ligação Interna (LI) dos painéis fabricados encontram-se na Figura 11.



**Figura 11** - Valores médios de Tração perpendicular (Ligação Interna) para painéis MDP de madeira de eucalipto e bagaço de cana-de-açúcar, fabricados com adesivos à base de taninos e lignosulfonatos.

Os resultados evidenciaram que o tratamento T1, composto somente por madeira de eucalipto e 100% de tanino como adesivo, mostrou-se melhor que os demais, com valores médios maiores diferenciando-se dos demais estatisticamente. A Tabela 10 apresenta a comparação das médias pelo teste de Scott-Knott. A substituição de 10%, 20% e 30% de madeira por bagaço de cana não alterou os valores de tração perpendicular dos painéis, independentemente do tipo de adesivo.

No trabalho dos autores Oliveira et al. (2016), foram testados painéis fabricados com bagaço de cana, pinus e eucalipto, encontrando-se assim valores semelhantes entre pinus e

eucalipto, o que não ocorre quando se evidencia os painéis feitos com bagaço de cana, que foram muito inferiores em comparação aos outros dois anteriores. Os autores explicam que tal resultado se deve à grande diferença entre as densidades das partículas, pois é requerido muito mais partículas para se adequar aos requisitos de formação de painéis.

Com a mesma tendência, os autores Soares et al. (2017) encontraram valores mais baixos para os painéis em que o bagaço de cana fez parte da composição. Eles assumem em sua discussão que o decréscimo da tração perpendicular ocorreu devido aos elevados teores de extrativos e cinzas e baixo teor de lignina do bagaço de cana-de-açúcar. Tal afirmativa tem coerência quando se sabe que materiais lignocelulósicos com elevados teores de extrativos apresentam dificuldades de colagem, resultando em baixa resistência da ligação adesiva entre as partículas (MARRA, 1992).

**Tabela 10** - Teste de Scott-Knott para Tração Perpendicular entre os tratamentos

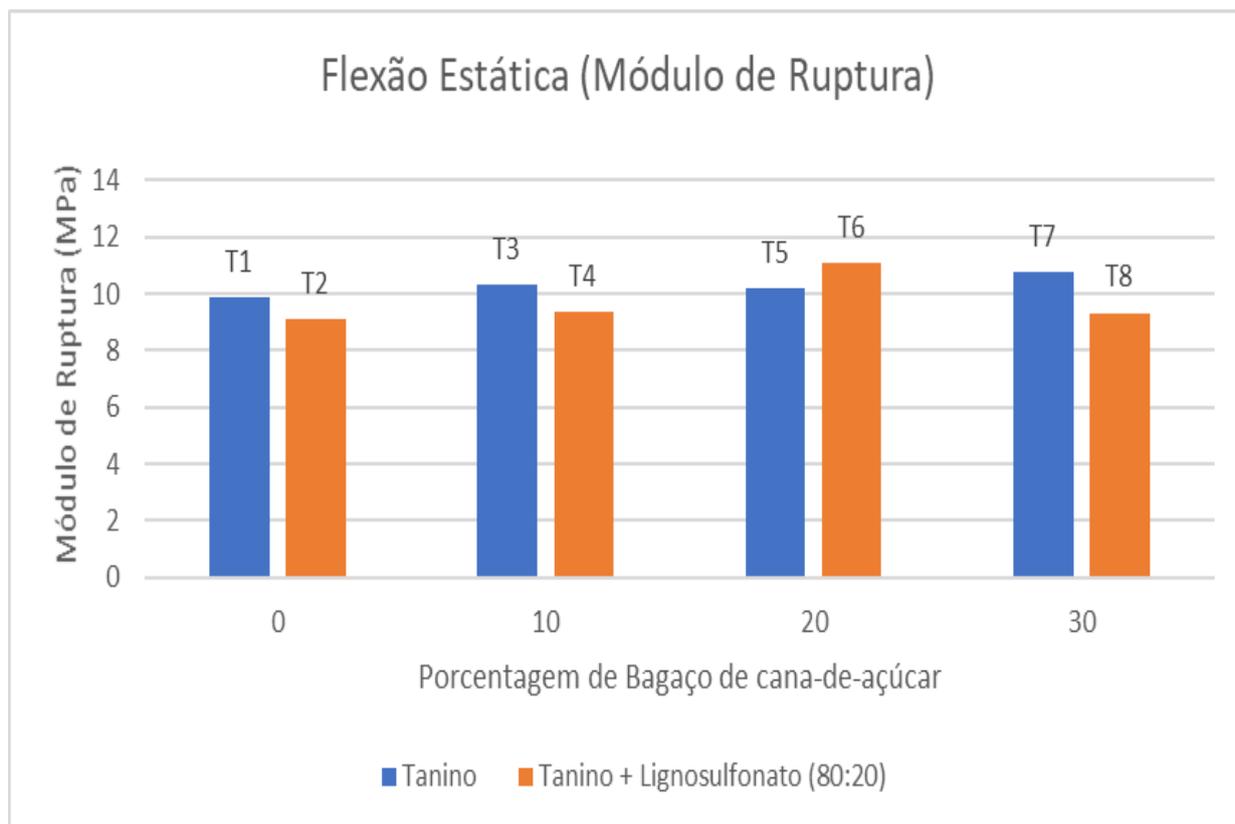
Tratamentos	Médias originais		Emparelhamento
T1	0,33	0:100 (bagaço: madeira); TF 100%	a
T2	0,22	0:100 (bagaço: madeira); TL 80:20	b
T7	0,22	30:70 (bagaço: madeira); TF 100%	b
T5	0,21	20:80 (bagaço: madeira); TF 100%	b
T4	0,19	10:90 (bagaço: madeira); TL 80:20	b
T6	0,19	20:80 (bagaço: madeira); TL 80:20	b
T3	0,18	10:90 (bagaço: madeira); TF 100%	b
T8	0,12	30:70 (bagaço: madeira); TL 80:20	b

Tratamentos com letras iguais são estatisticamente semelhantes ( $p < 0,05$ )

Nenhum dos tratamentos alcançou os valores estabelecidos pela Norma NBR 14810-2 (ABNT, 2018), com valores mínimos de 0,40 MPa.

#### 4.7. Ensaio de Flexão Estática dos Painéis

Os valores médios do Módulo de Ruptura dos painéis fabricados podem ser visualizados na Figura 12.



**Figura 12** - Valores médios de Módulo de Ruptura (MOR) (MPa) para painéis MDP de madeira de eucalipto e bagaço de cana-de-açúcar, fabricados com adesivos à base de taninos e lignosulfonatos.

A Tabela 11 mostra o teste de comparação das médias para os diferentes tratamentos.

**Tabela 11** - Teste de Scott-Knott para Módulo de ruptura (MOR) em MPa

Tratamentos	Módulo de Ruptura (CV = 7.83 %)			Emparelhamento
	Médias transformadas	Médias originais		
T6	10,69	11,10	30:70 (bagaço: madeira); TF 100%	a
T3	10,28	10,32	20:80 (bagaço: madeira); TF 100%	a
T7	10,27	10,77	10:90 (bagaço: madeira); TF 100%	a
T5	10,07	10,17	0:100 (bagaço: madeira); TF 100%	a
T1	9,78	9,89	10:90 (bagaço: madeira); TL 80:20	a
T8	9,21	9,32	0:100 (bagaço: madeira); TL 80:20	a
T4	9,12	9,35	30:70 (bagaço: madeira); TL 80:20	a
T2	8,94	9,08	20:80 (bagaço: madeira); TL 80:20	a

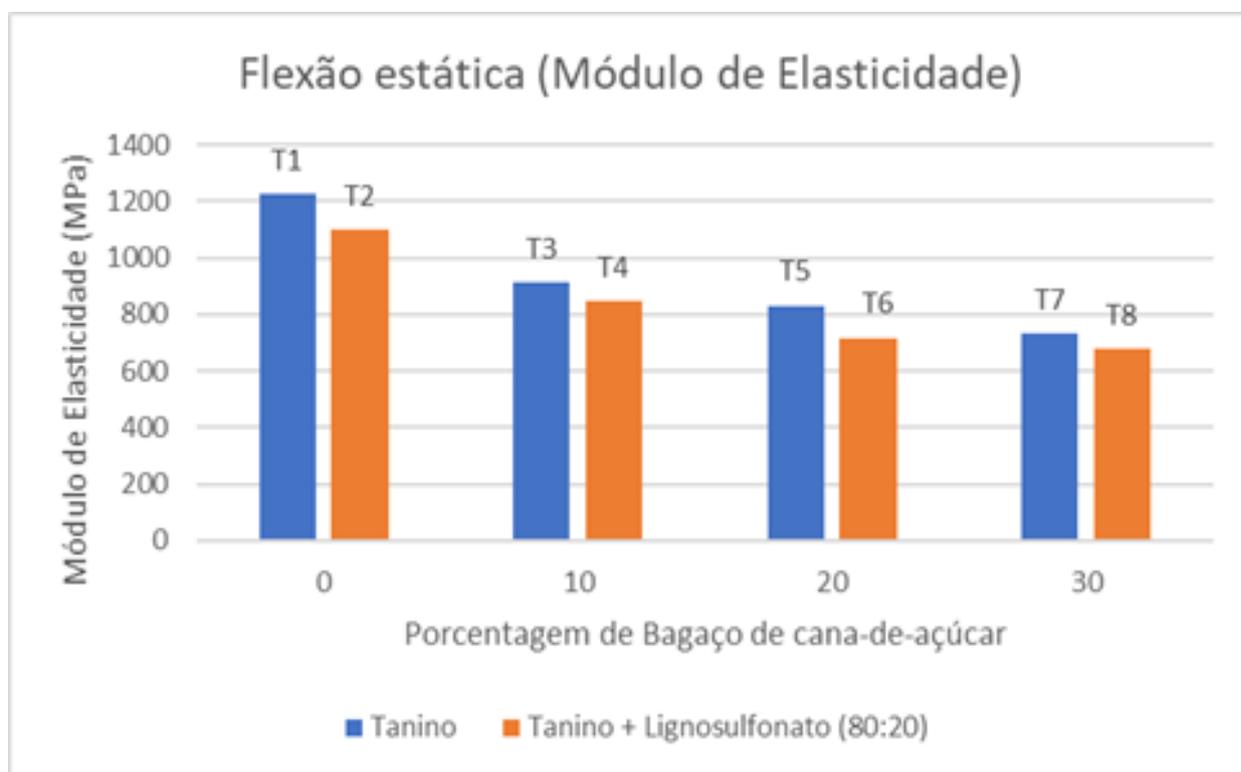
Tratamentos com letras iguais não diferem estatisticamente entre si ( $p \geq 0,05$ )

Os resultados mostraram que os painéis fabricados apresentaram comportamento semelhante no que se refere à resistência à flexão estática. Não houve diferença significativa entre

os tratamentos, evidenciando que o tipo de adesivo ou a mistura de bagaço de cana à madeira de eucalyptus não acarretam alterações nos valores de MOR. Os valores médios dos painéis fabricados com adesivo 100% de tanino não atingiram o valor mínimo requerido para painéis de média densidade, classificados como não estruturais para uso interno em condições secas, classificados como tipo P2, cujo valor é de 11MPa.

Os painéis fabricados com adesivo à base de 100% de taninos apresentaram valores próximos ao exigido pela Norma NBR 14810-2 (ABNT, 2018), que é de 11 MPa.

A Figura 13 e a Tabela 12 ilustram os valores médios do Módulo de Elasticidade (MOE) (MPa) para os painéis fabricados e o emparelhamento pelo teste de Skott-Knott, respectivamente.



**Figura 13** - Valores médios de Módulo de Elasticidade (MOE) (MPa) para painéis MDP de madeira de eucalipto e bagaço de cana-de-açúcar, fabricados com adesivos à base de taninos e lignosulfonatos.

**Tabela 12** - Teste de Scott-Knott para Módulo de Elasticidade (MOE) em MPa

<b>Módulo de Elasticidade (CV = 3.01 %)</b>			
<b>Tratamentos</b>	<b>Médias</b>		<b>Emparelhamento</b>
T1	1225,0685	0:100 (bagaço: madeira); TF 100%	a
T2	1100,2547	0:100 (bagaço: madeira); TL 80:20	a
T3	913,54259	10:90 (bagaço: madeira); TF 100%	b
T4	846,11222	10:90 (bagaço: madeira); TL 80:20	b
T5	832,63885	20:80 (bagaço: madeira); TF 100%	b
T7	731,75884	30:70 (bagaço: madeira); TF 100%	c
T6	718,09007	20:80 (bagaço: madeira); TL 80:20	c
T8	680,56886	30:70 (bagaço: madeira); TL 80:20	c

Tratamentos com letras iguais são estatisticamente semelhantes ( $p < 0,05$ )

Já para o módulo de elasticidade, observa-se uma grande diferença estatística entre as médias, tendo T1 e T2 os melhores resultados dentre todos, ambos sendo constituídos apenas de partículas de madeira, ou seja, neste teste os painéis constituídos de maior porcentagem de madeira foram melhores nos resultados. Para estes tratamentos, a substituição de 20% do adesivo de tanino por lignosulfonato não acarretou alteração nos valores de MOE. De acordo com a norma CS 236-66 (CS, 1968), dos painéis produzidos, somente os tratamentos T1 e T2, que também tiveram as maiores médias, apresentaram valores acima do mínimo exigido, que é de 1029,7 MPa. Dessa forma, constata-se que apenas T1 e T2 atenderam as exigências mínimas da norma referenciada, sendo assim evidenciado que o acréscimo de bagaço de cana afetou negativamente essa propriedade.

De modo geral, nota-se que os valores de MOE diminuíram com o acréscimo de bagaço de cana nos painéis. Entretanto, nas composições com 20:80 (bagaço de cana:madeira), a substituição de 20% de tanino por lignosulfonato ocasionou menores valores de MOE quando comparados com 100% tanino.

Comparando com a Norma NBR 14810-2 (ABNT, 2018), os valores de MOE não atingiram os valores requeridos para os painéis de média densidade classificados como não estruturais para uso interno em condições secas, classificados como tipo P2, com faixa de espessura de 6 a 13 mm, cujo valor é de 1800 MPa.

## 5. CONCLUSÃO

Pode-se concluir que as propriedades físicas e mecânicas dos painéis obtiveram incrementos e decréscimos de acordo com as quantidades das partículas utilizadas em porcentagem e com o tipo de adesivo utilizado para a fabricação do mesmo. Nos testes com umidade, os painéis fabricados com lignosulfonato apresentaram resultados insatisfatórios. Nos testes mecânicos houve melhores resultados relacionados à porcentagem maior de madeira na composição, ou seja, à medida que se adicionou bagaço de cana-de-açúcar, pior foi o desempenho mecânico do painel. Com isso, pode-se inferir que aqueles painéis feitos com lignosulfonato possam ser utilizados em locais que não entrem em contato com ambientes úmidos, bem como não é recomendado utilizar grandes quantidades de bagaço de cana-de-açúcar para atividades que exijam grande esforço mecânico do material, sobretudo em proporções acima de 20% da composição.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA\_ – ABIPA, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 14810-2: Chapas de madeira aglomerada – Parte 2 – Requisitos**, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 14810-3: Chapas de madeira aglomerada – Parte 3 – Métodos de Ensaio**, 2018.

AGUILAR-LÓPEZ, J. et al. Extracción y evaluación de taninos condensados a partir de la corteza de once especies maderables de Costa Rica. **Revista Tecnología en Marcha**, v. 25, n. 4, p. 15-22, 2012.

AKERS, L. E. **Particleboard and handbook**, v. 4. Blake & Sons: London, UK. 1966. 172p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **ASTM D-2017-05: standard method of accelerated laboratory test of natural decay resistance of woods**. Philadelphia; 2005. 5 p. Annual Book of ASTM Standard.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **G 154-16: Standard practice for operating fluorescent light apparatus for uv exposure of nonmetallic materials**. Philadelphia: ASTM, 2006. 4p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. 2001. **Standard test methods for evaluating properties of wood–base fiber and particle panel materials**. Philadelphia, PA.

ANDRADE, E. N. de. O eucalipto. Companhia Paulista de Estradas de Ferro, 1961.

BIAZUS, A.; et al. **Panorama de mercado: painéis de madeira**. BNDES Setorial, n. 32, p. 49-89, 2010.

Brasil, portal. **Safra de cana 2016/17 cresce em produção e área**, 2017.

BRITO, E. O. **Produção de chapas de partículas de madeira a partir de maravalhas de *Pinus elliottii* Engelm. Var. *elliottii* plantado no sul do Brasil**. 1995. 123f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: I. densidade e teor de lignina da madeira de eucalipto. **IPEF**, v. 14, n. 14, p. 9-20, 1977.

CARVALHO, A. M. **Valorização da madeira do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* através da produção conjunta de madeira serrada em pequenas dimensões de madeira, celulose e lenha**. 2000, 129 f. 2000. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Ciências)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz.

CORDEIRO, G. C. et al. **Pozzolanic activity and filler effect of sugarcane bagasse ash in portland cement and lime mortars**. **Cement and concrete composites**, v. 30, n. 5, p. 410-418, 2008.

ROSA, T. da S.; HILLIG, É. Utilização de lignosulfonato de amônio na produção de painéis aglomerados. **Revista Ciência da Madeira**, v. 5, n. 2, p. 93-102, 2014.

ROUX, D. G.; et al. , Appl. Polym. Symp. 28, 335 (1975).

FIORUCCI, A. R.; SOARES, A. H. F. B.; CAVALHEIRO, E. T. G. Conceito de solução tampão. **Química Nova na Escola**, n.13, p. 18-21, 2001.

GODA, A. C. M. et al. **Lignosulfonato Melbar. Boletim e Catálogo Técnico**. Melbar Produtos de Lignina Ltda. São Paulo, 2000. 22p.

HASELEIN, C. R. **Análise de parâmetros para a fabricação de chapas de partículas aglomeradas de madeira de eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex- Maiden) e embaúba (*Cecropia* sp.)**. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1992.

HARTMANN, C. T. **Avaliação de aditivos superplastificantes base policarboxilatos destinados a concretos de cimento Portland**. 2002. 210 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

HERNANDEZ, J. A. **Lignina organosolv de *Eucalyptus dunnii* Maiden, alternativa para a síntese de adesivos de poliuretano para madeira**. 2007. 83f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. Curitiba, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Levantamento sistemático de produção agrícola**, 2017.

ISAZA, J. H. Taninos o polifenoles vegetales. **Scientia et technica**, v. 1, n. 33, 2007.

IWAKIRI, S. et al., Produção de painéis de madeira aglomerada de alta densificação com diferentes tipos de resina. **Scientia Forestalis**, n. 68 p. 39-43, 2005.

JAGGER, R. W. The new pallmann ring refiner, type PF, for green sawdust, shavings, and other such materials. In: International Particleboard Composite materials Symposium, 26th, **Proceedings...**, Washington State University, 1992. p. 94-105.

JULIANA, A. H. et al. Properties of particleboard made from kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) as function of particle geometry. **Materials & Design**, v. 34, p. 406-411, 2012.

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

MAGZOUN, R. et al. Comparative evaluation of mechanical and physical properties of particleboard made from bagasse fibers and improved by using different methods. **Cellulose Chemistry and Technology**, v. 49, n. 5-6, p. 537-542, 2015.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing**. San Francisco: Miller Freeman, 1989. 672 p.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing. 2. ed.** São Francisco: Miller Freeman, 1993. 689 p.

MALONEY, T. M. et al. Composition Board from Standing Dead White Pine and Dead Lodgepole Pine. **Proceedings** -WSU Particleboard no. 10, p.27. 1976.

MARRA, A. A. **Technology of Wood bonding: principles and practice**. New York, Van Nostrand Reinhold 1992, 453 p.

MOSLEMI, A. A. **Particleboard**. London: Southern Illinois University Press, 1974. 245 p

NEXTBAR. Lignosulfonatos, 2011.

OLIVEIRA, F. **Lignosulfonato de sódio como agente da modificação de superfície de fibras lignocelulósicas e da formulação de termorrígido fenólico**. 2010. 137f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

OLIVEIRA, J. T. da S. et al. **Influência dos extrativos na resistência ao apodrecimento de seis espécies de madeira**. Revista *Árvore*, v. 29, n. 5, p. 819-826, 2005.

OLIVEIRA, J. T. da S. et al. **Caracterização da madeira de sete espécies de eucaliptos para a construção civil**. Scientia Forestalis, Piracicaba: IPEF, 1999.

OLIVEIRA, S. L. et al. **Particleboard panels made from sugarcane bagasse: characterization for use in the furniture industry**. Materials Research, v. 19, n. 4, p. 914-922, 2016.

PIZZI, A. **Advanced wood adhesives technology**. New York: Marcel Dekker, 1994. 297p.

PIZZI, A. **Tannin-based adhesives**. *Journal of Macromolecular Science -Reviews in Macromolecular Chemistry*, v. 18, n. 2, p. 247-315, 1980.

REBELATO, M. G. MADALENO, L. M.; RODRIGUES, A. M. Ponderação do impacto ambiental dos resíduos e subprodutos da produção industrial sucroenergética. **Revista Gestão Industrial**, v. 9, n. 02, p. 392-415, 2013

RODRIGUEZ, F. R. **Principales espécies forestales introducidas em Costa Rica**. *Kurú Revista Forestal*, v. 2, n. 4, p. 1-13, 2005.

ROWELL, R. M. **Handbook of wood chemistry and wood composites**. Boca Raton: Taylor and Francis, 2005. 487p.

RUDORFF, B. F. T. et al. **Studies on the rapid expansion of sugarcane for ethanol production in são paulo state (brazil) using landsat data**. Remote sensing, v. 2, n. 4, p. 1057-1076, 2010.

SAVASTANO, H. et al. **Weathering of vegetable fibre-clinker free cement composites**. Materials and Structures, v. 35, n. 1, p. 64-68, 2002.

SILVA, M. A. et al. **Utilização de lignosulfonato e adesivo Fenol-Formaldeído na produção de painéis aglomerados**. Scientia Forestalis, v. 45, n. 115, p. 423-433, 2017..

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

SOBRE BIOTECNOLOGIA, Conselho de Informações. Guia do eucalipto. **CIB: Brasília**, 2008.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus saligna* e *E. grandis*. **IPEF**, v. 29, p. 37-45, 1985.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties and utilization**. New York, 1991. 494 p.

VIEIRA, M. C. **Colagem de painéis OSB com adesivos à base de taninos da casca de *Pinus oocarpa* Schiede ex Schldl**. 2010. 64 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Departamento de Produtos Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2010.

WANG, L. et al. **Economic and ghg emissions analyses for sugarcane ethanol in brazil: looking forward.** Renewable and sustainable energy reviews, v. 40, p. 571-582, 2014.

ZENID, J. G.. **Madeira na construção civil.** Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2011

ZHENG, Y. et al. **Properties of medium- Agrodensity particleboard from saline Athel wood.** In: 2005 ASAE Annual Meeting. American Society of Cultural and Biological Engineers, 2005. p. 1.

ZUCKER, W. V. **Tannins: does structure determine function? An ecological perspective.** The American Naturalist, Lancaster, v. 121, n. 3, p. 335-365, 1983.