



NAYARA CRISTINA DA SILVA ALTAFIN

**TRATAMENTO QUÍMICO DE PARTÍCULAS DE
RESÍDUO DE SOJA PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS
AGLOMERADOS**

LAVRAS 6 MG

2019

NAYARA CRISTINA DA SILVA ALTAFIN

**TRATAMENTO QUÍMICO DE PARTÍCULAS DE RESÍDUO DE SOJA PARA
PRODUÇÃO DE PAINÉIS AGLOMERADOS**

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

Prof. Dr. José Benedito Guimarães Júnior

Orientador

Carolina Aparecida dos Santos

Coorientadora

LAVRAS MG

2019

NAYARA CRISTINA DA SILVA ALTAFIN

**TRATAMENTO QUÍMICO DE PARTÍCULAS DE RESÍDUO DE SOJA PARA
PRODUÇÃO DE PANEIS AGLOMERADOS**

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

APROVADA em 28 de novembro de 2019.

Prof. Dr. José Benedito Guimarães Junior UFLA

Dr. Bárbara Maria Ribeiro Guimarães de Oliveira UFLA

Carolina Aparecida dos Santos UFLA

Lorran Arantes UFLA

Prof. Dr. José Benedito Guimarães Júnior

Orientador

LAVRAS MG

2019

Aos meus avós, Elza e Augusto, por todo amor e pelo apoio durante toda a minha vida e por serem meu maior exemplo.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Á Deus, por ser minha luz em meio a escuridão e nunca ter me desamparado.

Ao meu orientador Professor Dr. José Benedito Guimarães, pela orientação, acolhimento, oportunidade, incentivo e ensinamento.

A todos da UEPAM que tornaram minha pesquisa possível, em especial Lorrán, Hudson, Carol e Carol Souza. Obrigada pela ajuda, sem vocês eu não teria conseguido.

Á minha família, em especial meus avós Elza e Augusto, por terem acreditado em mim desde o começo e terem me dado amor desde o início da minha vida.

Ao meu irmão Luis Felipe pelo apoio incondicional.

Aos meus pais pelo amor que me foi dado e por todas as orações.

À minha Avó Maria pelo colo e pela sabedoria e aos meus irmãos caçulas pela admiração.

A tantos familiares que acreditaram em mim quando eu mesma duvidei.

Aos meus ãAgrolindosõ Débora, Gustavo e Ana que fizeram com que meus dias na Universidade fossem mais acolhedores e divertidos.

Aos meus preciosos amigos Álvaro, Régis, Leny, Amanda, Pedro, Daniel e Gabriel que fizeram com que minha vida tivesse ainda mais amor. Obrigada pela amizade e companheirismo.

À Sarah pela torcida, pela amizade e pelas orações.

Á Silvana e Elvis pelo carinho e pelo cuidado, por terem me tratado como família e terem me alimentado com diversas marmitinhas.

Á tantas pessoas que passaram pela minha vida e que de alguma forma me fizeram amadurecer.

MUITO OBRIGADA!

RESUMO

A madeira é responsável por mais de 40% do custo de produção de painéis aglomerados e uma das alternativas para atender a demanda da indústria e reduzir o custo de produção desses painéis é o aproveitamento dos resíduos agroindustriais. Entretanto, devido aos altos valores extrativos presentes nestes resíduos, sua utilização para a produção de painéis pode ser inviabilizada. Assim o uso de tratamento químico destas partículas pode ser alternativa de viabilizá-la como matéria prima. O objetivo deste trabalho foi verificar o efeito dos tratamentos químicos nas partículas de soja e madeira de eucalipto e suas propriedades. Os painéis foram produzidos com densidade nominal de 0,60 g/cm³. Substituiu as porcentagens 50% de resíduo de soja em relação às partículas de eucalipto. As partículas foram encoladas com 12% do adesivo uréia-formaldeído. O ciclo de prensagem compreendeu uma pressão de 4,0 MPa e temperatura de 150°C durante 8 minutos. Os painéis tratados com água fria 24 horas apresentaram melhores resultados e se mostraram promissores para possível comercialização.

Palavras-chave: material lignocelulósico, chapas aglomeradas, painéis de madeira, soja, *Eucalyptus*.

ABSTRACT

Wood accounts for over 40% of the cost of producing chipboard and one of the alternatives to meet industry demand and reduce the cost of producing these panels is the use of agro-industrial waste. However, due to the high extractive values present in these residues, their use for the production of panels may be unfeasible. Thus the use of chemical treatment of these particles may be an alternative to enable it as a raw material. The objective of this work was to verify the effect of chemical treatments on soybean and eucalyptus wood particles and their properties. The panels were produced with nominal density of 0.60 g / cm³. It replaced the 50% percentages of soybean residue in relation to eucalyptus particles. The particles were sealed with 12% of the urea-formaldehyde adhesive. The pressing cycle comprised a pressure of 4.0 MPa and a temperature of 150 ° C for 8 minutes. It can be concluded that, from a technical point of view, the physical and mechanical properties will be met with a lower percentage of soybean residue in the production of chipboard.

Keywords: lignocellulosic material, chipboard, woodpanels, soybean, Eucalyptus.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	5
1 INTRODUÇÃO	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	11
2.1 Painéis de madeira.....	11
2.2. Mercado e Uso dos Aglomerados	11
2.3 Soja.....	12
2.4 Parâmetros que afetam a qualidade da madeira.....	13
2.4.1 Densidade.....	13
2.4.2 Anatomia.....	14
2.4.3 Umidade.....	14
2.5 Propriedades mecânicas.....	15
2.5.1 Módulo de elasticidade (MOE).....	16
2.5.2 Módulo de Ruptura (MOR)	16
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	16
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
4.1 Análises químicas e físicas dos materiais lignocelulósicos.....	18
4.2 Propriedades físicas.....	20
4.2.1 Densidade aparente.....	20
4.2.2 Absorção de água 2h	21
4.2.3 Absorção de 24h.....	22
4.2.4 Inchamento em espessura 2h	22
4.2.5 Inchamento em espessura 24h.....	23
4.3 Propriedades mecânicas.....	23
4.3.1 MOR	24
4.3.2 MOE	24
5 CONCLUSÕES	26

6 REFERÊNCIAS.....	27
--------------------	----

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, as indústrias fabricantes de painéis aglomerados utilizam madeiras provenientes de florestas plantadas (Pierre et al., 2014), principalmente dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*. Para atender à demanda cada vez mais crescente por madeira, há necessidade de não somente aumentar a área de plantios com essas espécies, mas também de diversificar os tipos de matérias-primas utilizadas para a produção dos painéis de partículas (Guimarães Júnior et al., 2011).

Pesquisadores vêm mostrando a viabilidade do emprego de resíduos agroindustriais de diversas origens para a produção de aglomerados, pois, além de contribuir para o atendimento da demanda de painéis, oferece um destino adequado aos resíduos (Mendes et al., 2010a). Há vários tipos de resíduos lignocelulósicos com uso potencial, como espiga de milho, casca de soja, casca de arroz, casca de café, casca de amendoim, casca de banana, casca de coco, caule de mandioca, farelo de mamona, bagaço de cana, entre outros (Gataniet al., 2013; Cravo et al., 2015; Silva et al., 2015; Scatolino et al., 2017; César et al., 2017).

O Brasil ocupa a segunda posição em produção mundial de soja em grãos e, segundo levantamento de 2019, obteve safra recorde de 114,843 milhões de toneladas (CONAB, 2019). Esse grande destaque de produção, conseqüentemente acarreta em grandes volumes de resíduos. Dessa forma, dentre os resíduos gerados com o processamento da soja estão palha, fibras, cascos e melaço, todos os subprodutos do processo de produção de óleo e proteína da soja (Caillot, 2017).

Este material celulósico é normalmente destinado à fabricação de alimentos para bovinos, mas possui propriedades químicas que podem servir como matéria-prima em outros segmentos industriais, como produção de painéis aglomerados.

Um fator limitante do uso deste material para produção de painéis aglomerados está relacionado ao seu alto teor de extrativos totais, que dificultam a colagem e possuem qualidade mecânicas inferiores.

Neste sentido, o tratamento químico das partículas pode ser alternativa para a diminuição destes constituintes químicos e conseqüente melhora na qualidade dos painéis. (Guimarães et al 2014).

O objetivo avaliar a viabilidade tecnológica do uso de resíduos de soja no produção de painéis aglomerados de baixa densidade em associação com madeira de eucalipto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Painéis de madeira

Os Painéis de madeira podem ser definidos como produtos compostos de elementos de madeira como laminas, sarrafos, partículas e fibras, obtidos a partir da redução da madeira sólida, e reconstituídos através de ligação adesiva (Iwakiri, 2005).

De acordo com a norma brasileira NBR 14810-1 (ABNT, 2006), as chapas de madeira aglomerada é um produto em forma de painel, variando de 3 a 50 mm de espessura, constituído por partículas de madeira aglomeradas com adesivos naturais ou sintéticos termofixos, sob a ação de pressão e calor. A geometria das partículas e sua homogeneidade, os tipos de adesivos, a densidade e os processos de fabricação podem ser modificados para fabricar produtos adequados aos usos finais específicos. Durante o processo de fabricação, podem ainda ser incorporados aditivos para prover painéis de características específicas.

São muitas as vantagens da produção de aglomerados em relação com os demais painéis e com a própria madeira serrada, pois além do aproveitamento de resíduos da madeira ou outro material lignocelulósico, o custo de produção é menor, não há necessidade de grandes exigências da qualidade da matéria prima, tais como: possibilidade de controlar a densidade do painel, ser um material com altas propriedades físico-mecânicas, alta resistência, e com a anisotropia da madeira minimizada (Iwakiri, 2005).

O emprego de resíduos de diversas origens na fabricação de aglomerados vem chamando a atenção de muitos pesquisadores, visto que contribui para o atendimento da demanda de painéis, oferece destino adequado aos resíduos, além de preservar os recursos naturais, diminuindo o descarte de materiais que podem ser matéria-prima para outro segmento industrial (Mendes et al., 2009).

2.2. Mercado e Uso dos Aglomerados

As indústrias de painéis aglomerados no Brasil estão localizadas nas regiões sul e sudeste, tendo como foco o atendimento aos pólos moveleiros instalados principalmente nos Estados de São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

As florestas plantadas de pinus e eucalipto são à base de suprimento de madeira para estas indústrias (Iwakiri et al., 2012).

No Brasil, as espécies mais utilizadas em plantios florestais são as espécies do gênero *Pinus* e *Eucalyptus*. No entanto, existe a necessidade de estudos relacionados à utilização de espécies alternativas, aumentando a diversidade e volume de matéria prima ofertada ao segmento de painéis, tanto para produção de painéis puros ou em misturas, e proporcionando o desenvolvimento de novo produtos e a melhoria das propriedades físicas e mecânicas, os quais são fatores primordiais ao desenvolvimento tecnológico e econômico (Trianoski, 2010), e à competitividade no mercado global (Bufalino et al., 2012).

O crescimento da indústria de painéis de madeira aumenta também a demanda por matéria-prima, o que leva a procura de outros materiais. Conseqüentemente há o aumento do aproveitamento de resíduos agrícolas, que são produzidos em larga escala no Brasil, e oferecem alternativas viáveis para atender a demanda da indústria de painéis, agregando valor ao resíduo e diminuindo o custo de produção dos painéis, tornando o mercado mais competitivo (Pedreschi, 2009) Silva (2006) afirma que, em se tratando de economia, um dos fatores importantes para o sucesso do aglomerado é justamente o fato de ele poder ser fabricado com matéria-prima de menor qualidade e até o seu custo, minimizando assim o seu gasto.

2.3 Soja

O começo do plantio da soja no Brasil foi por volta de 1882, através de estudos dessa cultura realizados pelo professor Gustavo Dutra, da Escola de Agronomia da Bahia. Na década seguinte, o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), através de Daffert, também iniciou estudos a fim de obter cultivares aptos à região. Naquela época, o interesse principal na soja era para que a mesma fosse usada como forrageira e rotação de culturas.

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de soja, ficando atrás apenas dos Estados Unidos (CONAB, 2019). No Brasil, a soja é cultivada, principalmente, nas regiões Centro Oeste e Sul, representando 46% da área cultivada em grãos do país. Na safra 2018/2019 a produtividade foi de 114,843 milhões de toneladas.

O volume de resíduos que são gerados na produção brasileira de soja chega em torno de 41 milhões de toneladas por ano (IPEA, 2012). Segundo Nogueira et al. (2000), para cada hectare de soja produzida são gerados por volta de 3,0 a 4,9 toneladas de resíduos.

A importância ecológica e sustentável na utilização desse resíduo na fabricação de painéis aglomerados é solução para diminuir o descarte inadequado e atender a demanda do mercado para utilização de novos produtos, além de baixar os custos da produção (SILVA, 2016).

2.4 Parâmetros que afetam a qualidade da madeira

2.4.1 Densidade

De acordo com Mayer-Wegelin (1956), apud KLOCK (2000), a massa específica é uma das propriedades físicas mais importantes da madeira, uma vez está relacionada diretamente com propriedades como: grau de alteração dimensional, resistência mecânica, e perda ou absorção de água. É um importante parâmetro para avaliação da qualidade da madeira e uma variável complexa, pois resulta da combinação de diversos fatores como dimensão das fibras, espessura da parede celular, volume dos vasos e parênquimas, proporção entre madeira do cerne e alburno e arranjo dos elementos anatômicos (FOELKEL et al. 1971). Dela depende a maior parte das propriedades físicas e tecnológicas, servindo como parâmetro para classificação de madeiras. Ela é definida como a razão entre a massa de um corpo e seu volume (BORGNAKKE; SONNTAG, 2003; VAN WYLEN 2003).

Para Fernandes, Valle e Calderon (2017), a densidade básica é considerada um dos principais critérios de qualidade da madeira quando se visa sua utilização como matéria-prima para o setor industrial ou para o setor energético, e seu estudo vem sendo bastante difundindo, por ser uma propriedade de fácil determinação e se correlacionar com outras propriedades da madeira.

Sendo equacionada pela relação entre massa seca (até peso constante) seca na estufa a uma temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ pelo respectivo volume da madeira acima do ponto de saturação das fibras (ABNT, 2003). Sendo resultante da interação de diferentes fatores internos, tais como: proporção de cerne e alburno, idade, localização no tronco, vigor e fatores externos à árvore (condições climáticas), tratos silviculturais e local de crescimento, esta propriedade é considerada uma das mais importantes no estudo da madeira (BENJAMIM; BALLARIN, 2009).

De acordo Miranda et al. (2012) a densidade pode sofrer variação entre as espécies, dentro de uma mesma espécie e até dentro de uma mesma árvore, tanto no sentido base-topo, quanto no sentido medula-casca.

Contudo para Dias et al. (2017), apesar da densidade básica ser o principal parâmetro indicativo de qualidade, essa não assegura a qualidade da árvore selecionada no sentido de fornecer matéria-prima adequada para produção de lâminas. A definição de outras características, tais como: forma do fuste e propriedades físicas (colapso e retratibilidade), torna-se de suma importância para atender à demanda das indústrias de laminação com material de qualidade.

2.4.2 Anatomia

Segundo Alves et al. (2012) o estudo da anatomia da madeira é importante, pois cada espécie possui estrutura diferentes e únicas. Na qual a disposição, o arranjo, a proporção e as dimensões relativas influenciam diretamente nas propriedades de resistência mecânica, densidade, trabalhabilidade, durabilidade natural e permeabilidade da madeira (MAFRA, 1994).

Para França et al., (2015) as dimensões, a frequência e a distribuição dos elementos anatômicos, afetam as propriedades físicas e mecânicas da madeira. O comprimento e espessura da parede celular estão relacionados com a resistência das fibras celulósicas e afetam suas propriedades físicas (estabilidade dimensional e densidade).

Para Tomazello Filho (2002), o conhecimento das células e tecidos que constituem parte do lenho arbóreo é essencial para a caracterização da estrutura anatômica das madeiras. As dimensões e disposição dos elementos anatômicos também auxiliam nesse estudo, estabelecendo dessa forma informações relacionadas aos parâmetros físicos e mecânico. A anatomia do xilema secundário é de extrema importância para a identificação das espécies que são produtoras de madeira, servindo como subsídio taxonômico, evitando fraudes durante a comercialização do produto por parte da indústria de madeira (GONÇALVEZ, 2006).

2.4.3 Umidade

De acordo com Galvão e Jankowsky (1985), uma das características da madeira, e que interfere na sua utilização, é a sua característica de higroscopicidade, ou seja, facilidade a mudanças do teor de umidade em função do local onde está utilizada.

O teor de umidade, ou simplesmente umidade da madeira é a relação entre a massa de água contida na matéria lenhosa e sua massa, sendo seu valor dado em porcentagem (DONATO, 2013).

Para Crisóstomo, Gouveia e Costa (2015), o teor de umidade representa a quantidade de água presente na madeira, exercendo forte influência sobre as propriedades e respostas que esse material apresenta em seus diversos possíveis usos. O aumento do teor de umidade da madeira afeta, principalmente, as propriedades mecânicas, que reduzem a sua resistência aos esforços mecânicos e alteram a sua estabilidade dimensional, bem como suas propriedades elétricas, reduzindo o seu caráter isolante.

Segundo Foelkel et al. (1971), o teor de umidade é inversamente proporcional à densidade da madeira, ou seja, quanto maior a quantidade de água, menor a quantidade dos outros elementos químicos da madeira-celulose, hemicelulose e lignina. Para Silva e Oliveira (2003) a umidade, apesar de não ser considerada uma característica inerente da madeira, é parâmetro que influencia o comportamento do material quanto à sua estabilidade dimensional, resistência mecânica, trabalhabilidade e durabilidade natural.

2.5 Propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas determinam o comportamento da madeira quando sujeita a esforços de natureza mecânica (STANGERLIN et al., 2008; ATHANÁZIOHELIODORO, 2015), permitindo. Dessa forma, compará-la com outras madeiras com propriedades conhecidas e, por analogia indicar suas prováveis utilizações (STANGERLIN et al., 2008). Essa propriedade é avaliada em duas direções: normal e paralela às fibras e normalmente mensuradas considerando-se a resistência (aptidão em suportar solicitações mecânicas propriamente ditas) e a rigidez (analisada pelo módulo de elasticidade), relacionando-a com a proporcionalidade existente entre tensões e respectivas deformações específicas na fase de comportamento elástico-linear (ATHANÁZIO-HELIODORO, 2015).

Para Costa et al. (2017) a resistência da madeira a esforço não é apenas função da espessura da parede celular, mas também da proporção dos constituintes químicos das células (hemicelulose, celulose e lignina) e da quantidade de extrativos presentes no lume.

De acordo com ABNT - NBR 7190/1997, as propriedades mecânicas avaliadas em projetos de estruturas de madeira são:

- Compressão paralela e perpendicular às fibras;
- Tração paralela e perpendicular às fibras;
- Cisalhamento;
- Fendilhamento;
- Flexão;
- Dureza;
- Embutimento;

Contudo, para realização deste trabalho foram avaliadas apenas as propriedades: módulo de ruptura e módulo de elasticidade.

2.5.1 Módulo de elasticidade (MOE)

Segundo Moreschi (2014) o módulo de elasticidade expressa a carga necessária para distender um corpo de 1 cm² de seção transversal, a uma distância igual ao seu próprio comprimento. Embora o módulo não ofereça informações reais sobre o comportamento do material madeira, em geral pode-se dizer que:

- Quanto mais alto o MOE, mais alta é a resistência da madeira;
- Quanto mais alto o MOE, mais baixa será a deformabilidade da madeira;
- Quanto mais baixo o MOE, piores serão as qualidades da madeira para fins de construções civis.

2.5.2 Módulo de Ruptura (MOR)

Segundo Moreschi (2014) o ensaio visando à determinação da resistência à flexão estática da madeira consiste na aplicação de uma carga sobre um corpo-de-prova que repousa em dois apoios, na metade de seu comprimento, para causar tensões e deformações mensuráveis até sua ruptura.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os resíduos de soja foram obtidos no Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA). O resíduo constitui de parte aérea e casquilho.

A madeira de *Eucalyptus grandis* foi obtida de plantio presente no campos da UFLA. As árvores apresentavam 10 anos. Os tratamentos estão descritos na Tabela 1, sendo produzidos 3 painéis por tratamento, com densidade nominal de 0,60 g.cm⁻³.



Figura 1- Partículas de soja e eucalipto tratados.

As partículas de soja e eucalipto foram secas em estufa até a umidade na base seca de 3%. Os tratamentos das partículas foram com hidróxido de sódio 10% por período de 2 horas, água fria por 24 horas e tratamento testemunha. Foi utilizado adesivo do tipo Uréia-formaldeído na quantidade de 12% em relação à massa seca das partículas. As partículas foram misturadas manualmente com o adesivo na proporção de 50% eucalipto e 50% soja. Após a impregnação de adesivo nas partículas, estas foram levadas a uma caixa formadora de colchão, com dimensões de 25 cm x 25 cm x 1,5 cm, para a realização da pré-prensagem, em um prensa hidráulica em temperatura ambiente. Posteriormente, o mesmo seguiu para uma prensa à quente, onde o ciclo de prensagem foi de 8 minutos à temperatura de 150°C, à uma pressão de 4 MPa.

Para a avaliação da qualidade dos painéis, foram retirados e avaliados corpos-de-prova de acordo com as recomendações da NBR 14810-3 (ABNT, 2002). Para a determinação das propriedades mecânicas da madeira foi determinado módulo de estabilidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) à flexão estática. Fisicamente os painéis foram avaliados em densidade aparente, absorção de água após 2 h e 24 h em imersão em água e inchamento em espessura após 2 h e 24 h em imersão em água.

Os corpos de prova foram climatizados à temperatura de aproximadamente de $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $65\pm 3\%$ até estabilização de sua massa.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, utilizando os teste de média de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Tratamento	Soja (%)	Eucalipto (%)
Testemunha	50	50
Água	50	50
NaOH	50	50

Tabela 1 .Delineamento experimental utilizado para a produção dos painéis aglomerados

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análises químicas e físicas dos materiais lignocelulósicos

Na tabela 2 estão representados os valores médios da análise química do material lignocelulósico para cada tratamento do presente estudo.

Tratamentos	Lignina %	Extrativos totais %	Holocelulose + Cinzas
Testemunha EUC	16,75± 1,36 a	6,61± 2,49 a	76,64± 1,13 b
Testemunha SOJA	22,04± 0,47 b	13,69± 0,14 b	64,27± 0,61 a
C/ Água EUC	22,25± 2,45 b	3,36± 1,98 a	74,39± 4,43 b
C/ Água SOJA	20,62± 3,05 b	5,00± 1,09 a	74,38± 1,96 b

C/ NaOH EUC	21,97± 2,20 b	4,64± 0,23 a	73,39± 2,43 b
C/ NaOH SOJA	23,45± 0,11 b	14,93± 3,27 b	61,62± 3,38 a

Tabela 2 ó teores de lignina, extrativos totais e holocelulose + cinzas

Na tabela 2 estão apresentados os teores de lignina insolúvel e extrativos totais para os materiais lignocelulósicos.

Nota-se que para o eucalipto os tratamentos em água elevaram os valores de lignino não alterando significativamente os extrativos.

O teor de lignina é desejável para a produção de painéis aglomerados, pois de acordo com (Joseleauetal., 2004; Khedari et al., 2004) a lignina em maior quantidade é desejada por ser um agente adesivo natural.

Para a soja observa-se que não houve alteração nos teores de lignina, havendo redução dos extrativos totais apenas no tratamento com água fria.

A redução dos extrativos se mostra interessante pois de acordo com (Marra, 1992) altos valores desta substância levam a prejuízo da qualidade da colagem.

De maneira geral os painéis tratados com água fria foram o de melhor desempenho. Isso pode ter ocorrido em função dos baixos teores de extrativo neste tratamento. Iwakiriet al (2005) altos valores de extrativo causam maior absorção de água e inchamento em espessura em função da piora de qualidade de linha de cola formada.

A fraca resistência à absorção de água encontrada para painéis de partículas com partículas tratadas com NaOH pode ser parcialmente atribuído ao menor conteúdo de lignina, que é um componente hidrofóbico. Este tratamento químico também causa inchaço da estrutura cristalina da celulose, que facilita a entrada de água (Sellers; Mcsween Jr; Nearn, 1988; Joseleauet al., 2004; Khedari et al., 2004; John; Anandjiwala, 2008).

O conteúdo total de extrativos foi determinado com base na norma NBR 14853 (2010a), enquanto os teores de lignina foi obtido de acordo com a NBR 7989 (2010b). A holocelulose + cinzas foi determinada pela Equação:

$$\text{Holocelulose + cinzas (\%)} = 100 (\%) - \text{Extrativos (\%)} - \text{Lignina (\%)}$$

Os extrativos podem influenciar o adesivo, tornando mais fraca a ligação adesivo-partícula, e resultando em baixa resistência dos painéis produzidos (Marra, 1992).

Lignina é um adesivo natural que pode contribuir para melhorar a adesão entre as partículas no painel, resultando em uma ligação melhorada e estabilidade dimensional (Joseleau et al., 2004; Khedari et al., 2004)

4.2 Propriedades físicas

Os valores encontrados para densidade aparente estão apresentados na Figura 2. Para a densidade aparente não se observou diferença estatística entre os tratamentos estudados, sendo o valor médio encontrado de $0,55 \text{ g/cm}^3$.

4.2.1 Densidade aparente

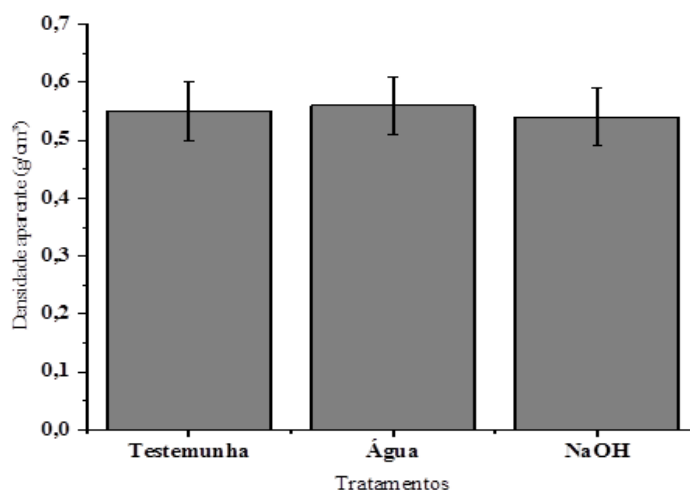


Figura 2. Valores obtidos para densidade aparente dos painéis, de acordo com os tratamentos químicos.

Os painéis aglomerados são normalmente produzidos com densidade no intervalo de $0,60$ a $0,70 \text{ g/cm}^3$ (IWAKIRI et al., 2005b).

O valor inferior da densidade média dos painéis em relação à densidade nominal de $0,70 \text{ g/cm}^3$, pode ser atribuído às condições do processo de produção dos painéis, no qual pode haver perdas de materiais durante o manuseio das partículas nas etapas de aplicação de adesivo, formação do colchão e prensagem dos painéis. Resultados semelhantes foram relatados por diversos autores na literatura (Guimarães Júnior et al., 2011; Mendes et al., 2010).

De acordo com as normas CS 236-66 (CS, 1968) e ANSI A208.1-99 (ANSI, 1999) todos os painéis produzidos foram classificados como de baixa densidade ($< 0,60 \text{ g/cm}^3$ e $< 0,64 \text{ g/cm}^3$ respectivamente).

Os valores obtidos para a propriedade de absorção de água (AA) em 2 horas de imersão variaram entre 91 e 212,5%, já para 24 horas de imersão, os valores ficaram entre 119,8 e 224,5% (Figuras 3 e 4). Em relação ao inchamento em espessura (IE), os valores encontrados variam de 21,4 a 67,5% e de 24,6 a 68,6%, para 2 e 24 de imersão, respectivamente (Figuras 5 e 6).

Nota-se que os painéis produzidos com partículas não tratadas e com água fria apresentaram menores valores para esta propriedade. Foi observado por Guimarães et al (2014) trabalhando com painéis aglomerados de banana tratada quimicamente, encontraram valores para absorção de água 2 horas de 55, 148 e 71% respectivamente para a testemunha, NaOH e água. Para 24 horas após imersão os autores observaram respectivamente 83, 189 e 113%.

4.2.2 Absorção de água 2h

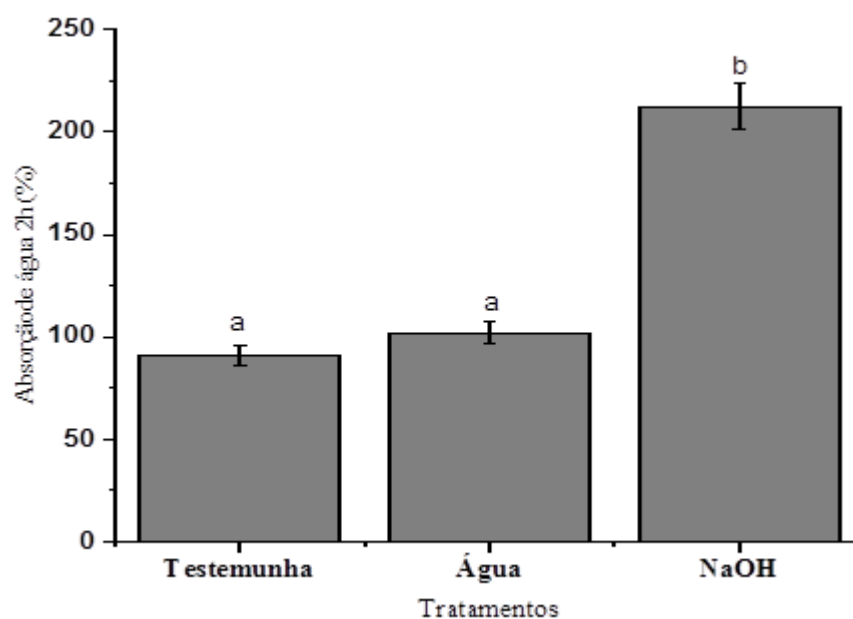


Figura 3 - Variação da absorção de água em 2 horas de imersão, de acordo com os tratamentos químicos.

4.2.3 Absorção de 24h

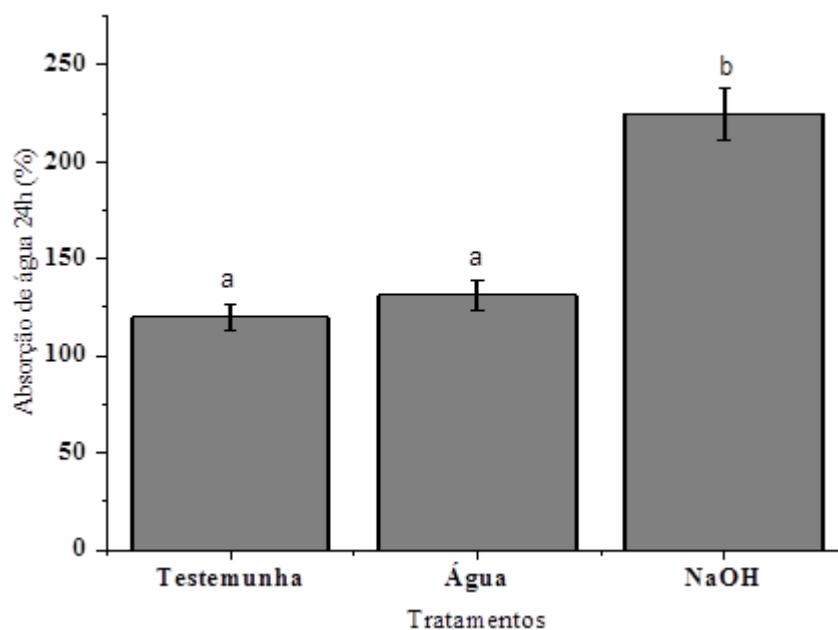


Figura 4 - Variação da absorção de água em 24 horas de imersão, de acordo com os tratamentos químicos.

4.2.4 Inchamento em espessura 2h

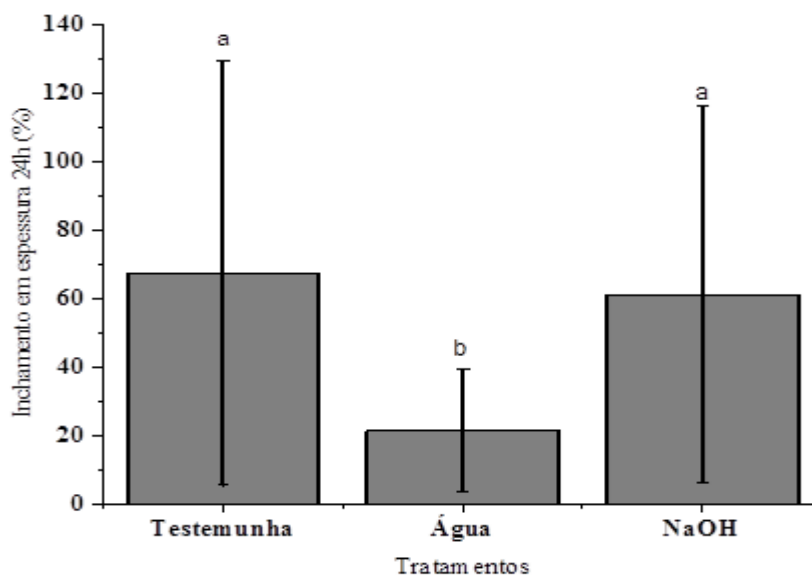


Figura 5 - Variação do inchamento em espessura em 2 horas de imersão em água, de acordo com os tratamentos químicos.

4.2.5 Inchamento em espessura 24h

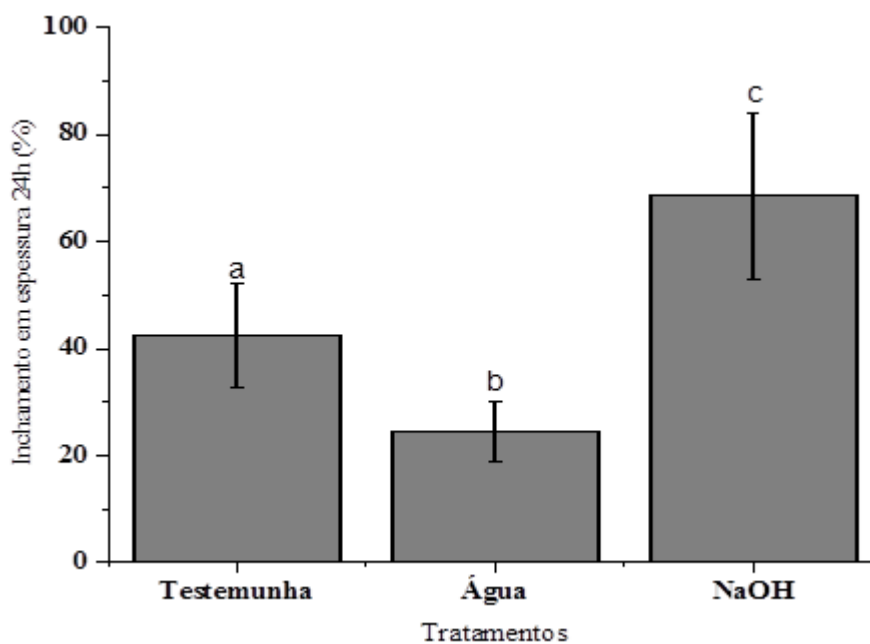


Figura 6 - Variação do inchamento em espessura em 24 horas de imersão em água, de acordo com os tratamentos químicos.

Para inchamento em espessura após 2 e 24 horas o tratamento com água fria das partículas foi o que melhor desempenho apresentou. Martins et al (2018) trabalhando com partículas de soja para produção de aglomerados de baixa densidade encontraram valores para o tratamento com 50% de madeira e 50% de resíduo, valores de respectivamente 22,59 e 31,54% de inchamento 2 e 24 horas.

Neste sentido, observa-se que os valores para as partículas tratadas com água fria foram as que mais se aproximaram desses resultados.

A norma CS 236-66 (Commercial Standard, 1968) exige para comercialização de painéis valores de inchamento em espessura, após 24 horas de imersão em água no máximo 35% (painéis de baixa densidade e produzidos com uréia formaldeído), sendo que apenas o tratamento com água fria se enquadra em tal normativa.

4.3 Propriedades mecânicas

Os valores médios das propriedades mecânicas MOR e MOE são observados nas figuras 7 e 8 respectivamente.

4.3.1 MOR

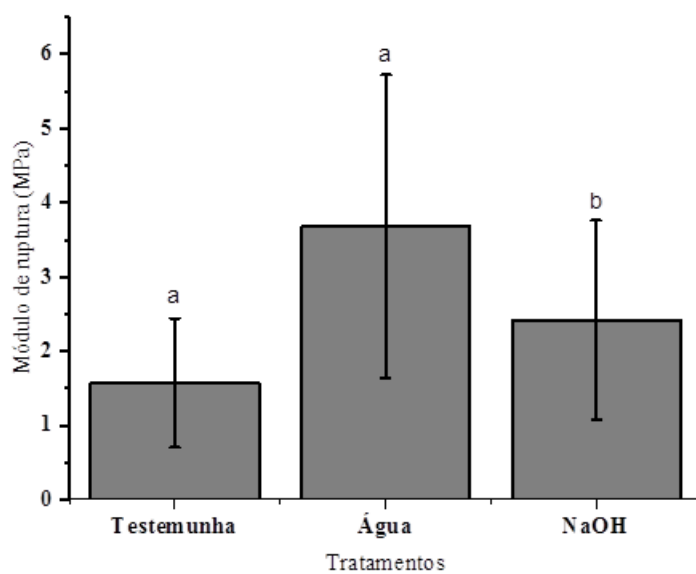


Figura 7 - Valores de módulo de ruptura - MOR em função dos tratamentos químicos.

4.3.2 MOE

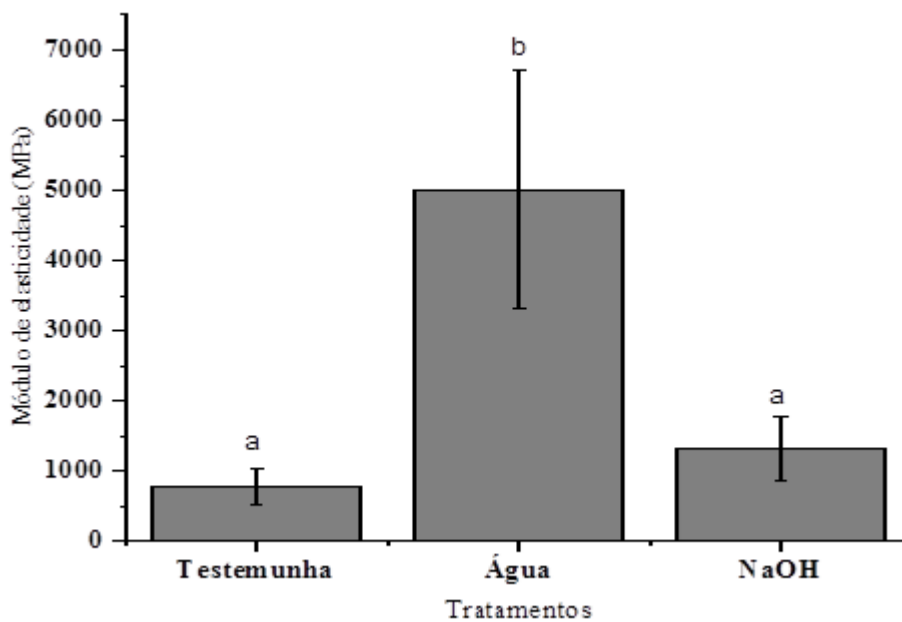


Figura 8 - Valores de módulo de elasticidade - MOE em função dos tratamentos químicos.

Observa-se que os maiores valores para as propriedades de resistência e rigidez ocorreram para o tratamento com água fria. Isso pode ser explicado em função de que o tratamento conseguiu reduzir a quantidade de extrativos totais.

Bufalino et al (2012) relata que esses componentes podem gerar painéis cuja colagem é menos eficiente. Isso se deve, porque esses compostos podem migrar para a superfície durante o processo de secagem e/ou prensagem da chapa, e, conseqüentemente, inativar a superfície e dificultar a molhabilidade e penetração do adesivo.

A norma de comercialização CS 236-66 (CS, 1968) estabelece para painéis aglomerados de baixa densidade e produzidos com o adesivo ureia-formaldeído, devem apresentar valor mínimo de MOE e MOR, de respectivamente 1029,7 MPa e 5,5 MPa.

Os resultados deste trabalho variam de 1,6 a 3,68 MPa nos valores de MOR e 781,8 a 5014,52 MPa de MOE e nenhum tratamento atendeu à norma citada. Somente o tratamento com água na propriedade de MOE chegou a um valor aproximado.

Neste sentido, para MOR apenas o tratamento com água fria atendeu a exigência normativa. Para MOE apenas a testemunha apresentou valor inferior a exigência normativa.

Guimarães Junior et al., (2016) trabalhando com resíduo da cultura do sorgo para produção de painéis aglomerados de baixa densidade, observaram valores de MOR variando de 3,5 a 6,3 MPa, resultado próximo ao observado neste trabalho. Já para MOE os autores encontraram valores entre 823 e 1234 MPa, sendo os observados para os painéis tratados e não tratados desta pesquisa valores superiores.

5 CONCLUSÕES

Os valores encontrados na densidade aparente não tiveram diferença significativa entre os tratamentos. Houve uma maior absorção dos painéis tratados com NaOH devido a um menor conteúdo de lignina das partículas. O único painel que atende as norma de comercialização para inchamento após 24 horas foi o tratado com água. Para MOR apenas o tratamento com água fria atendeu a exigência normativa, e para MOE apenas a testemunha apresentou valor inferior a exigência normativa. Conclui-se que, do ponto de vista técnico o tratamento com água fria foi promissor, as propriedades físicas e mecânicas podem ser ajustadas com uma menor porcentagem do resíduo de soja na produção do painel aglomerado.

6 REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 14810-1,2,3. Chapas de madeira aglomerada: métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2002. 32p.
- CAILLOT, V. A. Avaliação do potencial de produção de biogas dos resíduos da suinocultura codigeridos com resíduos agrícolas brasileiros. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Programa de pós-graduação em engenharia de produção. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2017. http://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2386/1/PG_PPGEP_M_Caillot%2c%20V%20anessa%20Alueth_2017.pdf
- CÉSAR, A. A. S.; BUFALINO, L.; MENDES, L. M.; MESQUITA, R. G. A.; PROTÁSIO, T. P.; MENDES, R. F.; ANDRADE, L. M. F. Transforming rice husk into a high-added value product: potential for particleboard production. *Ciência Florestal*, v. 27, n. 1, p. 303-313, 2017.
- COMMERCIAL STANDARD. Mat formed wood particle board: CS -236-66. Wallingford, 1968.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Acompanhamento da safra brasileira: Grãos - Safra 2016/17 - Sétimo Levantamento, v. 4, n.7, Brasília, Abril 2017. http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_04_17_17_20_55_boletim_graos_abr_2017.pdf

EUROPEAN STANDARD. EN 312. Particleboards ó Specifications.. English version. 2003.

GUIMARÃES, B. M. R.; MENDES, L. M.; TONOLI, G. H. D.; BUFALINO, L.; MENDES, R. F.; GUIMARÃES JUNIOR, J. B. Chemical treatment of banana tree pseudostem particles aiming the production of particleboards. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 38, n.1, p.43-49, 2014. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542014000100005

GUIMARÃES JÚNIOR, J. B.; MENDES, L. M.; MENDES, R. F.; MORI, F. A. Painéis de madeira aglomerada de resíduos da laminação de diferentes procedências *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus cloeziana*. *Cerne*, v.17, n.4, p.443-452, 2011. http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010477602011000400002&script=sci_abstract&lng=pt

GUIMARÃES JUNIOR, J. B.; XAVIER, M. M.; SANTOS, T. S.; PROTÁSIO, T. P.; MENDES, R. F.; MENDES, L. M. Inclusão de resíduo da cultura de sorgo em painéis aglomerados de eucalipto. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 36, n. 88, p. 435-442, 2016.

MARTINS, M. F.; MATOS, T. N.; SANTOS, A. A. R. DOS.; ASCHERI, P. R. Extração e caracterização da celulose e síntese de carboximetilcelulose a partir da casca de soja. II Congresso de ensino, pesquisa e extensão da UEG. Goiás, 2015. <http://www.anais.ueg.br/index.php/cepe/article/viewFile/5143/2995>

MENDES, R. F.; MENDES, L. M.; ABRANCHES, R. A. S.; SANTOS, R. C. DOS; GUIMARÃES JUNIOR, J. B. Painéis aglomerados produzidos com bagaço de cana em associação com madeira de eucalipto. *Scientia Forestalis*, v.38,n.86, p.285-295, 2010. <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr86/cap16.pdf>

MENDES, R. F.; MENDES, L. M.; GUIMARÃES JÚNIOR, J. B.; MORI, F. A.; CÉSAR, A. M. DA S. Efeito da incorporação de casca de café nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados de *Eucalyptusurophylla* S.T. Blake. *Ciência e*

Agrotecnologia, v.34, n.3, p.610-617, 2010.<http://www.scielo.br/pdf/cagro/v34n3/12.pdf>

MENDES, R. F.; MENDES, L. M.; GUIMARÃES JÚNIOR, J. B.; SANTOS, R. C. DOS; CÉSAR, A. A. DA SILVA. Efeito da associação de bagaço de cana, do tipo e do teor de adesivo na produção de painéis aglomerados. *Ciência Florestal*, v. 22, n.1, p.161-170, 2012.<https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/5088/3081>

PIERRE, F. C.; BALLARIN, A. W.; LARA PALMA, H. Caracterização física de painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis* com adição de resíduos industriais madeireiros. *Cerne*, v. 20, n. 2, p. 3216328, 2014.

SCATOLINO, M. V.; COSTA, A. O.; GUIMARÃES JUNIOR, J. B.; PROTÁSIO, T. P.; MENDES, R. F.; MENDES, L. M. Eucalyptus wood and coffee parchment for particleboard production: physical and mechanical properties. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 41, n. 2, p. 139-146, 2017

SCATOLINO, M. V.; SILVA, D. W.; MENDES, R. F.; MENDES, L. M. Use of maize cob for production of particleboard. *Ciência e Agrotecnologia*, v.37,n.4, p.330 - 337, 2013.http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542013000400006

SILVA, D. W.; FARRAPO, C. L.; PEREIRA, D.; MENDES, R. F.; MENDES, L. M. MDP com partículas de eucalipto e palha de milho. *ScientiaForestalis*, v. 43, n. 108, p. 853-862, 2015.

SILVA, D. W.; SCATOLINO, M. V.; PRADO, N. R. T.; MENDES, R. F.; MENDES, L. M. Addition of different proportions of castor husk and pine wood in particleboards. *WasteBiomassValorization*, v. 16, p. 1-7, 2016.