

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRARIAS E ENGENHARIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS E DA MADEIRA

SABRINA DARÉ ALVES

PAINÉIS AGLOMERADOS PRODUZIDOS COM CASCA DE ARROZ
MODIFICADA TERMICAMENTE EM ASSOCIAÇÃO COM MADEIRA DE
Pinus taeda

JERÔNIMO MONTEIRO
ESPÍRITO SANTO
2017

SABRINA DARÉ ALVES

PAINÉIS AGLOMERADOS PRODUZIDOS COM CASCA DE ARROZ
MODIFICADA TERMICAMENTE EM ASSOCIAÇÃO COM MADEIRA DE
Pinus taeda

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Departamento de Ciências Florestais e da
Madeira da Universidade Federal do Espírito
Santo, como requisito parcial para obtenção do
título de Engenheira Industrial Madeireiro.

Orientador: Prof. Dr. Fabricio Gomes
Gonçalves

JERÔNIMO MONTEIRO
ESPÍRITO SANTO

2017

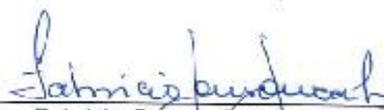
SABRINA DARÉ ALVES

PAINÉIS AGLOMERADOS PRODUZIDOS COM CASCA DE
ARROZ MODIFICADA TERMICAMENTE EM ASSOCIAÇÃO COM
MADEIRA DE *Pinus taeda*

Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira
da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção
do título de Engenheiro Industrial Madeireiro

Aprovada em 13 de Julho de 2017.

COMISSÃO EXAMINADORA



Fabricio Gomes Gonçalves
Universidade Federal do Espírito Santo / UFES
Orientador



Pedro Gutemberg de Alcântara Segundinho
Universidade Federal do Espírito Santo / UFES
Examinador



Mestrando Rafael Gonçalves Espósito de Oliveira
Universidade Federal do Espírito Santo / UFES
Examinador

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida, pela minha família, pelos amigos e por todas as conquistas.

A minha mãe, Creolizete Daré, ao meu pai, Valdevino Augusto, e a minha irmã, Érica Daré, pelo apoio, amor e dedicação e por tudo que representam para mim.

À Universidade Federal do Espírito Santo, pela oportunidade de realização do curso de Engenharia Industrial Madeireira.

Ao Professor orientador Fabricio Gomes Gonçalves, pelas orientações e ensinamentos.

Aos demais professores do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, pelos conhecimentos transmitidos.

Ao José Geraldo Lima de Oliveira pelo apoio técnico, contribuindo para o desenvolvimento desta pesquisa e ao Sr. Eley Palácio Constantino pelos serviços prestados na marcenaria.

A empresa Serraria Pindobas pela doação da madeira de pinus, indispensável para a realização deste trabalho.

A meu namorado Dalton, pelo carinho, paciência e companheirismo e por todos os momentos felizes vividos até aqui.

Aos colegas de graduação, pelos bons momentos de convivência e pela amizade.

Muito Obrigada!

RESUMO

O trabalho teve como objetivo, avaliar as propriedades físicas e mecânicas de painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de madeira (*Pinus taeda*) e casca de arroz (*Oryza sativa* L.) modificada termicamente. Os painéis foram produzidos com incorporação de casca de arroz modificada termicamente a 150°C por 3 horas, formando os seguintes tratamentos: T1: 100% partículas de pinus, T2: 90% de partículas de pinus + 10 % de partículas de arroz, T3: 80% de partículas de pinus + 20 % de partículas de arroz, T4: 70% de partículas de pinus + 30 % de partículas de arroz. A densidade nominal dos painéis foi calculada em função das porcentagens de matéria-prima, tendo como base uma razão de compactação de 1,3. Aplicou-se a prensagem de 3,92 MPa a uma temperatura de 170°C por 8 minutos. Utilizou-se o adesivo fenol-formaldeído (FF) a 12% em relação a massa seca de partículas. Foram preparados três painéis para cada tratamento. A partir dos resultados obtidos foi possível observar que as propriedades físicas dos painéis aglomerados apresentam resultados significativos para a absorção em água, já para as propriedades de inchamento em espessura, o acréscimo da casca de arroz afetou negativamente. As propriedades mecânicas de tração e flexão estática atendem aos requisitos mínimos de qualidade exigidos pela norma NBR 14810-3 (ABNT, 2006), o mesmo não ocorreu para o arrancamento de parafuso na superfície.

Palavras-chaves: fenol-formaldeído, resíduo agroindustrial, modificação térmica, madeira.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
1.1 O problema e sua importância	8
1.2 Objetivos	8
1.2.1 Objetivo geral	8
1.2.2 Objetivos específicos	8
2 REVISÃO DE LITERATURA	9
2.1 Painéis Aglomerados	9
2.2 Produção de chapas de partículas aglomeradas	10
2.2.1 O pinus como matéria-prima para produção de painéis.....	10
2.2.2 A casca de arroz como matéria-prima	12
2.2.3 Adesivos utilizados na produção de painéis	13
2.2.4 Modificação térmica	14
3 MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1 Coleta e preparo da matéria-prima	16
3.1.1 Caracterização física das matérias-primas	18
3.2 Produção dos painéis.....	18
3.3 Avaliação das propriedades físicas e mecânicas.....	22
3.4 Análise dos resultados	23
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
4.1 Propriedades físicas dos painéis aglomerados	24
4.1.1 Densidade aparente	24
4.1.2 Absorção de água (AA) 2 horas e 24 horas	26
4.1.3 Inchamento em Espessura (IE) 2 horas e 24 horas	28

4.2 Propriedades mecânicas dos painéis aglomerados	30
4.2.2 Resistência ao arrancamento de parafuso na superfície	32
5 CONCLUSÕES	36
6 REFERÊNCIAS.....	37
APÊNDICE	41

1 INTRODUÇÃO

É notável nos dias de hoje a grande mudança que vem ocorrendo no setor madeireiro devido à grande diversidade e quantidade de florestas naturais tropicais no Brasil. Com a mudança na indústria ocorre um aumento na sua produtividade, gerando assim uma elevada quantidade de resíduos devido à intensa exploração da madeira, podendo vir a causar danos ao ambiente quando não utilizadas de maneira correta. O mesmo ocorre com a geração de resíduos no setor agrícola.

A utilização dos resíduos de madeira, como maravalhas, costaneiras e serragem, mesclados com os resíduos agrícolas, como bagaço de cana de açúcar, casca de arroz e casca de café, possibilita a obtenção de painéis aglomerados com diferentes características físico-mecânicas, e conseqüentemente permitindo um destino mais nobre e menos poluente para esses materiais.

Os painéis aglomerados, também conhecidos como chapas de madeira aglomerada ou chapas de partículas são produzidos a partir de fragmentos da madeira, mediante junção de adesivos que podem ser sintéticos, naturais ou mistos, e submetidos a prensagem a quente para realização completa da cura do adesivo.

Um dos fatores básicos determinantes para as características dos painéis é a geometria da matéria-prima. Partículas com menores dimensões demandam maior consumo de resina, em comparação com as partículas de maiores dimensões, esta relação entre a dimensão das partículas e o consumo de resina é decorrente a área superficial específica. Sendo assim, partículas com menores dimensões possuem área específica maior, o que favorece o encolamento.

As propriedades dos painéis são determinadas por um conjunto de fatores, como a espécie de madeira, os aditivos, o tipo e a quantidade de resina, a estrutura da placa formada pelo arranjo das partículas, a disposição das camadas e as condições de prensagem (HASELEIN, 2002).

Portanto, o estudo da utilização de resíduos lignocelulósicos derivados de atividades agrícolas e do setor madeireiro na produção de painéis aglomerados surge como uma alternativa que minimiza a extração de madeira, além de ter um baixo custo e permitindo um maior aproveitamento da matéria-prima, como no caso dos resíduos agroindustriais lignocelulósicos.

1.1 O problema e sua importância

O crescimento do setor florestal desencadeou o consumo de grandes volumes de matéria-prima e, conseqüentemente a geração de resíduos vem aumentando gradualmente. O emprego dos resíduos madeireiros e agrícolas admite uma possível solução a um problema ambiental, além de poder gerar dividendos para o ramo empresarial, tornando-se matérias-primas para novos produtos.

A composição de painéis aglomerados é realizada com a intenção de se obter peças com as dimensões e qualidades exigidas pelo consumidor, na qual a padronização da matéria-prima é um parâmetro a ser buscado para a redução dos custos deste produto, sobretudo quando proveniente de resíduos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Caracterizar painéis aglomerados produzidos com partícula da madeira de pinus em mistura com casca de arroz modificada termicamente.

1.2.2 Objetivos específicos

- Obter e classificar as partículas de pinus e casca de arroz;
- Modificar termicamente a casca de arroz;
- Obter e analisar as propriedades físicas e mecânicas dos painéis aglomerados confeccionados com diferentes proporções de casca de arroz modificada termicamente.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Painéis Aglomerados

Os painéis aglomerados são classificados como chapas de partículas lignocelulósicas unidas com uma resina sintética, através de calor e pressão, que agem em conjunto. A matéria-prima principal para confecções desses painéis são oriundas de florestas plantadas, podendo ainda serem utilizados resíduos da indústria madeireira, provenientes de serrarias ou toras de pequeno diâmetro (DACOSTA, 2004).

Para a ampliação dos materiais empregados na indústria da construção civil e moveleira, têm-se como proposta os produtos derivados de madeira, pois o Brasil apresenta condições adequadas para se tornar um importante produtor mundial de painéis, já que possui tecnologia que permite o emprego de resíduos provenientes do processamento mecânico da madeira (PEDRAZZI, 2005).

A fabricação de painéis aglomerados só passou a ser produzido no Brasil na década de 60. Por ser um produto novo no mercado nacional, passou por diversos questionamentos, principalmente, quanto às suas limitações técnicas, como alta absorção de água, problemas quanto à fixação de parafusos, inchamento em espessura e usinagem das bordas (MELO, 2009).

Com o passar do tempo, novas tecnologias foram aliadas no processo de fabricação, como uso de parafina, controle do gradiente de massa específica e sistema de parafuso mais eficiente, visando minimizar tais problemas e tornando o aglomerado uma das principais matérias-primas utilizadas no setor moveleiro nacional (MELO, 2009).

A produção brasileira de painéis de madeira reconstituída foi de 7,5 milhões de m³ em 2015, uma redução de 6,3% em relação ao ano anterior. A queda na produção de painéis reconstituídos é decorrente do baixo consumo das famílias em diversos produtos, incluindo moveis, o principal seguimento consumidor de painéis de madeira no Brasil. (IBÁ, 2016).

Para a economia brasileira, a produção de painéis à base de madeira é de grande importância, pois possibilitaria a geração de novos empregos. Mas para que ocorra esta ampliação, é necessário o investimento em tecnologias aliadas ao

desenvolvimento sustentável com redução de custos voltados para a produção de painéis derivados da madeira.

2.2 Produção de chapas de partículas aglomeradas

Segundo a *American Society for Testing and Materials* – ASTM, por meio da normativa D1554 (2016), o termo “partícula” é definido como o componente agregado de uma chapa de partículas de madeira ou outro material lignocelulósico, incluindo todas as menores subdivisões da madeira, fabricadas por meios mecânicos. É mais comum a utilização de flocos, maravalhas e fibras, em diversos tamanhos, para a composição de chapas. Partículas geradas por moinho de martelos são produzidas a partir de resíduos da indústria da madeira ou de matéria-prima proveniente de florestas plantadas (HASELEIN, 2002).

Os painéis aglomerados surgiram no início da década de 40 na Alemanha e tinham como intuito a utilização de resíduos de madeira, pois existia uma dificuldade em encontrar matéria-prima de boa qualidade para a produção de lâminas para compensados durante a segunda Guerra Mundial (IWAKIRI, 2005).

Os painéis de madeira aglomerados são compósitos confeccionados com partículas de materiais lignocelulósicos, que tem como principal matéria-prima a madeira, com a adição de aglutinantes (adesivos) e concretizado por meio da aplicação de calor e pressão (MELO, 2009).

Para a obtenção das partículas para a produção de aglomerados, comumente emprega-se picadores de partículas, e este procedimento promove de forma considerável a destruição na estrutura da madeira, como quebra de fibras libriformes, traqueídeos e parênquima. Sendo assim, a resistência mecânica das partículas obtidas é consideravelmente mais baixa do que a da madeira que as originaram. Ou seja, a estrutura final do painel simula uma unidade que possui vazios e rupturas, que reduzem a resistência mecânica (ALBUQUERQUE, 2002).

2.2.1 O pinus como matéria-prima para produção de painéis

Para a fabricação de diferentes produtos, tanto para indústrias moveleiras quanto para construção civil, a madeira de pinus é considerada como uma importante matéria-prima. Uma das vantagens deste material é o que se refere ao melhor aproveitamento da madeira na conversão de maravalhas, obtendo melhorias nas suas propriedades, constituindo assim, um produto homogêneo (KRONKA, 2005).

A madeira do gênero pinus possui características que admite variada gama de aplicações, porém a deficiência de conhecimento e tradição no uso da madeira preservada, assim como a falta de especificações técnicas e informações sobre o comportamento em serviço, faz com que haja uma restrição a sua utilização (BARILLARI, 2002).

No Brasil, o potencial silvicultural das espécies de pinus é um fator essencial para a sustentação do parque industrial madeireiro, tendo como as mais plantadas e industrializadas o *Pinus elliottii* e de *Pinus taeda*. No entanto, existem muitas outras espécies de pinus tropicais com grande potencial de utilização (IWAKIRI, 2002).

Em 1958, tiveram início as implantações de florestas de pinus no interior de São Paulo com a introdução das seguintes espécies para produção de madeira serrada: *P. elliottii* var. *elliottii*, *P. taeda*, *P. caribaea* var. *caribaea*, *P. caribaea* var. *bahamensis*, *P. kesiya*, *P. patula*, *P. occidentalis*, *P. maximinoi*, *P. strobus* var. *chiapensis*, *P. tenuifolia*, *P. montesumae*, *P. michoacana*, *P. greguii* e *P. pinaster*, (KRONKA et al., 2005).

Tem como vantagem as espécies de pinus o seu rápido crescimento, porém, existem algumas limitações técnicas, sendo elas a baixa densidade e a alta permeabilidade da madeira, no qual influencia significativamente o processo de colagem dos painéis e a resistência da linha de cola (IWAKIRI, 2002).

A fácil adaptação do pinus ao clima e aos solos ligeiramente ácidos, que compõem grande parte dos solos brasileiros, juntamente com a adoção de práticas silviculturais adequadas, permite a implantação do mesmo em extensas áreas, tornando-o uma importante fonte de matéria-prima para a indústria madeireira (KRONKA, 2005).

Neste contexto destaca-se o *Pinus taeda*, o qual foi utilizado para o trabalho em questão. O *Pinus taeda* ocorre em regiões de clima úmido, temperado-ameno, com verões quentes e longos e com temperaturas oscilando de 12°C a 25°C. É a espécie de pinus mais plantada no Brasil, abrangendo uma área de aproximadamente

um milhão de hectares, no planalto da Região Sul do Brasil, para produção de chapas de madeira reconstituída, papel, celulose e madeira serrada (SANCHES¹, 2012 apud SHIMIZU, 2005).

Segundo Santini (2000), a densidade básica média da madeira de *Pinus taeda* com 13 anos de idade e submetido a um desbaste entre o 8º e 10º ano, oscila em torno de 0,41 g cm⁻³, sendo considerada uma espécie a de baixa massa específica. Esse fator torna o *Pinus taeda* adequado para a produção de painéis aglomerados, tendo em vista que possui menor quantidade de massa por unidade de volume, o que facilita a colagem devido a maior quantidade de espaços vazios.

2.2.2 A casca de arroz como matéria-prima

A casca de arroz é um revestimento do grão, tendo como principal função proteger o mesmo durante sua formação. Possui uma baixa massa específica, 0,11 g cm⁻³ e elevado volume. É um material fibroso, com elevado teor de sílica e tem como principais constituintes a celulose (50%), lignina (30%) e compostos inorgânicos (20%) (PAULESKI, 2007; POUHEY, 2006).

O cultivo do arroz ocupa o terceiro lugar em áreas cultivadas no mundo com culturas anuais (CONAB, 2015). Dentre os principais produtores mundiais de arroz, o Brasil está entre os dez, com cerca de 11 milhões de toneladas para um consumo de 11,7 milhões de toneladas base casca. Em 2008, a produção Brasileira representou 2% do total mundial (NUNES, 2016).

No Espírito Santo, o cultivo de arroz é significativo, onde destacam-se em os municípios de Barra de São Francisco (700 ha), seguido de Pancas (300 ha), Nova Venécia (200 ha) e Ecoporanga (140 ha). No município de Jerônimo Monteiro, onde foi coletado o material para a realização do trabalho produz-se arroz em cerca de 35 hectares (IBGE, 2007). Logo, painéis que apresentam em sua constituição casca de arroz surgem como alternativa para um dos graves problemas do setor agrícola (MELO, 2009), que é o destino dos resíduos a ela associado.

¹ SANCHES, F. L. **Qualidade de painéis aglomerados produzidos com misturas de madeira de quatro espécies florestais**. 2012, 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, 2012.

A casca de arroz equivale a cerca de 20% do peso do grão e é composta por quatro camadas estruturais, fibrosas, esponjosas ou celulares: epiderme externa, coberta por uma espessa cutícula de células silificadas; esclerênquima ou fibra hipoderme, com parede lignificada; célula parênquima esponjosa; e epiderme interna (POUEY, 2006).

2.2.3 Adesivos utilizados na produção de painéis

No processo de fabricação de painéis aglomerados o adesivo é um componente muito importante, tendo a possibilidade do seu custo ser equivalente a 50% no preço total de fabricação (CARNEIRO, 2004). Isso faz com que haja uma influência direta na economia da indústria.

A classificação dos adesivos utilizados para a colagem de madeira é dividida em três grupos: os de origem natural (pele, soja, trigo, caseína e sangue); os sintéticos termoplásticos (polivinil/acetato, polivinil/acrilato, polietileno e borracha sintética); e os termoendurecedores ou termofixos (ureia, fenol, melanina, resorcinol e tanino), que quando submetidos a temperaturas elevadas se modificam química e fisicamente, tornando-se rígidos, insolúveis e irreversíveis (IWAKIRI, 2005).

Os principais tipos de adesivos empregados nas indústrias de painéis à base de madeira são os seguintes: ureia-formaldeído (UF), melanina-formaldeído (MF), fenol-formaldeído (FF) e difenil metano di-isocianato (MDI) (SANTOS, 2008).

As resinas fenólicas são mais indicadas para uso exterior e para fins estruturais, pois possuem uma maior resistência e durabilidade, e as resinas uréicas, são mais indicadas para o uso em interiores devido à baixa resistência à umidade e por possuir um menor custo (PIZZI, 2003).

Foi na década de 30 que a resina fenol-formaldeído foi introduzida comercialmente, na qual apresentou como característica principal a sua alta resistência à umidade, sendo classificada como de uso exterior (BR – *boil resistant*, WBP – *water and boil proof*). Têm como principal destinação a produção de compensados à prova d'água, painéis de fibras (duras), painéis aglomerados estruturais *waferboard* e "OSB" (*Oriented Strand Board*) (IWAKIRI, 2005).

A resina fenol-formaldeído tem em sua composição algumas características próprias, que são elas: coloração marrom avermelhada, teor de sólidos variando de 48 a 51%, pH na faixa de 11 a 13, viscosidade entre 300 a 600cp, temperatura de cura na faixa de 130 a 150°C, e vida útil de armazenagem de 4 a 5 meses quando submetido à temperatura de 20°C (IWAKIRI, 2005).

2.2.4 Modificação térmica

No Brasil, a modificação térmica é pouco pesquisada, contudo, os benefícios deste tratamento já foram abordados e comprovados em espécies de madeiras europeias. No continente europeu, produtos modificados termicamente são comercializados para a fabricação de pisos ou para a indústria siderúrgica (BORGES; QUIRINO, 2004).

Com o intuito de conferir à madeira estabilidade dimensional, a modificação térmica tem sido estudada desde a década de 40 nos Estados Unidos da América, quando o processo de madeira tratada foi patenteado de *staybwood* (madeira estável) por STAMM (BORGES; QUIRINO, 2004).

Quando o material é exposto a modificação térmica, o mesmo poderá implicar em modificações desejáveis e indesejáveis. Para que ocorra a modificação térmica, existem várias formas de aplicação do tratamento, conseqüentemente, ocorrerá diferentes níveis de alteração nas propriedades do material em si. O meio em que se pode realizar a modificação térmica baseia-se em ar, vapor, vapor supersaturado, fumaça, nitrogênio e outros. Os equipamentos e a forma de aplicar a modificação térmica são estufa, autoclave, túnel de aquecimento, prensa, entre outros (DEL MENEZZI, 2004).

A modificação térmica de um determinado material é utilizada com a finalidade de alterar o estado original do mesmo, tendo como objetivo melhorar ou exceder uma ou mais características indesejáveis no material. A modificação pode por exemplo, reduzir a higroscopicidade, tornar o material mais resistente à biodeterioração e mais estáveis dimensionalmente conforme afirmado por Hill (2006).

Para que ocorra a modificação térmica, as temperaturas utilizadas variam de 140 a 260 °C, resultando assim em ligeiras alterações das propriedades dos materiais, sobretudo na porção externa da madeira (HILL, 2006).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Painéis do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira (LPDCFM), da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), localizado no município de Jerônimo Monteiro- ES.

3.1 Coleta e preparo da matéria-prima

Para a produção dos painéis aglomerados foram utilizadas partículas da madeira de *Pinus taeda* e casca de arroz (*Oryza Sativa* L.). A árvore utilizada para a manufatura dos painéis foi coletada na serraria Pindobas, localizada em Venda Nova do Imigrante – ES, e a casca de arroz foi fornecida por uma pequena indústria beneficiadora localizada em Jerônimo Monteiro - ES, proveniente de pequenos plantios realizados por agricultores familiares.

A madeira de pinus foi transformada em maravalhas no sentido longitudinal da peça, em seguida, para maior homogeneização do material, as maravalhas foram transformadas em partículas no moinho de martelo, equipado com peneira de orifícios de 8 mm de diâmetro. As partículas foram expostas ao ar até atingirem aproximadamente 12% de umidade, em seguida, as partículas foram secas em estufa a 103 ± 2 °C até atingir a umidade pré-estabelecida de 5%.

Subsequentemente, as partículas foram peneiradas em malhas de 4 e 2 mm de aresta, sendo utilizadas aquelas que ficaram retidas na peneira de 2 mm, em seguida, foram acondicionadas em sacos plásticos, fechados e identificados. A casca de arroz passou pelo moinho de martelo, com peneira de 8 mm, com posterior peneiramento em malha de 2 mm de aresta para eliminação dos finos (Figura 1).



Figura 1 – Material lignocelulósico processado e pronto para utilização. A = Pinus; B = Casca de arroz modificada termicamente.

A modificação térmica das cascas de arroz foi realizada com base em um programa de temperatura, no qual utilizou um forno mufla elétrico laboratorial, da marca Linn Elektro Therm, com dimensões de 600 x 600 x 700 mm equipado com um sistema de controle de temperatura e tempo (Figura 2).

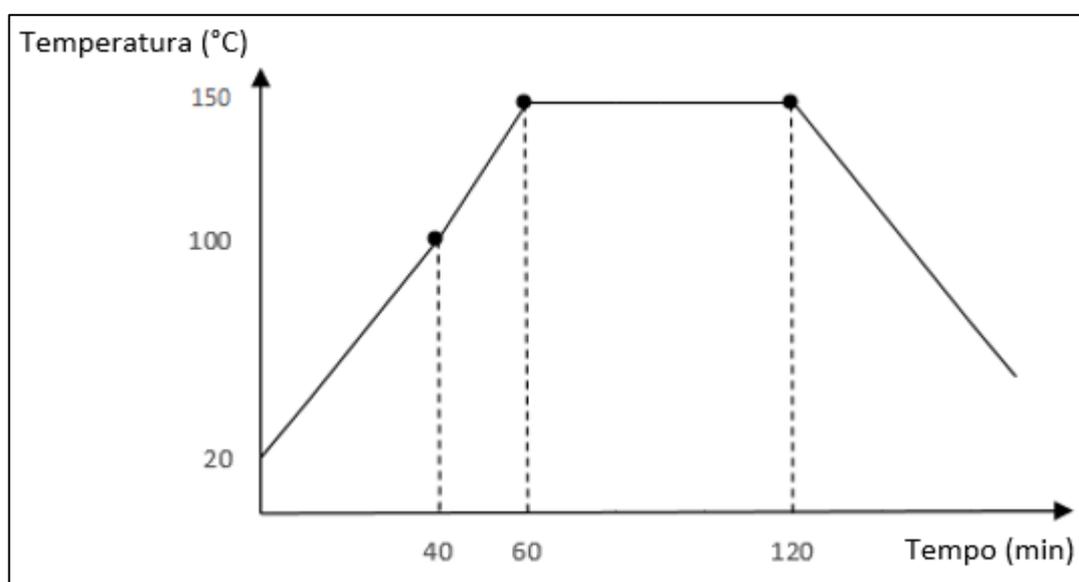


Figura 2 – Programa de temperatura aplicado no tratamento da modificação térmica nas cascas de arroz.

Para a modificação térmica na casca de arroz foi necessário a realização de testes preliminares para saber qual a melhor faixa de temperatura e tempo de modo

que as partículas não se tornassem quebradiças (friáveis) ao ponto de comprometer a formação e a qualidade do painel. A modificação térmica foi realizada com as partículas de casca de arroz dispostas em bandejas de alumínio no interior da mufla.

Após o término do tratamento de modificação térmica, o resfriamento foi necessário, e o mesmo foi realizado com a porta da mufla entre aberta até que o material estivesse em condição de armazenamento. Quando já resfriada, a casca de arroz foi armazenada em sacos plásticos hermeticamente fechado.

3.1.1 Caracterização física das matérias-primas

A densidade básica da madeira de pinus foi estabelecida por meio do método da balança hidrostática, utilizando cunhas opostas entre si, retiradas a partir do disco do DAP (1,30m do solo). Determinou-se o volume saturado da madeira e em seguida as cunhas foram secas em estufa a 103 ± 3 °C até atingirem massa constante, obtendo-se assim a massa seca.

A densidade do resíduo lignocelulósico casca de arroz, foi realizada por meio do método da densidade a granel. O resíduo foi saturado em água, subsequentemente determinou-se o volume saturado de cada material e a massa foi seca em estufa à 103°C até atingir peso constante. A densidade a granel foi determinada por meio da razão entre massa seca e o volume saturado. Foram realizadas 5 repetições.

3.2 Produção dos painéis

Para a confecção dos painéis, as partículas dos materiais lignocelulósicos foram pesadas com o intuito de quantificar o material necessário e a resina a ser aplicada conforme cada tratamento (por serem painéis com diferentes proporções, cada painel tem sua massa própria). Tendo em vista a razão de compactação 1,3, foi determinado de antemão as densidades dos painéis aglomerados em função de sua composição conforme ilustrado abaixo (Equações 1 – 4).

$$Dp (100\% pns) = 1,3x Dpns \quad (1)$$

$$Dp (90\% pns) = 1,3x \left[\left(\frac{Dpns \times 90}{100} \right) + \left(\frac{Dca \times 10}{100} \right) \right] \quad (2)$$

$$Dp (80\% pns) = 1,3x \left[\left(\frac{Dpns \times 80}{100} \right) + \left(\frac{Dca \times 20}{100} \right) \right] \quad (3)$$

$$Dp (70\% pns) = 1,3x \left[\left(\frac{Dpns \times 70}{100} \right) + \left(\frac{Dca \times 30}{100} \right) \right] \quad (4)$$

Em que: Dp = densidade do painel (g cm^{-3}) para cada composição; $Dpns$ = densidade da madeira de pinus (g cm^{-3}); Dca = densidade da casca de arroz (g cm^{-3}).

Com os valores das densidades calculadas referente a cada tratamento, mensurou-se a massa de cada material e o adesivo fenol-formaldeído na proporção 100:12 (partícula : adesivo) necessária para a fabricação dos painéis.

Tendo sido as partículas pesadas e separadas nas quantidades adequadas, a mesma foi disposta no interior de uma encoladeira, e o adesivo foi aplicado por meio de uma pistola pneumática acoplada ao tambor. As partículas ficaram girando no tambor até homogeneização completa dos materiais, ou até toda a aplicação do adesivo.

Após as partículas estarem encoladas, as mesmas foram dispostas em uma caixa formadora de madeira, sem fundo com dimensões de 42,5 x 42,5 x 1,28 cm e pré-prensadas, formando-se assim um colchão. Antes da prensagem, o colchão foi disposto entre duas chapas metálicas, com dois espaçadores de 1,25 cm de espessura.

A prensagem foi realizada em uma prensa de pratos planos e horizontais, com aquecimento elétrico em ambos os pratos e com controle digital do processo, com os seguintes parâmetros: força de prensagem: 30 kgf cm^{-2} ; tempo de prensagem: 10 min; tempo de fechamento de prensa: 30 segundos; temperatura de prensagem: 170 °C (Figura 3).



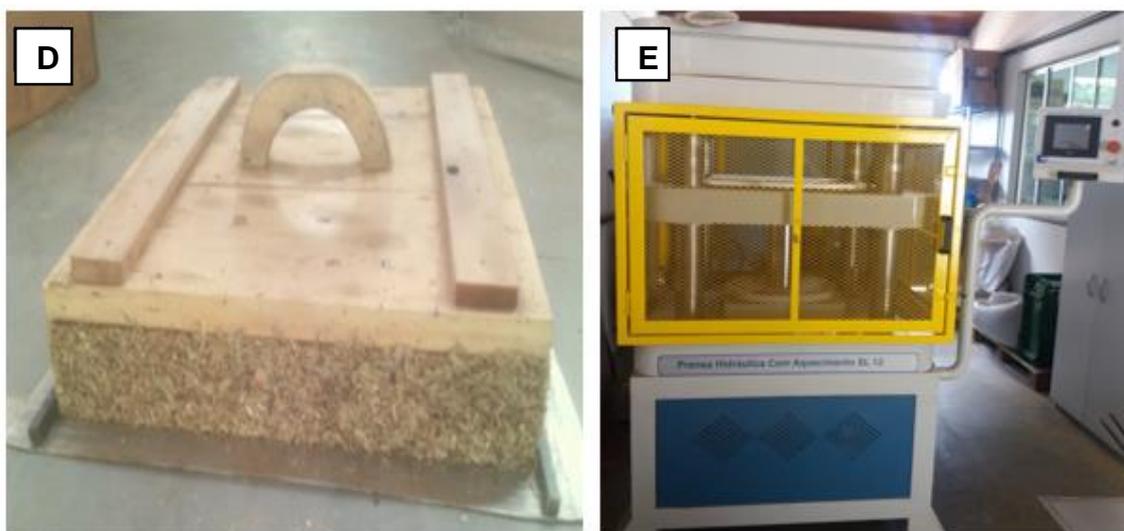


Figura 3 – Etapa de produção dos painéis. A = Forno mufla elétrica laboratorial; B = aplicação de adesivo na encoladeira; C = Caixa formadora para formação do colchão de partículas; D = Colchão de partículas formado; E = Prensa hidráulica.

Os painéis foram produzidos utilizando quatro diferentes proporções de madeira e casca de arroz com o adesivo fenol-formaldeído (Quadro 1). Ao todo, foram produzidos 12 painéis aglomerados, sendo três repetições para cada tratamento, com as dimensões de 42,5 x 42,5 x 1,25 cm.

Com os painéis aglomerados prontos, os mesmos foram acondicionados em câmara climatizada, com temperatura 20 ± 3 °C e umidade relativa de 65 ± 5 %, até atingirem a umidade equilíbrio (mínimo de 72 horas) (ABNT, 2006). Em seguida, foram esquadrejados e acondicionados novamente em câmara climatizada para em seguida serem obtidos os corpos de prova para realização dos ensaios físicos e mecânicos.

Quadro 1 – Composição dos painéis aglomerados.

Tratamentos	Matéria-prima	
	Pinus (%)	Casca de arroz modificada termicamente (%)
T1	100	0
T2	90	10
T3	80	20
T4	70	30

3.3 Avaliação das propriedades físicas e mecânicas

Para a realização dos ensaios, de cada painel foram retiradas amostras para determinação das propriedades físicas: densidade aparente, absorção de água e inchamento em espessura, ambas após 2 e 24 horas de imersão; e, mecânicas: flexão estática (módulos de ruptura – MOR e elasticidade – MOE), tração perpendicular (ligação interna) e resistência ao arracamento de parafuso na face.

A Figura 4 ilustra a disposição em que foram retirados os corpos de prova, de cada painel, adotando-se as recomendações da NBR 14810-3 (ABNT, 2006), em que: FE – Flexão Estática (250 x 50 mm); AP – Arrancamento de Parafuso (face e topo); D e LI – Densidade e Ligação Interna (50 x 50 mm); AA e IE – Absorção de Água e Inchamento em Espessura (25 x 25 mm).

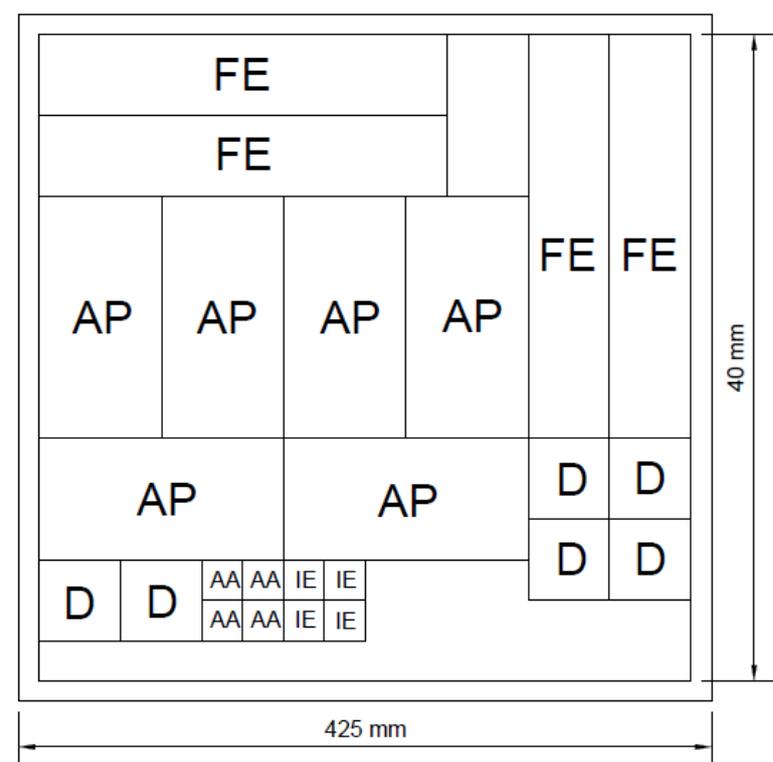


Figura 4 – Disposição de corte no painel aglomerado para obtenção dos corpos de prova para realização dos ensaios físicos e mecânicos.

3.4 Análise dos resultados

O estudo foi desenvolvido em delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC) com 4 tratamentos, adotou-se um nível de significância de 5%. Havendo diferença estatística entre os tratamentos, foi procedido o teste de Scott-Knott a 5% de significância. A normalidade e homocedastia dos dados foi realizada por meio dos testes de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$) e Bartlett ($p > 0,01$), respectivamente.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Propriedades físicas dos painéis aglomerados

4.1.1 Densidade aparente

A densidade aparente observada para a madeira de *Pinus taeda* foi de 0,48 g cm⁻³, valor encontrado retirando-se um disco no DAP, em cunhas opostas. Esse resultado foi inferior ao observado por Ballarin (2003), que encontrou para a mesma espécie, 0,605 g cm⁻³, resultado descoberto a partir de pranchões de acordo com a normativa utilizada pelo autor. Em geral, a variação da densidade entre árvores e na árvore, é uma característica do gênero pinus, e está relacionado a vários fatores como ambiente, genética, tratamentos silviculturais, madeira juvenil e adulta e outros (MUNIZ², 1993 apud TRENDELENBURG, 1956).

A densidade aparente da casca de arroz observada foi de 0,38 g cm⁻³, resultado elevado comparado com Pauleski et al. (2007), que encontrou uma densidade aparente a granel de 0,11 g cm⁻³. A diferença encontrada na densidade aparente da casca de arroz pode estar relacionada com a modificação térmica sofrida pela mesma, podendo ter ocorrido alguma alteração em sua estrutura física.

As propriedades físico-mecânicas dos painéis aglomerados estão diretamente ligadas com a densidade da madeira. Partículas de menor densidade concede uma maior compactação quando comparadas as de maior densidade, que necessitam de uma maior pressão de prensagem. Uma solução para produzir painéis de média densidade e que resulte em boas propriedades é a combinação de materiais lignocelulósicos de alta e baixa densidade (MALONEY, 1993).

Para as propriedades de densidade aparente dos painéis aglomerados, a análise de variância mostrou efeito não significativo entre os tratamentos (Apêndice A1). A densidade aparente média dos painéis fabricados com proporções de *Pinus taeda* e casca de arroz variou entre 0,73 e 0,76 g cm⁻³, o que permite os painéis serem classificados como sendo de média densidade ($0,64 \leq \rho \leq 0,80$ g cm⁻³), conforme a norma da “American National Standards Institute” – ANSI A-280.1 (ANSI, 1999).

² MUNIZ, G. I. **Caracterização e desenvolvimento de modelos para estimar as propriedades e comportamento na secagem da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L.** 1993. 252 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1993.

Embora a análise de variância tenha mostrado que não ocorreu diferença estatística entre os tratamentos, a adição de 30% de casca de arroz modificada termicamente possibilitou um maior incremento na densidade dos painéis. (Figura 5).

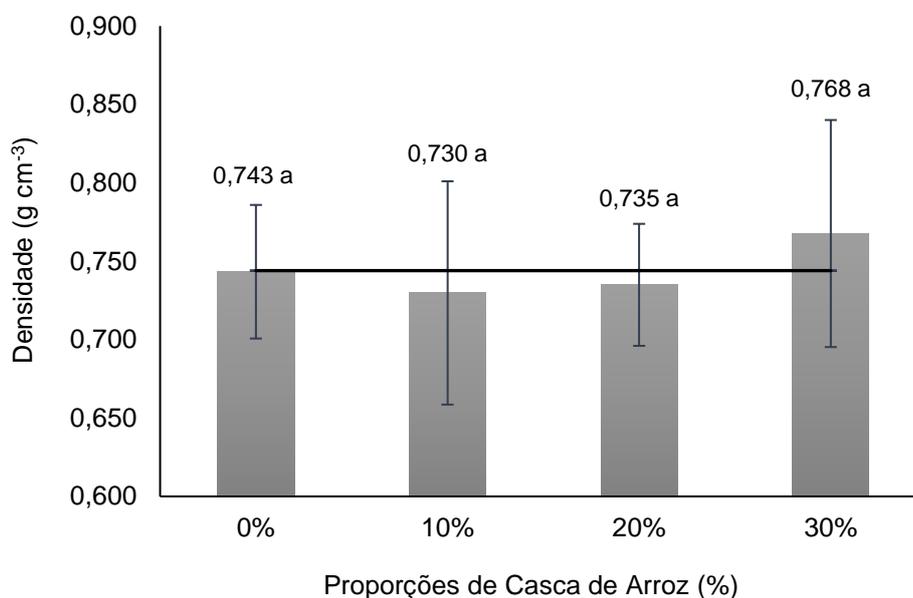


Figura 5 – Variação da densidade aparente dos painéis. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si estatisticamente (Tukey $p < 0,05$). Barra é o desvio padrão. Traço é a média geral.

Pauleski et al. (2007), ao produzir compósitos manufaturas com polietileno de alta densidade (PEAD) em diferentes proporções de casca de arroz e partículas de madeira de *Eucalyptus grandis*, encontrou uma densidade aparente específica variando de 0,89 e 0,98 g cm⁻³, valor diferente ao esperado pelo autor, que relaciona essa diferença com a dificuldade de controlar a perda de material durante a prensagem e a possível liberação de tensões de prensagem, que poderia variar em função do tipo de partícula, podem ser as causas dessa maior variação da massa específica.

Hillig (2002) observa que a densidade do painel está diretamente relacionada com a densidade da madeira e a taxa de compressão. Dependendo também da umidade do colchão e outros fatores.

4.1.2 Absorção de água (AA) 2 horas e 24 horas

A análise de variância mostrou efeito significativo nas proporções de pinus e casca de arroz para a propriedade Absorção de Água após 2h e 24h de imersão em água, conforme pode ser observado na Tabela 1 (Apêndice A2).

Tabela 1 – Absorção de Água (AA) do painel aglomerado após 2h e 24h (%) em função da composição e adesivo.

Tratamento	AA 2h	AA 24h
T1	51,07 b (8,05)	56,87 b (7,89)
T2	49,26 b (8,82)	57,37 b (8,22)
T3	54,20 a (8,26)	59,82 a (6,47)
T4	55,44 a (7,96)	62,06 a (9,23)

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Scott-Knott $p < 0,05$).

Os valores médios de absorção de água após 2 e 24 horas de imersão, obtiveram uma média que foi de 49,26 a 55,44% e de 56,87 a 62,06% respectivamente, intervalos bem superiores ao encontrado por Napoli et al. (2013), no qual utilizou proporções de *Pinus taeda* e materiais lignocelulósicos de bracinga e uva-do-japão, que variou de 3,6 a 23,1%, e de 13,3 a 35,7% após 2 e 24 horas de imersão, respectivamente.

O comportamento da propriedade de absorção de água em 2 e 24 horas obteve um comportamento já esperado (Figura 6) segundo Melo (2009), que observou em seu trabalho, para todos os tratamentos analisados, que aumentando a proporção de casca de arroz, maior é a absorção de água nos painéis aglomerados.

Freire (2011), comparado painéis de bagaço de cana e painéis de madeira, composto por *Eucalyptus* sp. em mistura com *Pinus* sp., observou que os painéis com bagaço de cana foram os que obtiveram os maiores valores de absorção de água após 2 e 24 horas. Ele destaca que esse resultado se explica pela barreira física à

entrada de água causada pela diminuição de espaços vazios entre as partículas nos painéis de madeira que apresentam maior densidade.

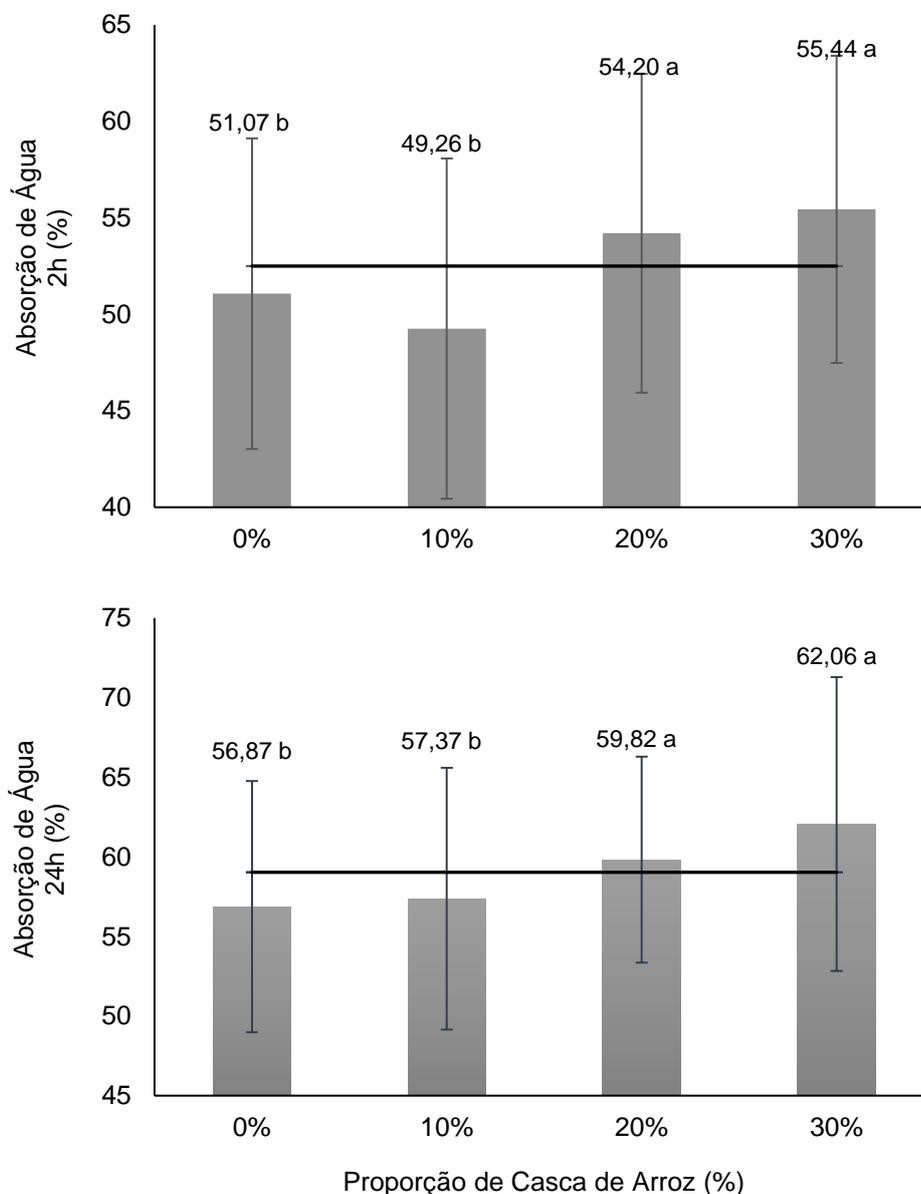


Figura 6 – Absorção de água (AA) por 2 e 24 h em função da proporção de casca de arroz. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si estatisticamente (Tukey $p < 0,05$). Barra é o desvio padrão. Traço é a média geral.

Um fator considerado, é que resíduos agrícolas frequentemente apresentam maiores teores de hemiceluloses em relação a resíduos de madeira. Esses componentes proporcionam mais sítios de ligação química com a água, podendo

resultar em maior absorção de água em painéis feitos com esses materiais (FREIRE³, 2011 apud LI et al, 2011).

4.1.3 Inchamento em Espessura (IE) 2 horas e 24 horas

A análise de variância mostrou efeito não significativo nas proporções de pinus e casca de arroz para a propriedade inchamento em espessura após 2 horas de imersão em água e mostrou efeito significativo nas proporções de pinus e casca de arroz após 24h de imersão em água, conforme pode ser observado na Tabela 2 (Apêndice A).

Tabela 2 – Absorção de Água (AA) do painel aglomerado após 2h e 24h (%) em função da composição e adesivo.

Tratamento	IE 2h	IE 24h
T1	11,49 a (1,16)	14,64 b (1,59)
T2	12,90 a (2,86)	16,32 a (2,68)
T3	12,49 a (2,31)	15,31 b (2,64)
T4	12,14 a (1,56)	14,62 b (2,08)

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente (Scott-Knott $p < 0,05$).

A propriedade inchamento em espessura em 2 e 24 horas, obtiveram valores médios que variam de 11,49 a 12,90% e 14,64 a 16,32% respectivamente, intervalo superior ao encontrado por Napoli et al. (2013), que observou valores entre 3,49 e 6,34%, e 7,57 e 11,11%, em 2 e 24 horas, respectivamente, em painéis com *Pinus taeda* e materiais lignocelulósicos.

³ FREIRE, C. S. et al. Propriedades físicas de painéis aglomerados comerciais confeccionados com bagaço de cana e madeira. **Floresta e Ambiente**. Rio de Janeiro, v. 18, n. 2, p. 178-185, 2011.

A norma de comercialização ANSI 208.1 (1987), considera aceitável até 35% de IE as 24 horas, sendo assim os painéis produzidos estão em conformidade com a norma acima, tendo em vista que obtiveram valores inferiores ao especificado pela normativa.

Hirizoglu et al. (2005) verificaram que painéis produzidos com palha de arroz proporcionou uma elevada absorção de água (AA) e inchamento em espessura (IE), e que, quando misturados com madeira na mesma dimensão, esses resultados foram significativamente reduzidos. Para a absorção de água, os painéis em estudos seguiram a mesma linha que o autor acima mencionou, já para o inchamento em espessura não ocorreu o mesmo, pois a medida que aumentou a proporção de casca de arroz nos painéis aglomerados, ocorreu uma redução no inchamento em espessura dos painéis (Figura 7).

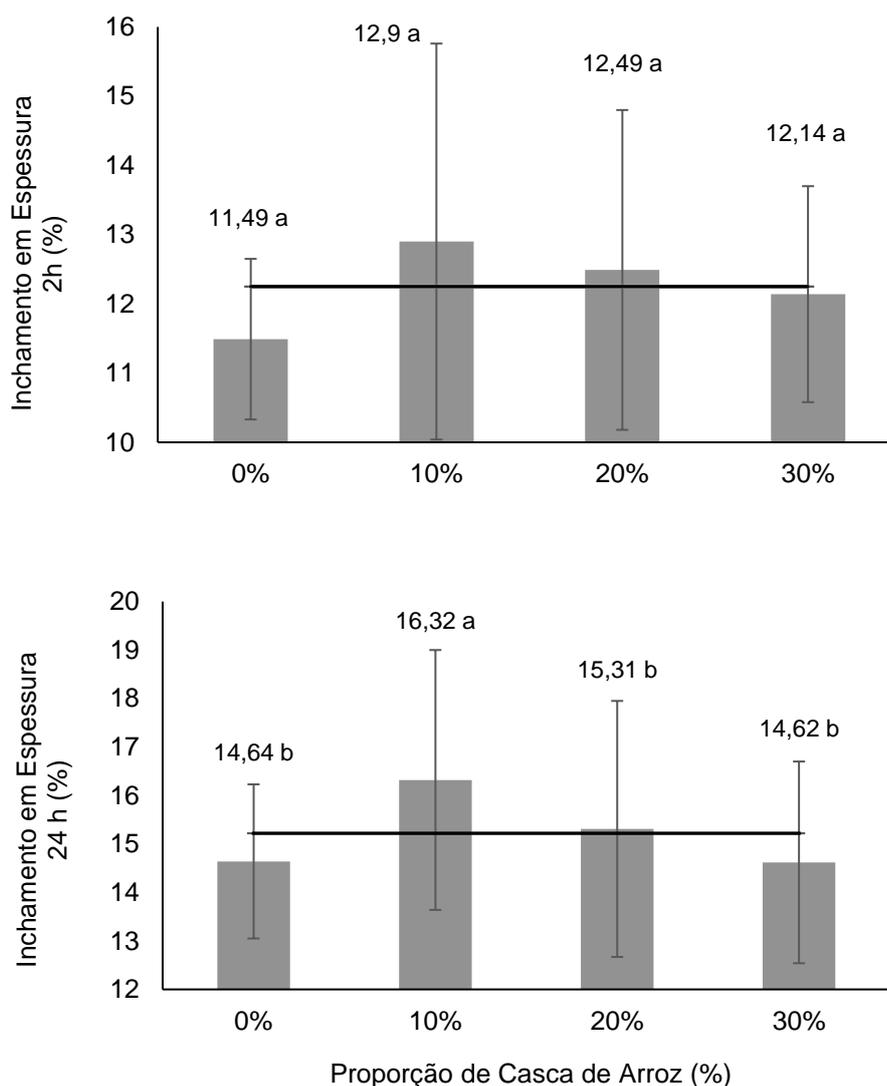


Figura 7– Inchamento em espessura (IE) por 2 e 24 h em função da proporção de casca de arroz. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si estatisticamente (Tukey $p < 0,05$). Barra é o desvio padrão. Traço é a média geral.

Para as propriedades de absorção de água e inchamento em espessura em 2 e 24 horas, os resultados encontrados foram satisfatórios, pois a diferença de absorção de água em 2 e 24 horas foi muito baixa comparado aos trabalhos de Napoli et al. (2013); Melo (2009) e Hirizoglu et al. (2005), e o inchamento em espessura diminuiu com a adição de casca de arroz. Esses resultados podem estar ligados com o fato da casca de arroz ter passado por uma modificação térmica, alterando assim sua estrutura física, bem como a baixa densidade da casca de arroz utilizada.

4.2 Propriedades mecânicas dos painéis aglomerados

4.2.1 Resistência à flexão estática: Módulo de Ruptura (MOR) e Módulo de Elasticidade (MOE)

A análise de variância mostrou efeito significativo nas proporções de pinus e casca de arroz para a propriedade de módulo de ruptura e mostrou efeito não significativo nas proporções de pinus e casca de arroz para a propriedade de módulo de elasticidade (Apêndice B1).

As Figuras 8 e 9 ilustram o efeito das propriedades de módulo de ruptura e módulo de elasticidade respectivamente em função das proporções de casca de arroz.

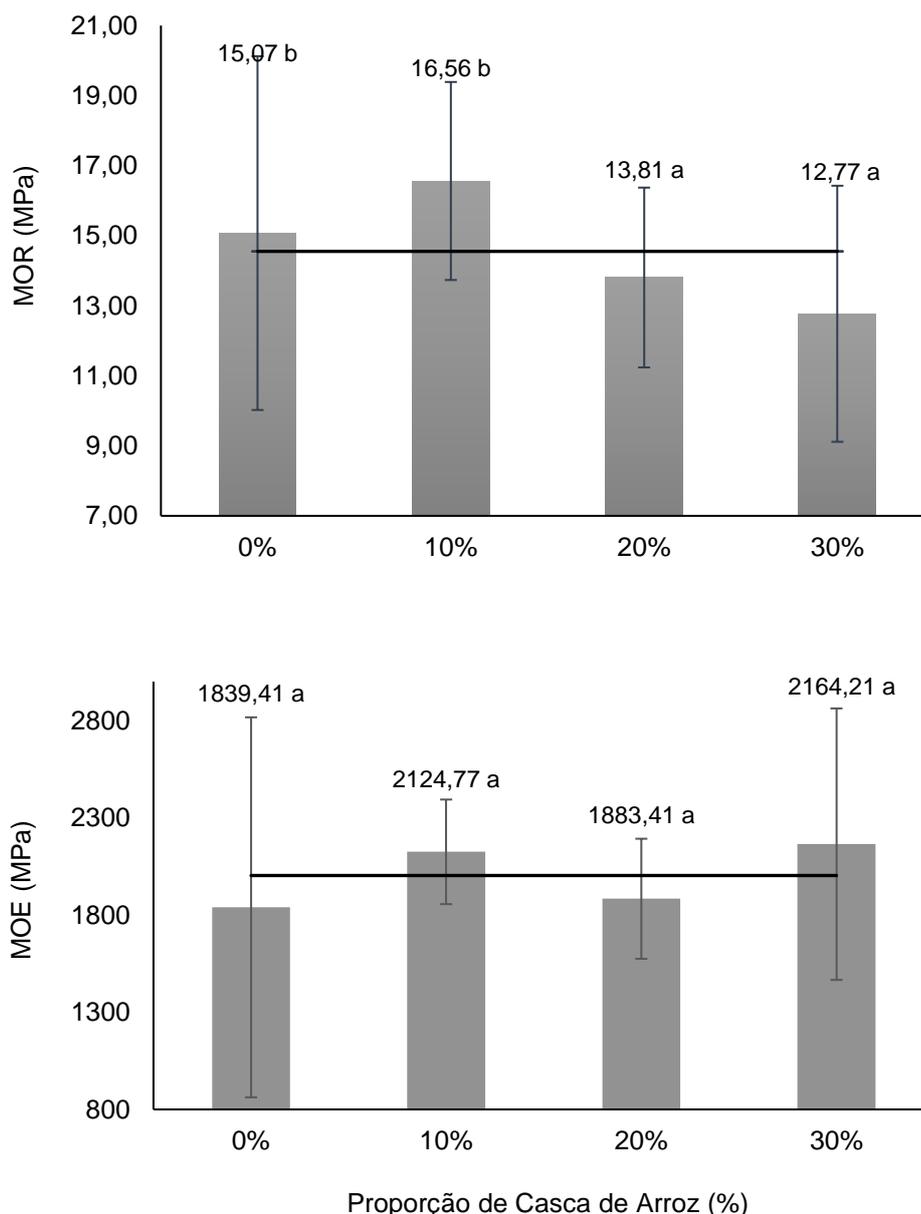


Figura 8 – Módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) em função da proporção de casca de arroz. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si estatisticamente (Tukey $p < 0,05$). Barra é o desvio padrão. Traço é a média geral.

Os valores médios de módulo de ruptura variaram de 13,02 a 16,89 MPa, e os valores médios do módulo de elasticidade variaram de 1875,68 a 2206,88 MPa. A norma ANSI A 208.1 (1999) destaca, que para os painéis de partículas de média massa específica (entre 0,64 e 0,80 g cm⁻³), admitem como valor mínimo 11 MPa, para módulo de ruptura. Para módulo de elasticidade o valor mínimo exigido é de 1725 MPa. Todos os tratamentos estão em conformidade com essa norma para a propriedade módulo de ruptura e módulo de elasticidade.

Para o módulo de ruptura, os painéis obtiveram um comportamento decrescente, ou seja, a medida que aumentou a proporção de casca de arroz nos painéis, ocorreu uma redução no mesmo, comportamento que pode estar relacionado com a geometria das partículas utilizadas.

Já para o módulo de elasticidade ocorreu o inverso, os painéis resultaram em um comportamento crescente, ou seja, a medida que aumentou a proporção de casca de arroz, maior foi o módulo de elasticidade dos painéis. Inúmeras são as variáveis envolvidas no processo produtivo dos painéis: massa específica, adesivo, tempo de prensagem, dentre outras, que influenciam diretamente na qualidade final do produto e podem contribuir para as divergências de resultados (MELO, 2009). Neste caso em específico deve-se levar em consideração o processo de modificação térmica pela qual a casca de arroz passou.

Melo (2009), encontrou resultados similares comparado ao módulo de ruptura e resultados contrários ao módulo de elasticidade, quando relacionado *Eucalyptus grandis* as proporções de casca de arroz.

Sanches (2012) em seu trabalho onde analisou painéis fabricados com pinus, eucalipto, bracatinga e uva-do-japão, observou que os valores médios de módulo de ruptura, variaram entre 7,61 e 9,46 MPa, e valores médios de módulo de elasticidade variaram entre 940,42 e 1141,04 MPa, valores estes inferiores ao encontrados no presente estudo.

Morais et al. (2015), analisando painéis aglomerados em diferentes proporções de *Bambusa tuldoides* e *Pinus taeda*, observou que com o aumento das proporções de bambu nos painéis ocorreu uma diminuição nas propriedades de módulo de elasticidade e ruptura.

4.2.2 Resistência ao arrancamento de parafuso na superfície

A análise de variância mostrou efeito significativo aos painéis aglomerados de pinus e casca de arroz para a propriedade de resistência ao arrancamento de parafuso (Apêndice B2).

Segundo a norma ANSI A 208.1 (1999), os valores mínimos de resistência ao arrancamento de parafuso para painéis de média densidade, é de 1100 N. A NBR 14810 (ABNT, 2006) estabelece limites mínimos para painéis aglomerados de média

densidade de 700 N para arrancamento de parafuso na superfície. Sendo assim, os painéis avaliados não estão em conformidade com os padrões exigidos pelas normas, para a propriedade arrancamento de parafuso na superfície, sendo que as médias variaram de 108,02 a 338,00 N, independente do tratamento aplicado.

Dacosta (2004), afirma que painéis produzidos a partir de maravalhas apresentaram resultados inferiores do que em painéis feitos de partículas de madeira roliça. Uma explicação provável deve-se ao fato de que, durante o processo de produção de maravalhas na plaina, ocorre o enfraquecimento da madeira originando partículas de menor resistência, por conseguinte, corpos-de-prova com menor resistentes ao arrancamento de parafuso.

Pode-se observar (Figura 10), que a maior resistência ao arrancamento de parafuso na superfície dos painéis, foi no T1, onde o mesmo foi confeccionado com 100% pinus, ou seja, a medida que aumentou a proporção de casca de arroz nos painéis ocorreu uma redução de resistência ao arrancamento de parafuso dos painéis. O resultado já era esperado, levando em consideração a geometria e formato da partícula da casca de arroz.

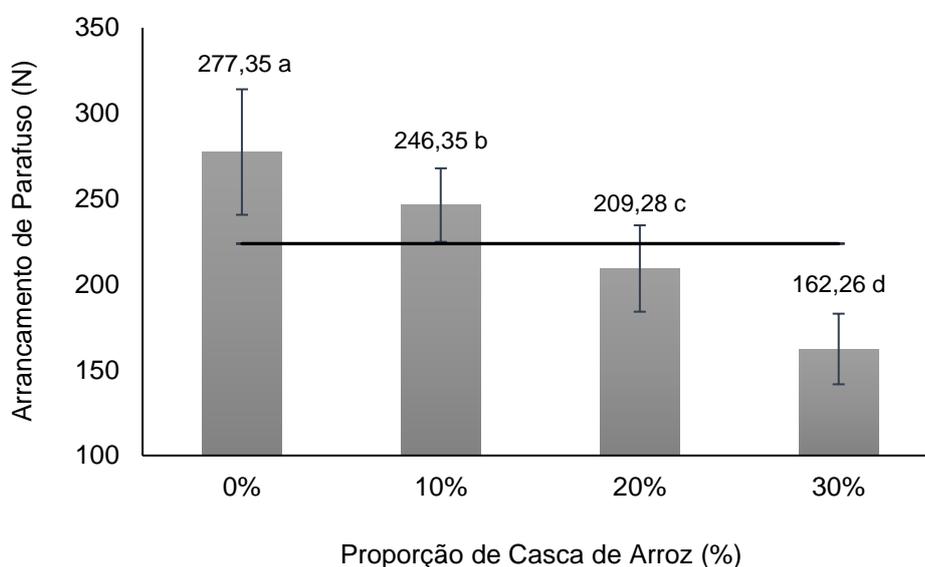


Figura 10 – Resistência ao arrancamento de parafuso em função da proporção de casca de arroz. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si estatisticamente (Tukey $p < 0,05$). Barra é o desvio padrão. Traço é a média geral.

O resultado encontrado foi semelhante ao encontrado por Moraes et al. (2015) que ao analisar painéis aglomerados em diferentes proporções de bambu e *Pinus taeda*, observou que o desempenho dos painéis homogêneos de pinus foi superior às combinações de bambu e pinus.

Ao analisar painéis produzidos com diferentes proporções de *Eucalyptus grandis* e casca de arroz, Melo (2009) observou que com o aumento das proporções de casca de arroz, ocorre uma redução na resistência arrancamento de parafuso na superfície.

4.2.3 Resistência a tração perpendicular (Ligação interna)

A análise de variância mostrou haver diferença entre os tratamentos estudados para a propriedade resistência à tração perpendicular (Apêndice B2).

O valor médio neste ensaio variou de 0,32 a 0,56 MPa. Segundo a norma ANSI A 208.1 (1999), para painéis de partículas de baixa e de média massa específica valores mínimos recomendados para ligação interna estão entre 0,15 a 0,40 MPa. Sendo assim, todos os tratamentos estão dentro do estabelecido pela norma para testes de resistência a tração perpendicular.

Na Figura 11 é possível observar que ao adicionar a casca de arroz ao painel ocorreu uma redução na resistência à tração perpendicular, à medida que a madeira de pinus foi substituída pela casca de arroz, havendo um ligeiro aumento com a adição de 30% de casca. Resultados similares foram observados por Melo (2009), em que à medida que se adicionou casca de arroz às partículas de *Eucalyptus grandis*, ocorreu uma redução na resistência à tração perpendicular.

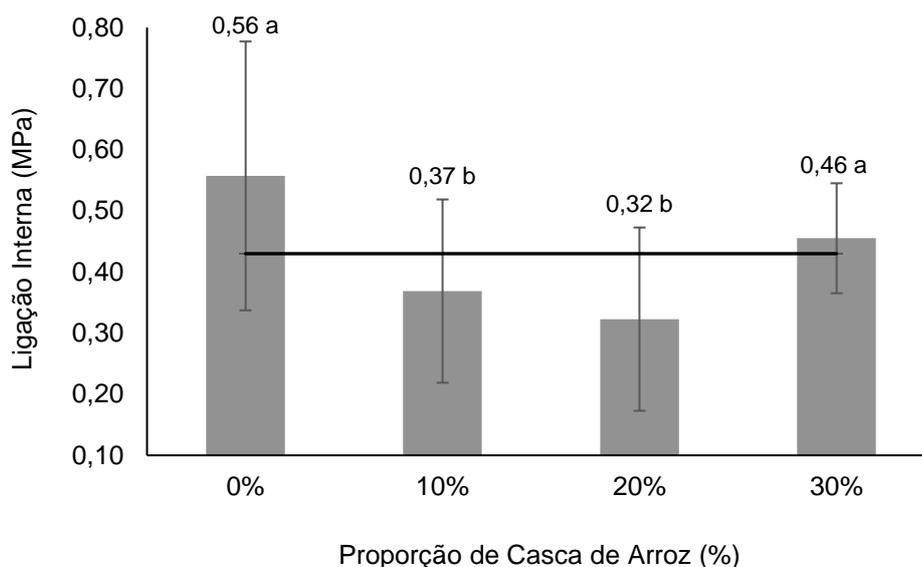


Figura 11 – Resistência a tração perpendicular em relação a proporção de casca de arroz. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si estatisticamente (Tukey $p < 0,05$). Barra é o desvio padrão. Traço é a média geral.

Os resultados encontrados por Morais et al. (2015) foram semelhantes ao deste trabalho, no qual analisou painéis aglomerados em diferentes proporções de *Bambusa tuldoidea* e *Pinus taeda* e observou que adicionando bambu nos painéis aglomerados ocorre uma diminuição na ligação interna.

Ndazi et al. (2006) destaca que a casca de arroz é um dos resíduos agrícolas que se encontra com maior disponibilidade e em grandes quantidades, sendo assim é considerada como uma excelente matéria-prima para a produção de painéis aglomerados. Mas também destaca que a maior dificuldade para que isso ocorra está na falta de interação direta com a maioria dos adesivos. Mencionam ainda que quando as partículas são passadas em moinho de martelo, demonstram melhoras consideráveis na ligação interna, MOR e MOE dos painéis.

5 CONCLUSÕES

- A adição de casca de arroz modificada termicamente possibilitou um aumento da propriedade de densidade aparente dos painéis;
- O resultado encontrado para a propriedade de inchamento em espessura pode ter relação direta com a modificação térmica sofrida pela casca de arroz;
- Dentre as propriedades físicas, todas atenderam aos requisitos estipulados pela normativa;
- Em meio as propriedades mecânicas, apenas a tração perpendicular e a flexão estática atenderam aos requisitos mínimos de qualidade estipulados pela normativa.
- Entre todos os tratamentos, o que se destacou foi o tratamento dois, com 90% pinus e 10% casca de arroz modificada termicamente.

6 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, C. E. C. **Interações de variáveis no ciclo de prensagem de aglomerados**. 2002. 175 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Paraná, Curitiba, 2002.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE – ANSI. **ANSI A208.1**: mat-formed wood particleboard: Specification. National Particlepanel Association. Gaithersburg, 1999.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE – ANSI. **ANSI A208.1**: mat-formed wood particleboard. New York, 1987.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-1554**: standard terminology relating to wood-base fiber and particle panel materials. Philadelphia, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 14810-3**: Chapas de madeira aglomerada: métodos de ensaios: Rio de Janeiro, 2006.

BALLARIN, A. W.; PALMA, H. A. L. Propriedades de resistência e rigidez da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L. **Revista Arvore**, Viçosa-MG, v. 27, n. 3, p. 371-380, 2003.

BARILLARI, C. T. **Durabilidade da madeira do gênero *Pinus* tratada com preservastes: avaliação em campo de apodrecimento**. 2002. 79 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2002.

BORGES, L. M.; QUIRINO, W.F. Higroscopidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* tratado termicamente. **Revista Biomassa & Energia**, Viçosa, v. 1, n. 2, p. 173-182, 2004.

CARNEIRO, A. C. O. Propriedades de chapas de flocos fabricadas com adesivo de uréia-formaldeído e de taninos da casca de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden ou de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Revista Arvore**, Viçosa-MG, v. 28, n. 5, p. 715-724, 2004.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **A cultura do arroz**. Brasília, 2015.

CHUDNOFF, M. Tropical Timbers of the World. **Agriculture Handbook**, Washington: USDA. 1984. 466 p.

DACOSTA, L. P. E. **Utilização de resíduos do processamento mecânico da madeira para a fabricação de chapas de partículas aglomeradas**. 2004. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) –Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

DEL MENEZZI, C. H. S. **Estabilidade dimensional por meio do tratamento térmico e seus efeitos sobre as propriedades de painéis de partículas orientadas (OSB)**. 2004. 242 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) –Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

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

FOELKEL, C. Os *Pinus* no Brasil: *Pinus caribaea* e suas três variedades: *caribaea*, *bahamensis* e *hondurensis*. **Pinus Letter**, n. 8, 2008. Disponível em: <http://www.celso-foelkel.com.br/pinus_08.html#um>. Acesso em: 03 jun 2016.

HASELEIN, C. R. et al. Resistência mecânica e à umidade de painéis aglomerados com partículas de madeira de diferentes dimensões. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 127-134, 2002.

HILL, C. **Wood modification: chemical, thermal and other processes**. West Sussex: John Wiley & Sons, 2006.

HILLIG, E.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J. Propriedades mecânicas de chapas aglomeradas estruturais fabricadas com madeiras de pinus, eucalipto e acácia-negra. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 59-70, 2002.

HIZIROGLU, S. et al. Properties of bamboo-rice straw-eucalyptus composite panels. **Forest Products Journal**, Madison, v. 55, n. 12, p. 221-225, 2005.

INDUSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. Da garantia de suprimento de matéria-prima para todos os usos da madeira – atuais de potenciais – a uma nova economia de baixo carbono, a solução passa pelas florestas plantadas: relatório técnico. São Paulo, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção agrícola municipal** - cereais, leguminosas e oleaginosas. 2007.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF – Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 2005.

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

IWAKIRI, S. et al. Produção de compensados de *Pinus taeda* L.E *Pinus oocarpa* Schiede com diferentes formulações de adesivo uréia formaldeído. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 26, n. 3, p. 371-375, 2002.

KRONKA, F. J. N.; BERTOLANI, F.; PONCE, R. H. **A cultura do Pinus no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2005. 160p.

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

MATTOS, R. L. G.; GONÇALVES, R. M.; CHAGAS, F. B. Painéis de madeira Brasil: panorama e perspectivas. **BNDS Setorial**, n. 27, p. 121-156, 2008.

MELO, R. R. **Propriedades físico-mecânicas e resistência a biodeterioração de chapas aglomeradas construídas por diferentes proporções de madeira e casca de arroz**. 2009, 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) –Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

MORAIS, W. W. C., et al. Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados com *Bambusa tuldoides* E *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 4, p. 1015-1026, 2015.

NAPOLI, L. M., et al. Propriedades físicas da madeira e de painéis aglomerados produzidos com mistura de espécies florestais. **Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 3, p. 475-484, 2013.

NDAZI, B. et al. Production of rice husks composites with Acacia mimosa tannin-based resin. **Journal of Materials Science**, Storrs, v. 41, p. 6978-6983, 2006.

NUNES, J. L. S. **Importância Econômica**. 2016. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/culturas/arroz/informacoes/importancia_361560.html>. Acesso em: 03 jul 2017.

PAULESKI, D. T. et al. Características de compósitos laminados manufaturados com polietileno de alta densidade (PEAD) e diferentes proporções de casca de arroz e partículas de madeira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 2, p. 167-170, 2007.

PEDRAZZI, C. **Qualidade de chapas de partículas de madeira aglomerada fabricadas com resíduos de uma indústria de celulose**. 2005. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) –Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

PIMENTEL, L. L. **Telhas onduladas à base de cimento portland e resíduos de *Pinus caribaea***. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) –Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

PIZZI, A.; MITTAL, K.L. **Handbook of Adhesive Technology**. 2. ed. New York: Marcel Decker, 2003.

POUEY, M. T. F. **Beneficiamento da cinza de casca de arroz residual com vista à produção de cimento composto e/ou pozolânico**. 2006, 345 f. Tese (Doutorado em Engenharia) –Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

QUINTANA, Y. G.; BRITO, E. A.; NOLAZCO, E. G. Ensayo de procedências de *Pinus caribaea* var. *caribaea* en alturas de pizarras, viñales, Pinar del Río, Cuba. **Revista Chapingo**, Cuba, v. 13, n. 2, p. 125-129, 2007.

SANCHES, F. L. **Qualidade de painéis aglomerados produzidos com misturas de madeira de quatro espécies florestais**. 2012, 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, 2012.

SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R.; GATTO, D. A. Análise comparativa das propriedades físicas e mecânicas da madeira de três coníferas de florestas plantadas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 85-93, 2000.

SANTOS, R. C. **Aproveitamento de resíduos da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus*) para produção de chapas de partículas**. 2008, 181 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

SILVA, J.M. **Análises genéticas em progênies de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* por caracteres quantitativos e marcadores moleculares**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita, Ilha Solteira, 2005.

TRIANOSKI, R. **Avaliação da qualidade da madeira de espécies de pinus tropicais por meio de métodos convencionais e não destrutivos**. 2012, 554 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

APÊNDICE

APÊNDICE A – Resumo das análises de variância para as propriedades físicas dos painéis aglomerados em função da composição das partículas

Tabela A1 - Resumo das análises de variância para densidade aparente

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F
Tratamentos	3	15197.85811	5065.95270	1.4870 ns
Resíduos	68	231669.73663	3406.90789	
Total	71	246867.59474		

^{ns} Não significativo ($p > 0,05$). F: Fatorial.

Tabela A2 - Resumo das análises de variância para absorção de água após 2 horas (AA 2h) e absorção de água após 24 horas (AA 24h), inchamento em espessura após 2 horas (IE 2h), inchamento em espessura após 24 horas (IE 24h)

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	F			
		AA 2h	AA 24h	IE 2h	IE 24h
Tratamentos	3	2.8150 *	2.1421ns	1.9673ns	2.9242 *
Resíduos	92				
Total	95				

* Significativo ($p \leq 0,05$). ^{ns} Não significativo ($p > 0,05$). F: Fatorial.

APÊNDICE B – Resumo das análises de variância para as propriedades mecânicas dos painéis aglomerados em função da composição das partículas

Tabela B1 – Resumo das análises de variância para módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE)

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	F	
		MOR	MOE
Tratamentos	3	3.5193 *	2.2710 ns
Resíduos	44		
Total	47		

* Significativo ($p \leq 0,05$). ns Não significativo ($p > 0,05$). F: Fatorial.

Tabela B2 – Resumo da análise de variância para arrancamento de parafuso na superfície (APS) e ligação interna (LI)

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	F	
		APS	LI
Tratamentos	3	61.6353 **	7.7219 **
Resíduos	68		
Total	71		

** Significativo ($p \leq 0,01$). F: Fatorial.