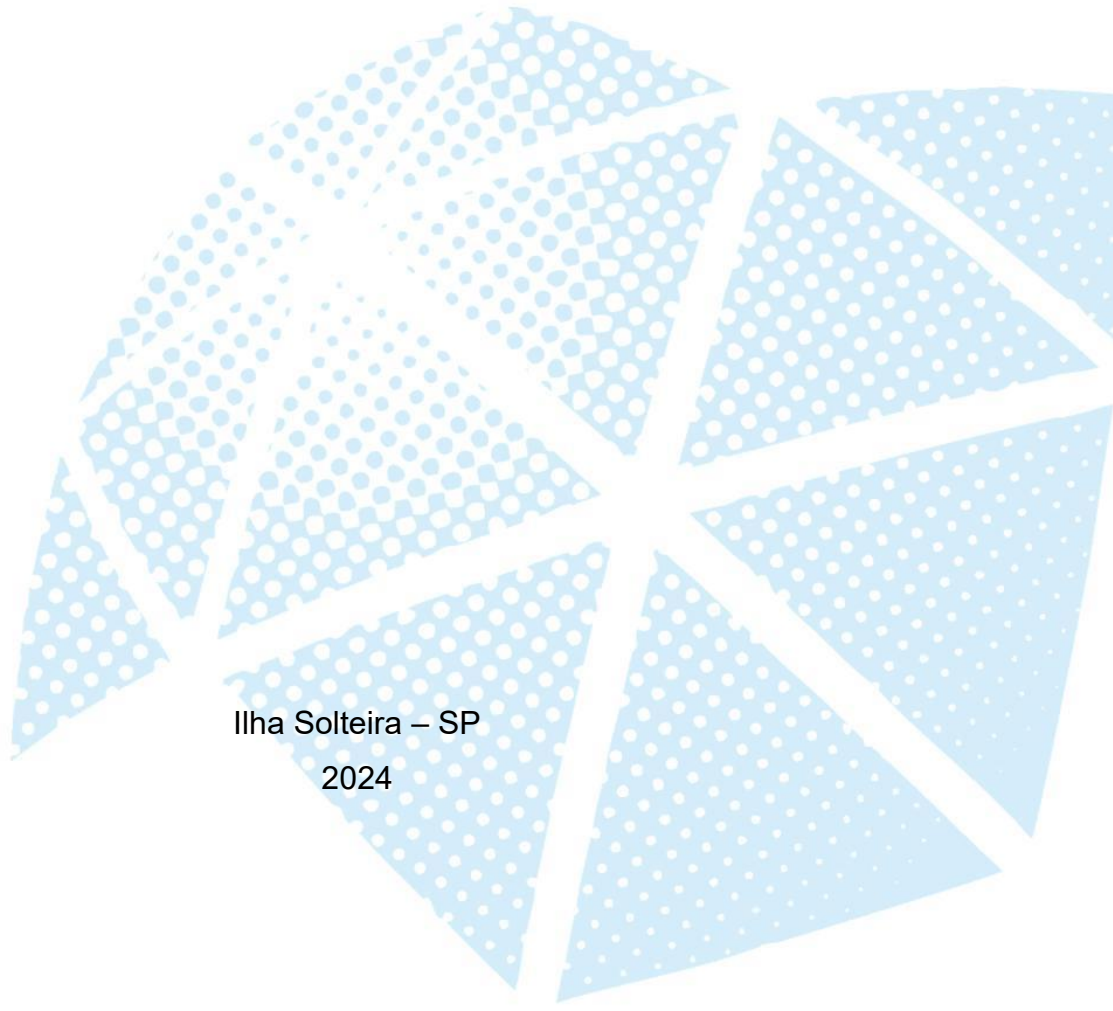


**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

LUCAS EDUARDO DEZEN

**PAINÉIS HOMOGÊNEOS PRODUZIDOS COM PALHA DE MILHO E
POLIURETANO DERIVADO DE ÓLEO DE MAMONA**

Ilha Solteira – SP
2024



LUCAS EDUARDO DEZEN

**PAINÉIS HOMOGÊNEOS PRODUZIDOS COM PALHA DE MILHO E
POLIURETANO DERIVADO DE ÓLEO DE MAMONA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Estadual
Paulista (UNESP), Faculdade de
Engenharia de Ilha Solteira, para obtenção
do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Prof. Dr. Sérgio Augusto Mello da Silva
Orientador

Ilha Solteira – SP

2024

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

D532p Dezen, Lucas Eduardo.
Painéis homogêneos produzidos com palha de milho e poliuretano derivado de óleo de mamona / Lucas Eduardo Dezen. – Ilha Solteira: [s.n.], 2024
52 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) -
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira,
2024

Orientador: Sérgio Augusto Mello da Silva

Indui bibliografia

1. Painéis de partículas aglomerado. 2. Palha de milho. 3. Lignocelulósicos.

Elaborado por Raiane da Silva Santos - 8/9999

FOLHA DE APROVAÇÃO

Aluno: Lucas Eduardo Dezen

Título: "PAINÉIS HOMOGÊNEOS PRODUZIDOS COM PALHA DE MILHO
E POLIURETANO DERIVADO DE ÓLEO DE MAMONA"

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado como parte dos requisitos para
obtenção do grau de Engenheiro Civil, junto ao Curso de Graduação em Engenharia
Civil, da Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista "Júlio de
Mesquita Filho", Campus de Ilha Solteira

COMISSÃO EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **SERGIO AUGUSTO MELLO DA SILVA**
Data: 10/01/2024 12:28:22-0300
Verifique em <https://validar.j5.gov.br>

Prof. Dr. Sérgio Augusto Mello da Silva

UNESP – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira
Departamento de Engenharia Civil (Orientador)

Documento assinado digitalmente
 **MATHEUS VIANA DE SOUZA**
Data: 11/01/2024 10:46:01-0300
Verifique em <https://validar.j5.gov.br>

M.sc. Matheus Viana de Souza

UFRN Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Departamento de Arquitetura e Urbanismo

Documento assinado digitalmente
 **FELIPE REIS RODRIGUES**
Data: 11/01/2024 13:15:44-0300
Verifique em <https://validar.j5.gov.br>

M.sc Felipe Reis Rodrigues

UNESP – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira
Departamento de Física e Química

Ilha Solteira – SP

19 de junho de 2024

Dedico este trabalho aos meus avós, à minha mãe e ao meu pai que sempre apoiaram os meus estudos e confiaram na minha pessoa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder saúde e resiliência para superar cada obstáculo encontrado durante esses anos de graduação.

Aos meus pais Eduardo José Dezen e Lidiani Alves Dezen por todo apoio e paciência ao longo da minha trajetória.

Aos meus avós, em especial a minha avó materna, Josefa Mello da Silva pelo suporte e incentivo a minha educação.

Ao meu orientador Prof. Dr. Sérgio Augusto de Mello da Silva, por me dar a oportunidade de desenvolver esta pesquisa e por toda a confiança. Também agradeço como chefe do Departamento de Engenharia Civil – DEC sempre disposto a ajudar.

Aos meus amigos de graduação Augusto Favaro, Isadora Furlan, Bianca Miyake, Christie Ishizuka, Leilane Almeida, Maria Eduarda Ferraz pelos momentos de trabalho e amizade.

Aos meus segundos orientadores, da pós-graduação, Matheus Viana, Felipe Reis, Rodrigo Bispo e Pedro Cazella por toda a paciência e pelos ensinamentos no laboratório, além de me auxiliarem na pesquisa.

Aos meus colegas de laboratório Josislene Paulino, Maria Eduarda Garcia e Pedro Campos, pela ajuda no desenvolvimento deste trabalho.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, ao Departamento de Engenharia Civil – DEC e a todos os seus funcionários, em especial ao corpo docente, pelo aprendizado. E aos técnicos de laboratório Flávio Rogério Porato e Gilson Campos Corrêa pelo auxílio na realização dos ensaios.

Ao grupo MAC – Materiais Alternativos de Construção, por todo o suporte para realização desta pesquisa.

À empresa IMPERVEG® Polímeros Indústria e Comércio Ltda, pela doação da resina poliuretana bicomponente derivada do óleo de mamona. E à Global PET S.A., pela doação do Polietileno Tereftalato.

E a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

O agronegócio no Brasil representa uma parcela expressiva do produto interno bruto do país, sendo uma referência na produção mundial de soja, milho, café, laranja, algodão e cana-de-açúcar. Entretanto essas produções geram subprodutos que são pouco aproveitados e que possuem baixo valor agregado nas formas de palha de milho, bagaço de cana, polpa de laranja, casca de café e outros subprodutos lignocelulósicos. Uma alternativa para o uso destes materiais se constitui do aproveitamento como matéria prima em painéis aglomerados e em produtos derivados da madeira. Neste sentido, os painéis de partículas aglomerados ganham destaque, pois além de aproveitarem toda parte lenhosa da árvore, contribuem para minimizar o efeito anisotrópico da madeira melhorando a qualidade de novos materiais utilizando conceitos de sustentabilidade. Desta forma, este trabalho visa a produção de painéis aglomerados homogêneos produzidos com palha de milho aglutinados com o poliuretano derivado do óleo de mamona (PUR), além de avaliar as propriedades físicas (densidade, teor de úmida e inchamento após 24h) e mecânicas (módulo de elasticidade, módulo de flexão estática e tração perpendicular) baseando-se nos ensaios da NBR 14810-2 (ABNT, 2018). Os resultados obtidos neste estudo classificaram o painel composto por palha de milho como tipo P4, de acordo com o documento normativo.

Palavras-chave: Painéis de partículas aglomerado; Palha de milho; Lignocelulósicos.

ABSTRACT

The agribusiness in Brazil represents a significant portion of the country's gross domestic product, being a reference in the global production of soybeans, corn, coffee, orange, cotton and sugar cane. However, these productions generate by-products that are little used and have low added value in the form of corn straw, sugarcane bagasse, orange pulp, coffee husks and other lignocellulosic by-products. An alternative to the use of these materials is their use as raw material in particleboards and wood composite products. In this sense, particleboards gain prominence, as in addition to using the entire woody part of the tree, they contribute to minimizing the anisotropic effect of wood, improving the quality of new materials using sustainability concepts. In this way, this study aims to produce homogeneous particleboard panels produced with corn straw bonded with polyurethane derived from castor oil (PUR), in addition to evaluating the physical (density, moisture content and swelling after 24h) and mechanical properties (elastic modulus, flexural modulus and perpendicular traction) based on the tests of NBR 14810-2 (ABNT, 2018). The results obtained in this study classified the panel composed of corn straw as type P4, in accordance with the normative document.

Keywords: Particleboard; Corn Straw; Lignocellulosic.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Configurações de distribuição das partículas	18
Figura 2 - Cadeia produtiva de painéis de madeira aglomerado	19
Figura 3 - Palha de milho processada	23
Figura 4 – Poliuretano derivado do óleo de mamona	24
Figura 5 – Balança térmica aferindo a massa	25
Figura 6 – Conjunto de peneiras	28
Figura 7 – (a) Balão volumétrico, termômetro, funil e conta gotas; (b) Balança digital de precisão	29
Figura 8 – Curva de calibração do picnômetro	30
Figura 9 – (a) Adição de resina; (b) Homogeneização em tambor rotatório; (c) Formadora de colchão de partículas	31
Figura 10 – Colchão de partículas na prensa	32
Figura 11 – Corpos de prova retangulares	33
Figura 12 – Corpos de prova quadrado	33
Figura 13 – Micrômetro digital	34
Figura 14 – Paquímetro	34
Figura 15 – Ensaio de flexão estática	35
Figura 16 – Lixadeira de cinta horizontal	36
Figura 17 – (a) Cp colado na chapa metálica; (b) Cp com fita adesiva e pinça metálica	37
Figura 18 – Ensaio de resistência a tração perpendicular	37
Figura 19 – Ensaio de inchamento	39
Figura 20 – Curva granulométrica	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Requisitos para painéis com espessura de 6 a 13 mm.....	21
Tabela 2- Composição da mistura	25
Tabela 3 – Teor de umidade das partículas	27
Tabela 4 – Conjunto de peneiras utilizado.....	28
Tabela 5 – Composição granulométrica	40
Tabela 6 – Valores do ensaio de massa específica	41
Tabela 7 – Valor médio de MOR.....	41
Tabela 8 – Valor médio de MOE	42
Tabela 9 – Valor médio da resistência à tração perpendicular	43
Tabela 10 – Valores da densidade dos painéis de partículas aglomerados	44
Tabela 11 – Valor da densidade dos painéis de partículas aglomerados	44
Tabela 12 – Valor médio do teor de umidade	45
Tabela 13 – Valor médio do inchamento por 24h	46

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. Considerações iniciais	13
1.2. Justificativa	14
2. OBJETIVOS	15
2.1. Objetivo geral	15
2.2. Objetivos específicos	15
3. REVISÃO DE LITERATURA	16
3.1. Painéis Aglomerados	16
3.1.1. Histórico	16
3.1.2. Definição	16
3.1.3. Características gerais	17
3.1.4. Processo de produção	17
3.1.5. Fatores que influenciam nas propriedades do painel.....	19
3.1.6. Classificação	20
3.2. Milho	21
3.3. Adesivo	22
4. MATERIAIS E MÉTODOS	23
4.1. Palha de milho	23
4.2. Poliuretano derivado do óleo de mamona (PUR).....	23
4.3. Determinação da massa e composição dos painéis	24
4.4. Propriedades físicas das partículas.....	25
4.4.1. Teor de umidade	25
4.5.2. Composição granulométrica	27
4.5.3. Massa específica	29
4.6. Produção dos painéis.....	31
4.7. Corpos de prova	32

4.8. Ensaios mecânicos	34
4.8.1. Módulo de resistência à flexão estática	34
4.8.2. Módulo de elasticidade	35
4.8.3. Resistência a tração perpendicular	36
4.9. Ensaios físicos	38
4.9.1. Densidade	38
4.9.2. Umidade	38
4.9.3. Inchamento por 24h	39
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
5.1. Propriedades físicas das partículas	40
5.1.1. Composição granulométrica	40
5.1.2. Massa específica	41
5.2. Ensaios mecânicos	41
5.2.1. Módulo de resistência à flexão (MOR)	41
5.2.2. Módulo de elasticidade (MOE)	42
5.2.3. Tração perpendicular (TP)	43
5.3. Ensaios físicos	44
5.3.1. Densidade	44
5.3.2. Umidade	45
5.3.3. Inchamento por 24h	46
6. CONCLUSÃO	47
REFERÊNCIAS	48

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações iniciais

A agricultura no Brasil é um dos setores que mais contribui para o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) e que corresponde por 21% da soma de todas as riquezas produzidas, um quinto de todos os empregos e 43,2% das exportações (Embrapa, 2020).

Analizando o desempenho do setor agrícola ao longo das últimas 4 décadas, verifica-se que, de 1975 a 2017, a produção de grãos passou de 38 milhões de toneladas para 236 milhões de toneladas, equivalente a um aumento de 520% (Embrapa, 2018).

O milho é um dos grãos mais produzidos no país, na safra de 2019/20 a produção foi maior que 100 milhões de toneladas, sendo o terceiro maior produtor do mundo, perdendo apenas para os Estados Unidos e China (Formigoni, 2020). A cultura do milho gera resíduos na forma de folhas, caules, cascas e espigas, que são totalmente descartados na lavoura gerando um passivo ambiental (Oliveira, 2022).

A disposição inadequada de resíduos agrícolas ocasiona a proliferação de insetos, poluição do ar, problemas estéticos e de odor, e a contaminação d'água por meio da liberação de matéria orgânica e nutrientes como fósforo e nitrogênio os quais estão associados à eutrofização de ambientes aquáticos (Filho *et al.*, 2020).

Diante deste problema, diversos estudos almejam a utilização de resíduos agroindustriais lignocelulósicos para a produção de painéis de madeira (Martins *et al.*, 2021; Souza *et al.*, 2021; Veloso *et al.*, 2020; Wong *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2015). Em princípio, todo e qualquer material lignocelulósico pode ser utilizado como matéria prima para a fabricação de painéis de partículas, havendo alternativas de outros materiais com potencialidade para ser associado à madeira (Soratto *et al.*, 2013).

Na fabricação de painéis aglomerados utiliza-se resinas para aglutinar as partículas, os principais adesivos são a Uréia-Formaldeído (R-UF), Fenol-Formaldeído (R-FF) e Melamina-Formaldeído (R-MF) (Iwakiri, 2005). Principalmente pelo fator custo, a R-UF é majoritariamente utilizada pelas empresas produtoras de painéis de madeira reconstituída (Katsukake, 2009).

Contudo o emprego das resinas compostas por formol é problemático, pois durante a prensagem há a emissão do gás formaldeído (Dias, 2005). O Instituto Nacional de Câncer - INCA (Brasil, 2022) considerou o formol uma substância

cancerígena para humanos, enquadrando-se no grupo 1, ou seja, com fortes evidências de carcinogênese em humanos e em animais.

Uma opção mais segura para a saúde humana e ao meio ambiente é a resina poliuretana derivada do óleo de mamona. Sendo um adesivo biodegradável, de fonte renovável e não possui compósitos orgânicos voláteis em sua composição (Protzek *et. al*, 2016).

Considerando que os resíduos agroindustriais se tornam cada vez mais abundantes no Brasil e os problemas atuais relacionados aos adesivos produzidos com formaldeído, este trabalho propõe estudar a palha de milho como um dos componentes, aglutinado com PUR para a fabricação de painéis.

1.2. Justificativa

A utilização da palha de milho para a produção dos painéis aglomerados, justifica-se pela possibilidade do uso de materiais lignocelulósicos na produção de aglomerados (Iwakiri, 2005), e pela grande e crescente produção de milho no Brasil nos últimos anos, produzindo cerca de 131 milhões de toneladas na safra de 2022/2023, um aumento de 16,6% em relação à safra passada (CONAB, 2023). Este dado representa 10% da produção mundial de milho, ficando atrás apenas dos Estados Unidos e da China (USDA, 2023).

Desta forma, a palha de milho é um resíduo agrícola abundante no país e pouco aproveitado de forma a gerar renda, pois geralmente é incinerado ou utilizado como cama nos criadouros de aves nas propriedades rurais brasileiras (Paes; Teixeira; Martins, 2008).

Atualmente a maior parte dos painéis aglomerados são produzidos com uréia-formaldeído, esta resina apresenta duas inconveniências: perda de resistência quando atua sob a ação da umidade por tempo relativamente curto e, no processo de prensagem, há a liberação do gás tóxico formaldeído, tornando seu emprego problemático em países cujo controle ambiental é rigoroso (Dias, 2005).

Uma opção mais ecológica de resina para a produção de painéis é a poliuretana derivada do óleo de mamona oriunda de recurso natural e renovável, apresenta características não agressivas ao ser humano e ao meio ambiente (Dias, 2005). Nos estudos de Jesus (2000), o emprego do adesivo à base de mamona para emprego em estruturas de madeira laminada colada (MLC) mostrou-se perfeitamente adequado, tornando-se uma alternativa tecnicamente viável.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é avaliar características físicas e mecânicas de painéis homogêneos de partículas compostos por palha de milho (*Zea mays*), produzidos com o adesivo Poliuretano derivado de Óleo de Mamona (PUR - *Polyurethane derived from Ricinus communis*).

2.2. Objetivos específicos

- Produzir painéis homogêneos de partículas compostos por palha de milho;
- Ensaiar e avaliar as propriedades físicas e mecânicas dos painéis desenvolvidos;
- Determinar a finalidade e aplicação destes painéis de acordo com os parâmetros da norma ABNT NBR 14810 – 2: 2018.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Painéis Aglomerados

3.1.1. Histórico

Os painéis de madeira aglomerado surgiram na Alemanha no início da década de 40 durante a 2ª Guerra Mundial viabilizando a utilização de resíduos de madeira, visto que o país estava isolado e com dificuldade na obtenção de madeiras de boa qualidade para a produção de painéis compensado (Iwakiri, 2005).

No Brasil o aglomerado começou a ser fabricado na segunda metade da década de 1960, quando o grupo francês Louis Dreiffus construiu a primeira fábrica, Placas do Paraná, em Curitiba (Mattos; Gonçalves; Chagas, 2008).

A partir da década de 1990, houve um investimento em tecnologia e modernização das empresas brasileiras aumentando a capacidade de produção, passando do processo de prensagem cíclica para prensagem contínua, e modificaram a nomenclatura para MDP (*medium density particleboard*), ou painel de partículas de média densidade (Mattos; Gonçalves; Chagas, 2008).

Atualmente o MDP é o painel mais consumido no Brasil e no mundo, sendo que no Brasil é utilizado principalmente na fabricação de móveis retilíneos (mesas, armários, estantes e divisórias) e, de forma secundária, na construção civil (Biazus; Hora; Leite, 2010).

3.1.2. Definição

Mattos, Gonçalves e Chagas (2008) definem o aglomerado como um chapa de partículas de madeira aglutinados com resina, por meio da ação de pressão e calor. Segundo este autor, são empregados como matéria-prima, madeira de qualidade inferior, madeiras provenientes de florestas plantadas, resíduos da exploração florestal, resíduos industriais de madeira, e reciclagem de madeira sem serventia.

De acordo com Iwakiri (2005, p.123), o painel de madeira aglomerado é definido como, “painel produzido com partículas de madeira, com incorporação de resina sintética, reconstituído em uma matriz randômica, consolidado através da aplicação de calor e pressão na prensa quente”.

Já a NBR 14810-1 (ABNT, 2013) define o MDP como um painel com densidade entre 551 kg/m³ e 750 kg/m³ constituído de partículas de madeira, aglutinadas com resina sintética termofixa, que se consolidam sob a ação conjunta de calor e pressão.

3.1.3. Características gerais

Conforme Iwakiri (2005), os painéis aglomerados apresentam algumas vantagens em relação a madeira serrada e aos painéis compensados, por exemplo:

- A eliminação de efeitos da anisotropia da madeira, a resistência mecânica é similar nas direções longitudinal e transversal do painel;
- A eliminação de fatores redutores da resistência da madeira como nós, inclinação da grã, lenhos juvenil e adultos;
- Adaptações das propriedades físico-mecânicas dos painéis através do controle dos parâmetros de processo como resina, geometria de partículas, grau de densificação;
- Menores exigências em termos de matéria-prima como diâmetro das toras, forma do fuste, defeitos, entre outros;
- Menor custo de produção e mão de obra.

O MDP comparado ao MDF (*medium density fiberboard*) apresenta algumas vantagens e desvantagens. Segundo as empresas Duratex (2024) e MadeiraMadeira (2023), as vantagens do MDP está na maior resistência a umidade, leveza, economia e maior resistência mecânica, já as desvantagens são a menor resistência ao atrito e baixa maleabilidade do material, limitando o design do produto final com formas retilíneas.

3.1.4. Processo de produção

Iwakiri (2005) divide o processo de produção de painéis de madeira aglomerado em seis etapas, geração de partículas, secagem de partículas, classificação das partículas, aplicação de adesivo, formação de colchão e prensagem dos painéis.

O processo de geração de partículas inicia-se com a remoção da casca das toras, pois a casca influencia negativamente as propriedades do painel, depois a tora passa por uma redução primária gerando os cavacos padronizados, posteriormente os cavacos são triturados originando as partículas que são armazenadas em silos (Biazus; Hora; Leite, 2010; Iwakiri, 2005).

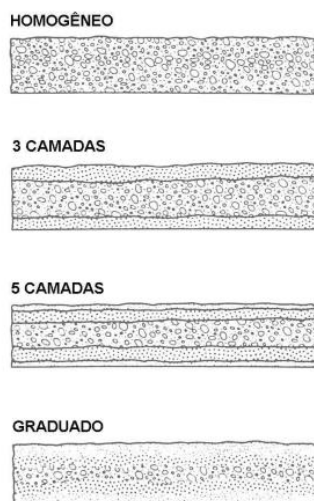
O processo de secagem é realizado por um tambor rotativo durante 1 a 3 minutos até as partículas atingirem o teor de umidade abaixo de 3%. (Kollmann; Kuenzi; Stamm, 1975; Iwakiri, 2005). Após a secagem inicia-se o processo de

classificação onde as partículas são separadas por peneiradores pneumáticos e vibratórios segundo as suas dimensões e impurezas, as partículas maiores são destinadas para a camada interna do painel, enquanto as menores para as camadas externas (Moslemi, 1974; Iwakiri, 2005; Youngquist, 1999).

A encoladeira aplica o adesivo na superfície das partículas homogeneamente, a quantidade usada varia de 6 a 12% da massa das partículas secas (Youngquist, 1999; Iwakiri, 2005). Alguns aditivos químicos podem ser adicionados durante o processo de aplicação de adesivo, sendo os mais comuns a parafina, retardantes de fogo e repelentes de fungos e insetos (Iwakiri, 2005).

O processo de formação de colchão acontece na mesa formadora, onde as partículas com adesivo são depositadas em quantidades pré-determinadas em função da densidade e espessura do painel desejado (Iwakiri, 2005; Biazus; Hora; Leite, 2010). O colchão de partículas pode ser constituído de diferentes configurações, por exemplo, uma única camada homogênea, camadas múltiplas (geralmente são 3 ou 5 camadas) e camadas graduadas (Moslemi, 1974; Iwakiri, 2005). A Figura 1 retrata as configurações de distribuição das partículas.

Figura 1 – Configurações de distribuição das partículas



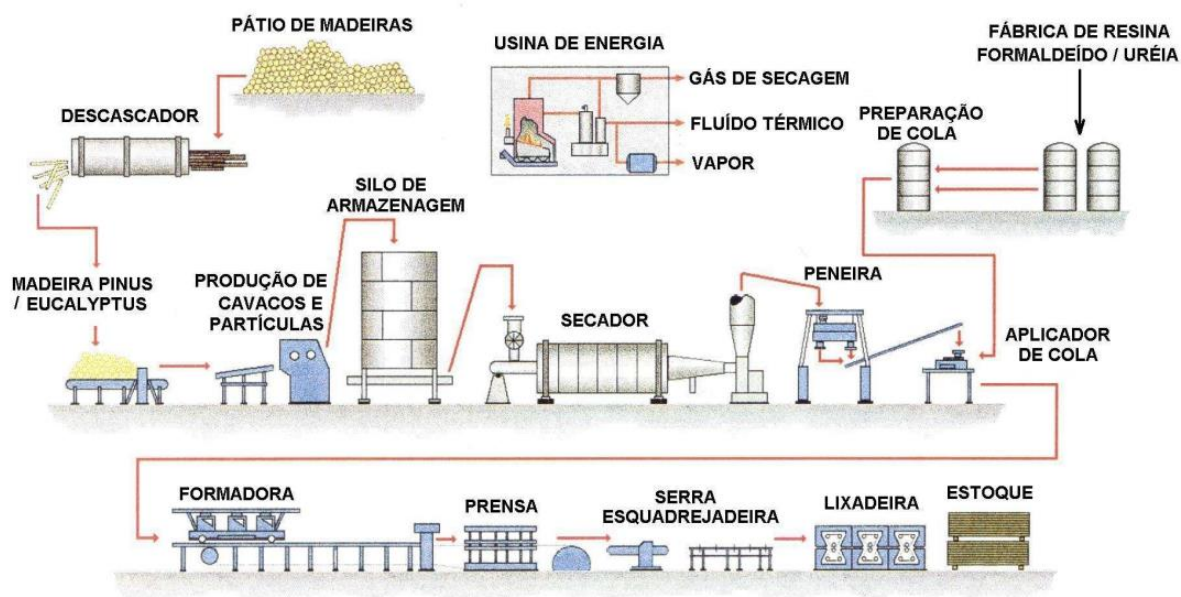
Fonte: Moslemi, 1974.

Antes do processo de prensagem a quente, o colchão de partículas passa por uma pré-prensagem com o objetivo de reduzir a altura e melhorar a consistência do painel (Iwakiri, 2005; Biazus; Hora; Leite, 2010). Na sequência o material é prensado por uma prensa de prato com uma ou mais aberturas, parâmetros de temperatura,

pressão, tempo de fechamento e prensagem são condições que influenciam na cura da resina, densidade e espessura final do painel (Moslemi, 1974; Iwakiri, 2005).

Após a prensagem os painéis são esfriados por 24 a 72 horas, período de cura total, na sequência são esquadrejados, lixados, embalados e estocados (Silva, 2012; Biazus; Hora; Leite, 2010; Iwakiri, 2005). A Figura 2 ilustra as etapas de produção do painel aglomerado.

Figura 2 - Cadeia produtiva de painéis de madeira aglomerado



Fonte: Iwakiri, 2005.

Analisando toda a cadeia produtiva, também pode-se levar em consideração a exploração de madeira de florestas plantadas, o eucalipto e o pínus constituem a principal fonte de matéria-prima no Brasil (Mattos; Gonçalves; Chagas, 2008).

3.1.5. Fatores que influenciam nas propriedades do painel

As propriedades dos painéis podem ser influenciadas por alguns fatores das partículas, como a umidade, geometria, densidade e quantidade de extrativos.

Segundo Iwakiri (2005) quando o teor de umidade das partículas está acima do recomendado há a possibilidade de geração de bolhas de vapor durante a prensagem, no entanto, quando o teor de umidade está abaixo existe o risco de combustão das partículas.

A relação entre o comprimento e a espessura das partículas, razão de esbeltez, influencia na superfície de contato, consumo de resina e grau de adesão (Iwakiri,

2003). O aumento do comprimento das partículas afeta positivamente a flexão estática do painel, enquanto o aumento da espessura das partículas afeta positivamente a ligação interna painel (Iwakiri, 2005).

A densidade da madeira influencia diretamente na resistência à flexão do painel devido a razão de compactação, relação entre a densidade do painel e a densidade da madeira, o intervalo adequado para densificação necessária é de 1,3 a 1,6, por esse motivo as espécies de madeira com baixa densidade são mais utilizadas (Moslemi, 1974; Araujo *et al.*, 2019; Iwakiri 2005).

Os extrativos presentes na madeira podem gerar problemas durante a prensagem devido ao consumo e cura da resina, higroscopicidade e a ocorrência de bolhas no painel (Iwakiri, 2005).

3.1.6. Classificação

Segundo a NBR 14810-1 (ABNT, 2013) os painéis aglomerados podem ser classificados de três formas conforme sua densidade. Os painéis de média densidade devem ter a massa específica de 0,551 até 0,75 g/cm³. Já os painéis com massa específica menores que 0,551 g/cm³ são classificados como baixa densidade. Enquanto os painéis com massa específica superior a 0,75 g/cm³ são classificados como alta densidade.

De modo a definir a finalidade de aplicação do painel de média densidade a NBR 14810-2 da ABNT (2018) classifica os painéis em seis tipos, sendo eles:

- P2 - Painéis não estruturais para uso interno em condições secas;
- P3 - Painéis não estruturais para uso em condições úmidas;
- P4 - Painéis estruturais para uso em condições secas;
- P5 - Painéis estruturais para uso em condições úmidas;
- P6- Painéis estruturais para uso em condições severas de carga, em condições secas;
- P7- Painéis estruturais para uso em condições severas de carga, em condições úmidas.

Para poder classificar o tipo de uso dos painéis a norma brasileira estabelece requisitos mínimos e máximos para os ensaios mecânicos e físicos conforme a espessura do painel. Os parâmetros utilizados estão resumidos na Tabela 1.

Tabela 1 – Requisitos para painéis com espessura de 6 a 13 mm

Classificação NBR 14810	Valor Mínimo MOR (MPa)	Valor Mínimo MOE (MPa)	Valor Mínimo TP (MPa)	Valor Máximo Inchamento (%)
P2	11	1800	0,40	22
P3	15	2050	0,45	17
P4	16	2300	0,40	19
P5	18	2550	0,45	13
P6	20	3150	0,60	16
P7	22	3350	0,75	10

Fonte: adaptada da NBR 14810-2 (ABNT, 2018)

3.2. Milho

O milho dos dias atuais é o resultado da seleção natural e da domesticação, uma planta anual, robusta e ereta, com um a quatro metros de altura, que é esplendidamente “construída” para a produção de grãos (Magalhães *et al.*, 2002).

Segundo Guimarães (2007), o milho foi originado aproximadamente de sete a dez mil anos atrás na região onde se encontra o México e a América Central. “É uma das culturas mais antigas do mundo, havendo provas, através de escavações arqueológicas e geológicas, e através de medições por desintegração radioativa, de que é cultivado há pelo menos cinco mil anos” (Duarte; Mattoso; Garcia, 2021).

A importância econômica do milho é caracterizada pelas diversas formas de sua utilização, que vai desde a alimentação animal (cerca de 70% no mundo) até a indústria (Duarte; Mattoso; Garcia, 2021). Outro uso indireto do milho está na sua palha na produção de artesanato, combustão de biomassa e cama nos criadouros de aves nas propriedades rurais (Paes; Teixeira; Martins, 2008).

Conforme Salazar, Silva e Silva (2005), a palha de milho é uma fibra natural do tipo lignocelulósica, constituídos basicamente por celulose, lignina, polioses ou hemicelulose e constituintes menores.

A lignina é uma substância química que confere rigidez à parede das células e, nas partes da madeira, age como um agente permanente de ligação entre as células gerando uma estrutura resistente ao impacto, compressão e dobra, além de proteger os tecidos contra o ataque de microrganismos (Salazar; Silva; Silva, 2005; Saliba *et al.*, 2001).

3.3. Adesivo

A NBR 14810-1 (ABNT, 2013, p.1) define adesivo/resina como uma “substância utilizada com o objetivo de aderir partículas de madeira em um painel, podendo ser orgânica ou inorgânica”.

“As primeiras substâncias empregadas como adesivos foram, provavelmente, a lama e a argila, seguindo-se pelas ceras, resinas e, mais tarde, com a utilização de sangue, ovos, caseína, peles fervidas e ossos” (Iwakiri, 2005, p.1).

No entanto, as resinas sintéticas para madeira são recentes, o fenol-formaldeído surgiu em 1929, seguida da uréia-formaldeído em 1931, a melanina-formaldeído foi desenvolvida no final dos anos 30 e a resorcina-formaldeído em 1943 (Tsoumis, 1991). Neste período também surgiu os adesivos termoplásticos como acetato polivinílico e emulsões copolímeras, soluções base elastômero, látex, e o epóxi (Iwakiri, 2005).

No início da década de 80, os pesquisadores do Grupo de Química Analítica e Tecnologia de Polímeros do Instituto de Química de São Carlos desenvolveram uma resina poliuretana à base do óleo de mamona. Esta resina é oriunda de um recurso renovável e possui várias vantagens como: manipulação em temperatura ambiente, grande resistência à ação da água, grande resistência mecânica e resistência à radiação ultravioleta (Jesus, 2000).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Palha de milho

A origem da palha de milho obtida nesta pesquisa é do descarte de comerciantes de feira livre da cidade de Ilha Solteira e região. As partículas utilizadas na produção dos painéis foram disponibilizadas pelo laboratório de engenharia civil da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS).

O material foi exposto ao sol e seco naturalmente por dois dias, em seguida processado em moinho de facas (12 mm) objetivando propiciar dimensões adequadas para a produção de painéis aglomerados (Souza *et al.*, 2021). A Figura 3 apresenta a palha de milho processada.

Figura 3 - Palha de milho processada



Fonte: acervo do autor, 2023.

4.2. Poliuretano derivado do óleo de mamona (PUR)

O adesivo AGT 1315 foi utilizado para a produção dos painéis, uma doação da empresa IMPERVEG Polímeros Indústria e Comércio, localizada na cidade de Aguai – SP. Este adesivo constitui-se do poliuretano bicomponente derivado do óleo de mamona, conforme ilustra a Figura 4, onde a resina escura é o pré-polímero e a resina clara é o polioli.

Figura 4 – Poliuretano derivado do óleo de mamona



Fonte: autoria própria, 2023.

Conforme a ficha técnica do produto, o poliuretano apesar de liberar gases durante o processo de prensagem à quente na produção dos painéis, se caracteriza por possuir toxidez que não prejudicar a saúde do operador, é isento de solvente, possui tempo de trabalho (*pot life*) de 15 minutos, tempo para expansão de 60 a 90 minutos e cura de 24h. Para a produção dos painéis aglomerados utilizou-se a proporção 1:1 entre o pré-polímero e polioli (Rodrigues, 2022).

4.3. Determinação da massa e composição dos painéis

Para calcular a massa do painel é necessário definir antes a densidade e o volume, adotou-se a densidade de 0,3 g/cm³ devido à alta razão de compactação da palha de milho (Silva *et al.*, 2015). O volume é pré-determinado pelas dimensões, largura e comprimento, da caixa formadora de colchão de partículas (35 x 35 cm), adotou-se a altura de 15 mm, logo, o volume teórico é de 1837,5 cm³.

Utilizou-se a equação (1) para o cálculo da massa do painel:

$$M = D * V \quad (1)$$

Onde:

M é a massa seca das partículas, expressa em gramas (g);

D é a densidade, expresso em gramas por centímetro cúbico (g/cm³);

V é a volume, expressa em centímetro cúbico (cm³).

Portanto, a massa calculada para o painel de palha de milho foi de 551,25 g, e o teor de resina empregada foi de 10% em relação a massa seca das partículas de palha (Souza *et al.*, 2021). A Tabela 2 descreve a proporção utilizada no painel.

Tabela 2- Composição da mistura		
Mistura	Palha de Milho (g)	PUR (g)
M	551,25	55,125

Fonte: acervo do autor, 2023

Desta forma, a mistura M é constituída inteiramente por resíduos lignocelulósicos e PUR, para realizar os ensaios físicos e mecânicos produziu-se 3 painéis com a referida mistura.

4.4. Propriedades físicas das partículas

4.4.1. Teor de umidade

As partículas de palha de milho apresentam uma umidade natural devido a sua origem vegetal, porém o seu valor é desconhecido. Portanto é necessário determinar o teor de umidade do material antes de utilizá-lo para a produção dos painéis. Para determinar a umidade das partículas foi utilizado uma balança térmica, Figura 5.

Figura 5 – Balança térmica aferindo a massa



Fonte: acervo do autor, 2023.

Neste ensaio coloca-se uma pequena amostra na bandeja no interior da balança, ao mesmo tempo ela afere a massa daquela amostra. Em seguida, inicia-se a parte térmica onde o material é aquecido por volta de 2 minutos. Como o material foi aquecido à mais de 105°C, a água contida no material evapora, logo há uma redução da massa. A partir dessa diferença a balança calcula a umidade da amostra e indica no monitor o valor obtido.

O cálculo da úmida do material pela balança térmica é representado pela equação (2).

$$W = \frac{M_w - M_s}{M_s} * 100 \quad (2)$$

Onde:

W é o teor de umidade da amostra, expresso em porcentagem (%);

M_w é a massa úmida da amostra, expressa em gramas (g);

M_s é a massa seca do corpo de prova, expressa em gramas (g).

Realizou-se o ensaio de umidade para as partículas de palha de milho a fim de determinar o teor de umidade delas, as partículas estavam com o teor de umidade médio de 5,53%.

No processo de produção dos painéis as características de reação de expansão do adesivo devido ao contato com a umidade, é comum que ocorra a formação de bolhas no interior dos painéis (Iwakiri, 2005). Ainda segundo este autor, para evitar a formação de bolhas é importante definir a umidade das partículas abaixo de 3%.

Consequentemente, optou-se por secar em estufa as partículas por 24h à temperatura de $100 \pm 5^\circ\text{C}$. A Tabela 3 apresenta a média das umidades das amostras após a secagem em estufa.

Tabela 3 – Teor de umidade das partículas

Amostra	Umidade (%)
1	0,39
2	0,79
3	2,50
Média	1,23

Fonte: acervo do autor, 2023

4.5.2. Composição granulométrica

Baseando-se na NBR NM 248 (ABNT, 2003), o ensaio se constitui em um processo de peneiramento onde as partículas de palha de milho foram submetidas a um peneiramento por agitação mecânica utilizando-se um conjunto de peneiras, com o objetivo de se obter a curva granulométrica e o módulo de finura das partículas. Contudo vale ressaltar que há necessidade de adaptar o ensaio para o peneiramento de partículas de madeira, pois, a referida norma é utilizada para determinação granulométrica de agregados graúdos e miúdos do concreto.

Desta forma, utilizou-se uma massa menor para o ensaio, devido a diferença de densidade dos agregados em relação a palha de milho, além de um tempo de agitação maior. Assim, o ensaio foi realizado com aproximadamente 35 g de partículas de palha de milho com 15 minutos de agitação (nível 4 do peneirador), conforme a metodologia adotada por Souza (2022), Trevisan (2021) e Bispo (2020).

O conjunto de peneiras está apresentado na Figura 6, onde há uma peneira da série intermediária e quatro da série normal.

Figura 6 – Conjunto de peneiras



Fonte: acervo do autor, 2023

Na Tabela 4 são apresentadas as peneiras utilizadas no ensaio de granulometria, com os valores das aberturas das malhas em mm.

Tabela 4 – Conjunto de peneiras utilizado

Nomenclatura	Abertura de Malha (mm)
1/4"	6,3
4	4,75
8	2,36
16	1,19
30	0,59

Fonte: acervo do autor, 2023

Para obter a curva granulométrica realizou-se o ensaio para três amostras de palha de milho seca, ou seja, após passarem pela estufa. Calculou-se a massa retida acumulada de cada amostra e depois a média das três. Na sequência obteve-se o módulo de finura das partículas.

4.5.3. Massa específica

Com base na metodologia contida nas normas NBR 6458 (ABNT, 2016) e NBR 6457 (ABNT, 2024) determinou-se a massa específica das partículas de palha de milho fazendo adaptações do método do picnômetro. A adaptação da metodologia de Trevisan (2021) e Bispo (2020) consiste em utilizar álcool etílico anidro 99,3° com densidade de 0,789 g/cm³ em substituição a água.

Para realização do ensaio utilizou-se a palha de milho, o álcool etílico 99,3°, balão volumétrico N°2 de 500 ml, termômetro de mercúrio, funil, conta gotas e uma balança de precisão digital, conforme a Figura 7.

Figura 7 – (a) Balão volumétrico, termômetro, funil e conta gotas; (b) Balança digital de precisão



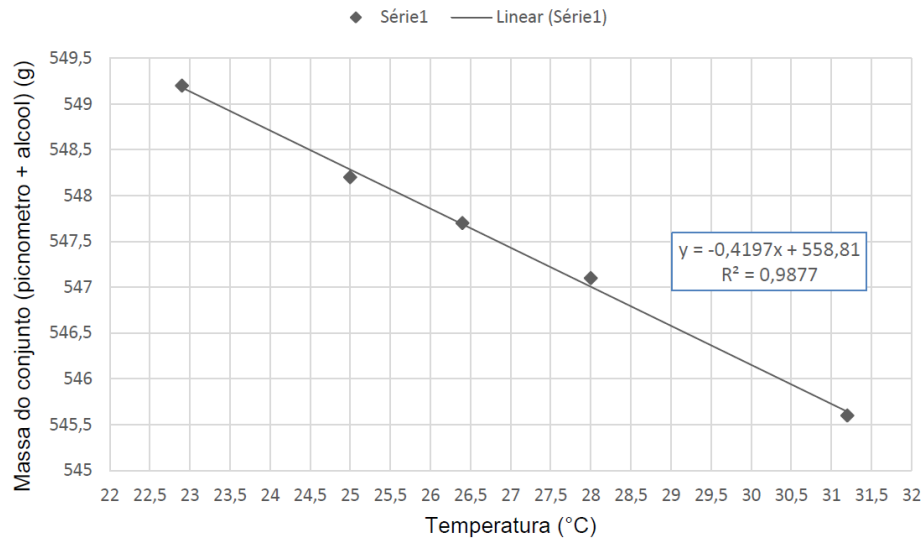
(a)

(b)

Fonte: acervo do autor, 2023

Conforme os parâmetros de Trevisan (2021), a calibração deu-se na aferição de massa do picnômetro somado ao álcool etílico em cinco temperaturas diferentes. A partir desses dados plotou-se um gráfico e determinou-se a equação da reta representada na Figura 8.

Figura 8 – Curva de calibração do picnômetro



Fonte: Trevisan (2021)

Com base nos trabalhos de Bispo (2020) e Trevisan (2021), as partículas de palha secas em estufa foram introduzidas no picnômetro com auxílio do funil, em seguida, adicionou-se o álcool até a marcação indicada no balão volumétrico. Através do termômetro foi aferido a temperatura do conjunto, e com a balança de precisão digital obteve-se a massa do conjunto (M1).

A partir da temperatura obtida é possível determinar a massa (M2) do picnômetro mais o álcool etílico utilizando a curva de calibração. Na metodologia de Bispo (2020) e Trevisan (2021) a equação (3) permite calcular a massa específica das partículas de palha de milho.

$$\rho_s = \frac{M_s \cdot \rho_w}{M_2 - M_1 + M_s} \quad (3)$$

Onde:

ρ_s é a massa específica das partículas, expresso em gramas por centímetro cúbico (g/cm³);

M_s é a massa seca das partículas, expressa em gramas (g);

ρ_w é a massa específica do álcool, expressa em gramas (g).

M_2 é a massa do picnômetro + álcool, obtida pela curva de calibração do picnômetro, expressa em gramas (g).

M_1 é a massa do picnômetro + álcool + partículas submersas, expressa em gramas (g).

4.6. Produção dos painéis

A produção inicia-se separando o material que será utilizado em cada painel em pequenos sacos plásticos e o adesivo em copos descartáveis.

De acordo com as metodologias de Bispo (2020) e Trevisan (2021), as partículas de palha de milho são colocadas em um recipiente e misturadas com o poliol manualmente, após a pré-mistura, as partículas são homogeneizadas mecanicamente por uma betoneira durante 5 minutos. Repete-se o mesmo procedimento adicionando o pré-polímero.

Posteriormente, inicia-se o processo de formação do colchão de partículas, onde o material homogeneizado é depositado em uma caixa de madeira sem fundo, embaixo da caixa é colocado uma placa com filme de poliéster para segurar o material e evitar que ele cole no prato aquecido da prensa (Bispo, 2020).

Antes da prensagem à quente do colchão de partículas realiza-se uma pré-prensagem à frio com o objetivo de acomodar as partículas e facilitar a compactação (Trevisan, 2021). Na sequência a caixa com as partículas é levada até a prensa hidráulica e retira-se a placa e a caixa de madeira, coloca-se um filme de poliéster no topo do colchão (Bispo, 2020). A Figura 9 ilustra algumas etapas descritas anteriormente.

Figura 9 – (a) Adição de resina; (b) Homogeneização em tambor rotatório; (c) Formadora de colchão de partículas



Fonte: acervo do autor, 2023

Conforme a metodologia de Trevisan (2021), foi utilizado em seus estudos uma força de prensagem de 70 tf, equivalente a pressão de 570 N/cm², e temperatura de 100°C durante 10 minutos. Vale ressaltar que segundo Neto (1997), até 150°C não ocorre decomposição térmica do PUR, desta forma, o aumento de temperatura possibilita a diminuição do tempo de prensagem (Iwakiri, 2005), consequentemente, para este estudo utilizou-se 150°C e 6 minutos de prensagem.

Na metade do ciclo de prensagem realiza-se um alívio de pressão por 30 segundos, conforme os procedimentos adotados por Bispo (2020), Trevisan (2021), Souza (2022), Rodrigues (2022) e Cazella (2022). A Figura 10 apresenta o colchão de partículas na prensa hidráulica antes da prensagem.

Figura 10 – Colchão de partículas na prensa



Fonte: acervo do autor, 2023

Após prensagem, os painéis foram submetidos à estabilização de cura do PUR por um período de 7 dias conforme as metodologias adotadas por Cazella (2022), Rodrigues (2022) e Souza (2022), possibilitando o esquadrejamento e retiradas dos corpos de prova dos painéis.

4.7. Corpos de prova

Concluído o tempo de cura, retirou-se as bordas irregulares, e cortou-se o painel a cada 50,0 mm, conforme a NBR 14810-2 (ABNT, 2018) dando origem a 6 corpos de provas retangulares para cada painel, conforme a Figura 11. Desta forma obteve-se 18 corpos de prova para realizar o ensaio de flexão estática e módulo de elasticidade.

Figura 11 – Corpos de prova retangulares



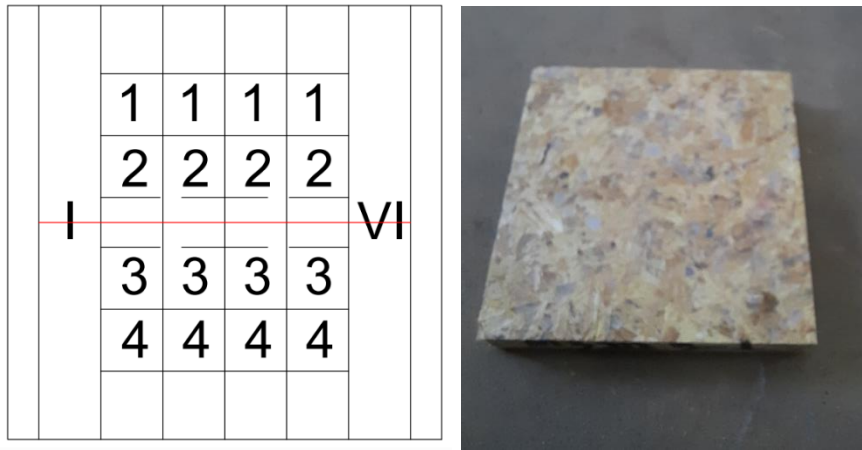
Fonte: acervo do autor, 2023

Realizado os ensaios mecânicos de módulo de resistência à flexão estática (MOR) e módulo de elasticidade (MOE), corta-se os corpos de prova retangulares em quadrados de 50,0 x 50,0 mm para os próximos ensaios, dimensões orientadas pela NBR 14810-2 (ABNT, 2018). Antes disso, marca-se a região onde houve a ruptura do corpo de prova retangular e se espaça 2 cm de cada lado da ruptura.

A partir desse espaçamento começa os cortes, assim gerando 4 novos corpos de prova quadrados. Ressalta-se que apenas os retângulos II, III, IV, V foram utilizados para os próximos ensaios.

Os corpos de prova das regiões II e V foram utilizados para os ensaios densidade, inchamento e absorção por 24h, enquanto as regiões III e IV foram utilizadas para os ensaios de tração e umidade. A Figura 12 retrata os corpos de prova quadrado e sua distribuição no painel.

Figura 12 – Corpos de prova quadrado



Fonte: acervo do autor, 2023

4.8. Ensaaios mecânicos

4.8.1. Módulo de resistência à flexão estática

Conforme a NBR 14810-2 (ABNT, 2018), os vãos dos corpos de prova devem ter um valor igual a 20 vezes a espessura. Então, aferiu-se a espessura no centro de cada um deles utilizando um micrômetro digital Pantec. Repetiu-se o processo 3 vezes e calculou-se a média. Utilizou-se um paquímetro Mitutoyo para medir a largura dos corpos de prova. A Figura 13 e 14 ilustram os instrumentos utilizados.

Figura 13 – Micrômetro digital



Fonte: acervo do autor, 2023

Figura 14 – Paquímetro



Fonte: acervo do autor, 2023

Após a aferição das medidas de todos os corpos de prova realizou-se o ensaio de resistência a flexão estática no laboratório de engenharia civil da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, utilizou-se a máquina universal de ensaios modelo EMIC GR048, com capacidade de carga de 300kN. A Figura 15 demonstra o ensaio realizado.

Figura 15 – Ensaio de flexão estática



Fonte: acervo do autor, 2023

De acordo com a NBR 14810-2 (ABNT, 2018), a equação (4) calcula o módulo de resistência a flexão elástica através da carga de ruptura obtida no ensaio.

$$MOR = \frac{1,5*(P*D)}{B*(E)^2} \quad (4)$$

Onde:

MOR é o módulo de resistência à flexão estática, expressa em Mega Pascal (MPa);

P é a carga de ruptura lida no indicador de cargas, expressa em Newtons (N);

D é a distância entre apoios do aparelho, expressa em milímetros (mm);

B é a largura do corpo de prova, expressa em milímetros (mm);

E é a espessura média do corpo de prova, expressa em milímetros (mm).

4.8.2. Módulo de elasticidade

No mesmo momento que ocorre o ensaio de MOR é realizado simultaneamente o ensaio do módulo de elasticidade pela prensa universal de ensaios. A equação (5) rege seu comportamento segundo a NBR 14810-2 (ABNT, 2018):

$$MOE = \frac{P1*D^3}{d*4*B*E^3} \quad (5)$$

Onde:

MOE é o módulo de elasticidade, expressa em Mega Pascal (MPa);

$P1$ é a carga no limite proporcional, lida no indicador de cargas, expressa em Newtons (N);

D é a distância entre apoios do aparelho, expressa em milímetros (mm);

d é a deflexão correspondente a carga $P1$, expressa em milímetros (mm);

B é a largura do corpo de prova, expressa em milímetros (mm);

E é a espessura média do corpo de prova, expressa em milímetros (mm).

4.8.3. Resistência a tração perpendicular

Amparando-se no Anexo J da NBR 14810-2 (ABNT, 2018), neste ensaio utilizou-se dez corpos de prova quadrados 50,0 x 50,0 mm.

Segundo os estudos de Cazella (2022) e Bispo (2020) foram feitas ranhuras na superfície dos cp's e retirou-se resquícios do filme de poliéster utilizando uma lixadeira de cinta horizontal, Figura 16. As ranhuras facilitam o processo de colagem permitindo uma melhor adesão.

Figura 16 – Lixadeira de cinta horizontal



Fonte: acervo do autor, 2023

Após lixar, os corpos de prova foram ensacados para evitar a absorção de umidade e, em seguida, foram preparados os suportes metálicos, limpando-se suas superfícies com *thinner*. A Figura 17 (a) ilustra os cp's devidamente colados nos suportes metálicos com resina epóxi bicomponente (Araldite Profissional).

Para facilitar a posição de colagem durante a cura da resina, foi utilizado fita adesiva e pinças metálicas como ilustra a Figura 17 (b).

Figura 17 – (a) Cp colado na chapa metálica; (b) Cp com fita adesiva e pinça metálica



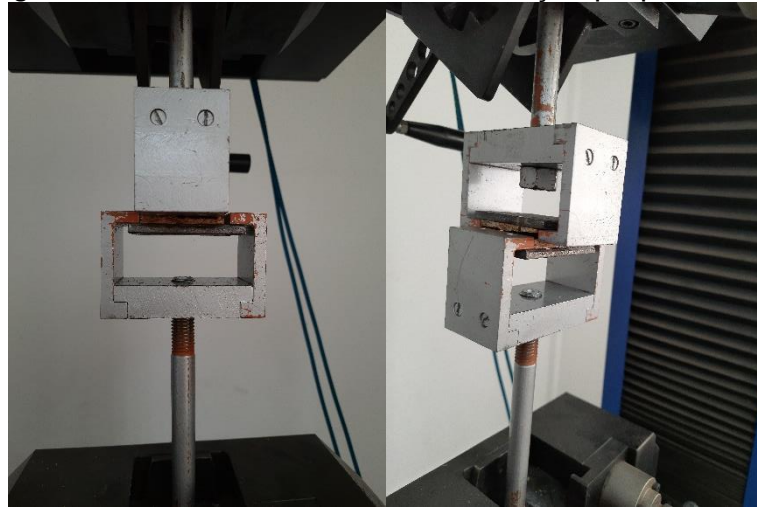
(a)

(b)

Fonte: acervo do autor, 2023

Decorrido o tempo de cura do adesivo epóxi, realizou-se o ensaio de resistência à tração perpendicular na máquina universal de ensaios, ilustrado na Figura 18.

Figura 18 – Ensaio de resistência a tração perpendicular



Fonte: acervo do autor, 2023

O cálculo da resistência à tração perpendicular dá-se pela equação (6):

$$TP = \frac{P}{S} \quad (6)$$

Onde:

TP é a resistência à tração perpendicular, expressa em newtons por milímetro quadrado (N/mm²);

P é a carga na ruptura, expressa em Newtons (N);

S é a área da superfície do corpo de prova, expressa em milímetros quadrados (mm²);

4.9. Ensaios físicos

4.9.1. Densidade

Amparando-se no Anexo G da NBR 14810-2 (ABNT, 2018), o ensaio de densidade utilizou-se dez corpos de prova quadrados 50,0 x 50,0 mm.

Primeiramente retirou-se os resquícios do filme de poliéster utilizando uma lixadeira de cinta horizontal. Na sequência são aferidas três vezes a largura, o comprimento e a espessura de cada um dos corpos de prova utilizando um paquímetro e um micrômetro digital. Com auxílio de uma balança de precisão digital aferiu-se a massa dos cp's três vezes. A partir desses dados calcula-se a densidade pela equação (7):

$$D = \frac{M}{V} * 1\,000\,000 \quad (7)$$

Onde:

D é a densidade do corpo de prova, expressa em quilogramas por metro cúbico (kg/m^3);

M é a massa do corpo de prova, expressa em gramas (g);

V é o volume do corpo de prova, expresso em milímetros cúbicos (mm^3).

4.9.2. Umidade

Baseando-se no Anexo F da NBR 14810-2 (ABNT, 2018), este ensaio utilizou-se dez corpos de prova quadrados 50,0 x 50,0 mm.

Segundo a norma, para se determinar a umidade dos cp's é necessário aferir a massa antes e depois da secagem em estufa em intervalos de 6h até que sua massa não oscile mais que 0,1%. Ressalta-se que a temperatura da estufa de secagem deve ser mantida em $103 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Então calcula-se a porcentagem do teor de umidade pela equação (8):

$$U = \frac{M_U - M_S}{M_S} * 100 \quad (8)$$

Onde:

U é o teor de umidade do corpo de prova, expresso em porcentagem (%);

M_U é a massa úmida do corpo de prova, expressa em gramas (g);

M_S é a massa seca do corpo de prova, expressa em gramas (g).

4.9.3. Inchamento por 24h

Respalhando-se no Anexo L da NBR 14810-2 (ABNT, 2018), esse ensaio utilizou-se dez corpos de prova quadrados 50,0 x 50,0 mm.

Em suma, para realizar o ensaio de inchamento afere-se a espessura antes e depois da imersão na água. Ressalta-se que o uso de água deionizada, a submersão, consiste em colocar os corpos de prova em um recipiente de modo que a lâmina d'água fique a 25 mm acima da superfície do cp, conforme Figura 19. Também se utilizou uma tela de arame com pesos para os corpos de prova não flutuarem e permanecerem submersos por 24h, metodologia adotada por Trevisan (2021), Bispo (2020) e Cazella (2022).

Figura 19 – Ensaio de inchamento



Fonte: acervo do autor, 2023

Desta forma, calcula-se o inchamento pela equação (9):

$$I = \frac{E_1 - E_0}{E_0} * 100 \quad (9)$$

Onde:

I é o inchamento em espessura do corpo de prova, expresso em porcentagem (%);

E_1 é a espessura do corpo de prova após o período de imersão considerado, expressa em milímetros (mm);

E_0 é a espessura do corpo de prova antes da imersão, expressa em milímetros (mm).

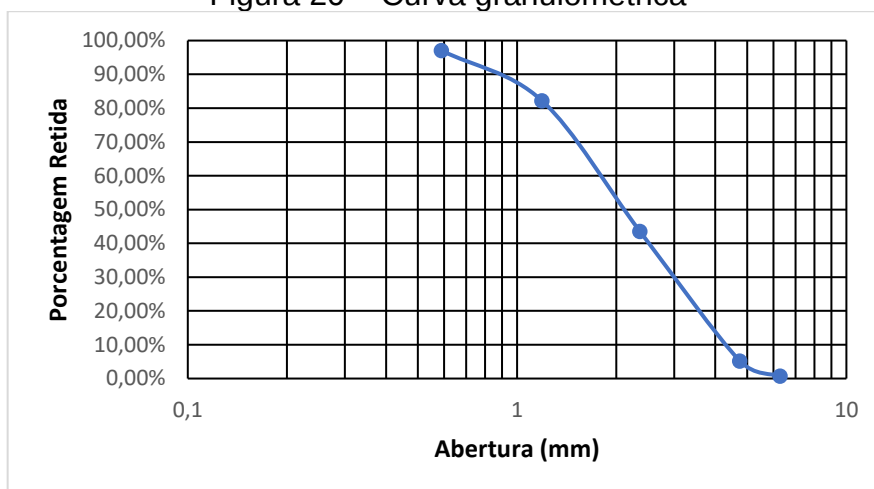
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Propriedades físicas das partículas

5.1.1. Composição granulométrica

O ensaio de composição granulométrica foi realizado para as partículas de palha de milho secas em estufa. A Figura 20 apresenta a curva granulométrica referente a média das três amostras e a Tabela 5 os valores obtidos no ensaio.

Figura 20 – Curva granulométrica



Fonte: acervo do autor, 2023

Tabela 5 – Composição granulométrica

Peneiras (mm)	Massa Retida (g)	Massa Retida Acumulada (g)	Massa Retida (%)	Massa Retida Acumulada (%)
6,3	0,25	0,25	0,70%	0,70%
4,75	1,60	1,85	4,50%	5,20%
2,36	13,68	15,53	38,37%	43,57%
1,19	13,77	29,31	38,63%	82,20%
0,59	5,29	34,60	14,84%	97,04%
Fundo	1,06	35,65	2,96%	100,00%

Fonte: acervo do autor, 2023

Verifica-se que a maior parte do material fica retido nas peneiras 2,36 e 1,19 mm ambas com o percentual de 38% da amostra, segundo Cazella (2022) a faixa adequada para a produção de painéis aglomerados varia de 1 a 6 mm. O módulo de finura foi de 3,29 quando comparado aos trabalhos de Trevisan (2021) e Rodrigues (2022) percebe-se que a palha de milho é um material mais fino que a madeira.

5.1.2. Massa específica

O ensaio de massa específica foi realizado para as partículas de palha de milho secas em estufa. A Tabela 6 apresenta os valores obtidos no ensaio.

Tabela 6 – Valores do ensaio de massa específica

Partículas	M _s (g)	T (°C)	M ₁ (g)	M ₂ (g)	ρ _s (g/cm ³)
Palha de Milho	6,0	29,89	547,60	546,25	0,644

Fonte: acervo do autor, 2023

Observa-se que o valor calculado da massa específica é bem próximo aos valores encontrados para madeira *Pinus taeda* de 0,635 g/cm³ (Bispo, 2021), *Pinus elliotti* de 0,63 g/cm³ (Cazella, 2022) e *Pinus caribaea* de 0,652 g/cm³ (Souza, 2022).

Moslemi (1974) e Iwakiri (2005) afirmam que a resistência do painel aumenta quando se diminui a densidade da madeira devido a razão de compactação.

5.2. Ensaio mecânicos

5.2.1. Módulo de resistência à flexão (MOR)

O ensaio do módulo de resistência à flexão foi realizado utilizando dez corpos de prova. A Tabela 7 apresenta o valor médio de MOR obtido com os ensaios, desvio padrão e coeficiente de variação.

Tabela 7 – Valor médio de MOR

Misturas	MOR (MPa)	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação (%)
M	31,34	6,10	19,47

Fonte: acervo do autor, 2023

A partir desse resultado e os parâmetros da Tabela 1, nota-se que a mistura M obteve a classificação (P7 – painéis estruturais para uso em condições severas de carga, em ambientes úmidos), além de se enquadrarem nos demais tipos de uso.

Os painéis de palha de milho produzidos por Silva *et al.* (2015) apresentaram valores seis vezes inferiores a este trabalho, essa diferença atribui-se, provavelmente, ao uso da resina uréia-formaldeído.

No trabalho de Souza *et al.* (2021) utilizou-se o poliuretano derivado do óleo de mamona como resina, neste caso, percebe-se uma resistência com a mesma ordem de grandeza. Segundo Dias (2005), as propriedades mecânicas dos painéis produzidos com PUR apresentam valores superiores em comparação com a uréia-formaldeído.

5.2.2. Módulo de elasticidade (MOE)

Para o ensaio do módulo de elasticidade foram utilizados 10 cp's e os resultados médios dos ensaios estão apresentados na Tabela 8, e para realização de análise comparativas com os resultados propostos pela NBR 14810-2 (ABNT, 2018) a Tabela 1 apresenta os respectivos valores mínimos exigidos pela norma.

Tabela 8 – Valor médio de MOE

Misturas	MOE (MPa)	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)
M	2446,57	858,89	35,11

Fonte: acervo do autor, 2023

A partir desse resultado nota-se que os painéis da mistura M obtiveram a classificação P4 (painéis estruturais para uso em condições secas).

No trabalho desenvolvido por Silva *et al.* (2015), foi determinado o valor de MOE três vezes menor com relação ao obtido neste trabalho, consequentemente confirma-se que a resina influencia diretamente nas propriedades físicas do painel.

Comparando o resultado obtido com o estudo de Trevisan (2021), o painel constituído somente por palha de milho apresentou o MOE semelhante a painéis produzidos com madeira pinus (*Pinus taeda*) e superior a painéis produzidos com seringueira (*Hevea brasiliensis*).

5.2.3. Tração perpendicular (TP)

Conforme o Anexo J da NBR 14810-2, a análise do tipo de uso do painel estabelece requisitos mínimos de acordo com a espessura. As exigências para o ensaio de tração perpendicular estão representadas na Tabela 1.

O ensaio da tração perpendicular foi realizado utilizando doze corpos de prova e descartados 2 cp's com ensaios discrepantes para menos e para mais. A Tabela 9 apresenta a média calculada entre os 10 cp's restantes.

Tabela 9 – Valor médio da resistência à tração perpendicular

Misturas	TP (MPa)	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)
M	0,83	0,19	22,40

Fonte: acervo do autor, 2023

Percebe-se que os painéis da mistura M obtiveram a classificação P7 (painéis estruturais para uso em condições severas de carga, em ambientes úmidos).

No trabalho desenvolvido por Silva *et al.* (2015), o valor de TP foi dez vezes menor do que obtido neste trabalho, evidenciando a eficiência do PUR em comparação a painéis produzidos com UF, pois de acordo com Maloney (1993) o adesivo é o principal responsável pela qualidade da aglutinação entre as partículas no ensaio mecânico de TP.

Comparando o resultado obtido com o estudo de Trevisan (2021), o painel constituído somente por palha de milho apresentou a TP semelhante a painéis produzidos com madeira seringueira (*Hevea brasiliensis*) e superior a painéis produzidos com pinus (*Pinus taeda*), efeito oposto ao MOE.

Segundo Souza *et al.* (2021) a presença da palha de milho e PET misturados com madeira de pinus, melhoraram a resistência a tração perpendicular.

5.3. Ensaios físicos

5.3.1. Densidade

Para classificação do tipo do painel, a NBR 14810-2 (ABNT, 2018) estabelece requisitos de acordo com a sua densidade. Os parâmetros estão resumidos na Tabela 10.

Tabela 10 – Valores da densidade dos painéis de partículas aglomerados

Densidade (g/cm ³)	Classificação ABNT NBR 14810- 2
Baixa	$D < 0,551$
Média	$0,551 > D > 0,750$
Alta	$0,750 > D$

Fonte: adaptada da NBR 14810-2 (ABNT, 2018)

O ensaio de densidade foi realizado utilizando dez corpos de prova no total, a Tabela 11 apresenta a densidade média obtidas no ensaio, desvio padrão e coeficiente de variação.

Tabela 11 – Valor da densidade dos painéis de partículas aglomerados

Misturas	Densidade (g/cm ³)	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação (%)
M1	0,83	0,03	3,61

Fonte: acervo do autor, 2023

A partir desses resultados nota-se que os painéis da mistura M obtiveram a classificação de alta densidade, com razão de compactação do painel de aproximadamente de 1,3, o requisito básico para que uma espécie de madeira seja utilizada na fabricação de painéis aglomerados é a razão de compactação maior ou igual a 1,3 para que ocorra a densificação necessária (Iwakiri, 2005).

Segundo o estudo de Silva *et al.* (2015), a densidade aparente do painel composto de palha de milho foi menor, 0,684 g/cm³, esta diferença de densidade provavelmente deve-se a menor carga de prensagem utilizada.

No trabalho desenvolvido por Souza *et al.* (2021), a densidade foi de 1,00 g/cm³. O aumento da densidade em relação a M deve-se pela adição do PET que é mais denso que a palha de milho.

Em comparação com a literatura (Trevisan, 2021; Rodrigues, 2022), a densidade do painel de palha de milho é levemente menor em relação painéis produzidos com a madeira pinus e seringueira.

5.3.2. Umidade

Os painéis de partículas devem atender a alguns requisitos gerais conforme a NBR 14810-2 (ABNT, 2018), dentre esses requisitos está a umidade a qual deve estar no intervalo de 5 a 13%.

O ensaio de determinação do teor umidade foi realizado utilizando doze corpos de prova, desta forma, foi selecionado dez cp's para o cálculo da média. A Tabela 12 apresenta os teores de umidade obtidos no ensaio, desvio padrão e coeficiente de variação.

Tabela 12 – Valor médio do teor de umidade

Misturas	Umidade (%)	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação (%)
M	6,00	0,28	4,74

Fonte: acervo do autor, 2023

A partir desses resultados nota-se que os painéis da mistura M está dentro do intervalo de 5 a 13% conforme proposto pela norma brasileira.

Segundo Trevisan (2021) as espécies de madeira *Pinus taeda* e *Hevea brasiliensis* apresentaram a umidade do painel dentro do intervalo da norma, contudo, superiores aos valores obtidos com os painéis produzidos neste trabalho, no entanto, segundo Cazella (2022), em painéis produzidos com *Pinus elliotti* foram obtidas umidade de 6,11%, valor similar aos painéis produzidos neste estudo.

5.3.3. Inchamento por 24h

O ensaio para determinação do inchamento após 24h foi realizado utilizando 10 cp's. A Tabela 13 apresenta o inchamento após 24h, o desvio padrão e coeficiente de variação, e os parâmetros de uso para o ensaio de determinação do inchamento por 24h estão resumidos na Tabela 1.

Tabela 13 – Valor médio do inchamento por 24h

Misturas	Inchamento (%)	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação (%)
M	14,58	3,89	26,72

Fonte: acervo do autor, 2023

A partir desses resultados nota-se que os painéis da mistura M obtiveram classificação P4 (painéis estruturais para uso em condições secas).

Nos estudos de Trevisan (2021) e Cazella (2022), a espécie *Hevea brasiliensis* teve o inchamento de 14%, semelhante aos painéis produzidos com palha de milho, entretanto os autores obtiveram valores de inchamento maiores, entre 20 a 30%, nas espécies de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*.

Segundo Souza *et al.* (2021), o incremento de palha de milho em painéis aglomerados de *Pinus elliottii* melhorou a propriedade física de inchamento por 24h.

6. CONCLUSÃO

Baseando-se nas análises e resultados apresentados neste trabalho para caracterização das propriedades mecânicas e físicas dos painéis de partículas de palha de milho aglutinado com poliuretano derivado do óleo de mamona, foi possível produzir painéis aglomerados que superam as exigências mínimas da NBR 14810-2 (ABNT, 2018).

Com relação aos ensaios mecânicos verificou-se no geral um bom desempenho do painel superando os requisitos mínimos, provavelmente devido a eficiência do adesivo PUR, destacando-se nos ensaios de MOR e TP onde obteve a melhor classificação de uso.

Já os ensaios físicos obtidos junto a literatura, demonstraram que as partículas de palha de milho aglutinados com PUR propiciam a produção de painéis com alta densidade e menor inchamento após 24h submerso. Foram determinados teores de umidade dos painéis dentro do intervalo exigido pela norma brasileira.

Os painéis produzidos com palha de milho nesta pesquisa tiveram a classificação geral de uso (P4) superior a classificação mínima exigida pela norma (P2), portanto, de acordo com a NBR 14810-2 (ABNT, 2018) os painéis produzidos com palha de milho podem ser classificados para uso estrutural em condições secas.

Conclui-se que a palha de milho pode ser considerada uma boa alternativa para a produção de painéis aglomerados, um material viável do ponto de vista mecânico e físico, sendo uma opção de material sustentável, possibilitando agregar valor a um subproduto que geralmente é queimado para geração de energia.

REFERÊNCIAS

- ARAUJO, C. K. C.; CAMPOS, C. I. de; CAMARGO, S. K. C. A.; CAMARGO, B. S. Caracterização mecânica de painéis aglomerados de média densidade produzidos a partir de resíduos de madeira. **Revista Gestão Industrial**. Ponta Grossa, v. 15, n. 1, p. 197-211, março 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-1: Painéis de partículas de média densidade Parte 1: Terminologia**. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-2: Painéis de partículas de média densidade Parte 2: Requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457: Solos – Preparação de amostras para ensaios de compactação, caracterização e determinação do teor de umidade**. Rio de Janeiro, 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6458: Grãos de pedregulhos retidos na peneira de abertura 4,8 mm – Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água**. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro. 2003.
- BIAZUS, A.; HORA, A. B.; LEITE B. G. P. Panorama de mercado: painéis de madeira. **Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDS) Biblioteca Digital**, Rio de Janeiro, setembro de 2010. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1765/2/BS%2032%20Panorama%20de%20mercado%20pain%c3%a9is%20de%20madeira_P.pdf>. Acesso em: 10 junho 2024.
- BISPO, R. A. **Produção e avaliação de painéis de partículas de fibra de coco, pinus e eucalipto aglutinados com adesivo poliuretano derivado de óleo de mamona**. 2020. Dissertação de mestrado (Estruturas – Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2020.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **INCA – Instituto Nacional do Câncer**. Perguntas Frequentes (FAQ) - Formol. 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/inca/pt-br/acesso-a-informacao/perguntas-frequentes/formol#:~:text=Quais%20os%20riscos%20do%20formol,causar%20bronquite%2C%20pneumonia%20ou%20laringite>>. Acesso em: 4 maio 2024.
- BRASIL. Ministério do desenvolvimento Agrário e da Agricultura familiar. **CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento**. Acompanhamento da safra brasileira: Grãos Safra 2022/2023. 12º Levantamento. Brasília, DF: Conab, 2023.

CAZELLA, P. H. S. **Avaliação de painéis aglomerados homogêneos de pinus com incorporação de partículas de PET aglutinados com adesivo poliuretano derivado de óleo de mamona**. 2022. Dissertação de mestrado (Estruturas – Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2022.

DIAS, F. M. **Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira compensada e aglomerada**. 2005. Tese de doutorado (Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005

DUARTE, J. O.; MATTOSO M. J.; GARCIA J. C.; Milho - Importância socioeconômica. **EMBRAPA**, 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/pre-producao/socioeconomia/importancia-socioeconomica>>. Acesso em 10 de junho de 2024.

Entenda a diferença entre MDP e MDP. **Duratex**, 2024. Disponível em: <<https://www.duratexmadeira.com.br/blog/entenda-a-diferenca-entre-mdp-e-mdf/#:~:text=O%20MDP%2C%20formado%20por%20part%C3%ADculas,mais%20detalhados%20e%20designs%20curvil%C3%ADneos.>>. Acesso em 16 maio 2024.

FILHO, A. M. M; MENDONÇA, L. O.; MENDITI, N. S.; CARVALHO R, V.; LUCIA, S. M. D. Aproveitamento de resíduos agroindustriais. **Tópicos especiais em ciência e tecnologia de alimentos**, v.1, p. 287-301. Vitória, EDUFES, 2020.

FORMIGONI, I. Principais produtores mundiais de milho: dados de 2015 a 2020. **FarmNews**, 2020. Disponível em: <<https://www.farmnews.com.br/mercado/principais-produtores-mundiais-de-milho/>>. Acesso em: 4 maio 2024.

FORMIGONI, I. Principais produtores de milho, dados revisados de novembro de 2023. **FarmNews**, 2023. Disponível em: <<https://www.farmnews.com.br/mercado/principais-produtores-de-milho-dados-revisados-de-novembro-de-2023/>>. Acesso em: 04 maio 2024.

GUIMARÃES, P.S. **Desempenho de híbridos simples de milho (Zea mays L.) e correlação entre heterose e divergência genética entre as linhagens parentais**. 2007. Dissertação de mestrado (Agricultura Tropical Subtropical) - Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 2007.

IWAKIRI, S. Características tecnológicas e aplicações. **Revista da Madeira**, edição Nº71, p. 4, Curitiba maio de 2003.

IWAKIRI, S. **Painéis de Madeira Reconstituída**. Curitiba. Ajir Gráfica e Editora, 2005.

JESUS, J. M. H. **Estudo do adesivo poliuretano à base de mamona em madeira laminada colada (MLC)**. 2000. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

KATSUKAKE, A. **Uma revisão sobre a resina uréia-formaldeído (R-UF) empregada na produção de painéis de madeira reconstituída**. 2009. Trabalho de conclusão de curso (licenciatura - Química) - Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências, Bauru, 2009.

KOLLMANN, F. P.; KUENZI, E.W.; STAMM, A. J. **Principles of wood science and technology: Wood based materials**. v.2. New York. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1975.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES F. O. M.; CARNEIRO N. P.; PAIVA E. Fisiologia do milho. **Circuito Circular**, v.22, 2002. EMBRAPA-CNPMS. Sete Lagoas.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacture**. v.2. San Francisco: Backbeat Books, 1993

MARTINS, R. S. F.; GONÇALVES, F. G.; SEGUNDINHO, P. G. A.; LELIS, R. C. C.; PAES, J. B.; LOPEZ, Y. M.; CHAVES, I. L. S.; OLIVEIRA, R. G. E. Investigation of agro-industrial lignocellulosic wastes in fabrication of particleboard for construction use. **Journal of Building Engineering**. v. 43, novembro de 2021.

MATTOS, R. L. G.; GONÇALVES, R. M.; CHAGAS F. B. Painéis de Madeira no Brasil: Panorama e Perspectivas. **Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDS) Biblioteca Digital**, Rio de Janeiro, março de 2008. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2526/2/BS%2027%20Pain%c3%a9is%20de%20madeira%20no%20Brasil_P.pdf>. Acesso em: 4 maio 2024.

MDF ou MDP? Conheça as diferenças. **MadeiraMadeira**, 2023. Disponível em: <<https://www.madeiramadeira.com.br/central-de-dicas/artigos/mdf-ou-mdp-conheca-as-diferencas>>. Acesso em 16 maio 2024.

MOSLEMI, A. A. **Particleboard vol. I – Materials**. Southern Illinois University Press, London – Amsterdam, 1997.

MOSLEMI, A. A. **Particleboard vol. II – Technology**. Southern Illinois University Press, London – Amsterdam, 1997.

NETO, S. C. **Caracterizações físico-química de um poliuretano derivado de óleo de mamona utilizado para implantes ósseos**. 1997. Tese de doutorado (Química) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

OLIVEIRA, C. **Palha de milho como material energético para a produção de biogás, bioetanol, pellets e energia**. LinkedIn, 2022. Disponível em: <<https://pt.linkedin.com/pulse/palha-de-milho-como-material-energ%C3%A9tico-para-produ%C3%A7%C3%A3o-celso-oliveira>>. Acesso em 20 junho 2024.

PAES, M. C. D.; TEIXEIRA, F. F.; MARTINS, I. S. Composição química da palha de milho com qualidade para artesanato. **Congresso Nacional de Milho e Sorgo**, XXVII, 2008. Instituto Agrônomo do Paraná, Londrina, 2008.

PROTZEK, G. R.; KOLOSKI, J.; MAGALHÃES, W. L. E.; NETO, S. C.; NASCIMENTO, E. M.; AZEVEDO, E. Análise das propriedades físicas dos compósitos de serragem e poliuretano derivado de óleo de mamona. **Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira**, XV, 2016. ANAIS IBRAMEM, Curitiba, 2016.

ROBERTO, C. D.; TEIXEIRA, L. J. Q.; CARVALHO, R. V. Tópicos especiais em ciência e tecnologia de alimentos, Vitória: EDUFES, 2020, p. 287–301.

RODRIGUES, F. R. **Estudo da viabilidade do uso de resíduo de poliestireno e poliuretano de óleo de mamona na produção de painéis aglomerados homogêneos de pinus e eucalipto**. 2022. Dissertação de mestrado (Estruturas – Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2022.

SALAZAR, R.F.S.; SILVA, G.L.P.; SILVA, M.L.C.P. Estudo da composição da palha de milho para posterior utilização como suporte na preparação de compósitos. **Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica**, VI, 2005. Unicamp, Campinas, 2005.

SALIBA, E. O. S.; RODRIGUEZ, N. M.; MORAIS, S. A. L.; VELOSO, D. P. Ligninas – métodos de obtenção e caracterização química. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 31, n. 5, p. 917-928, outubro de 2001.

SILVA, D. A. L. **Avaliação do Ciclo de Vida da Produção do Painel de Madeira MDP no Brasil**. 2012. Dissertação de mestrado (Ciência dos Materiais – Engenharia de Materiais) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

SILVA, D. W.; FARRAPO, C. L.; RIBEIRO, D. P.; MENDES R. F.; MENDES L. M.; SCOLFARO, J. R. S. MDP com partículas de eucalipto e palha de milho. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v.43, n. 108, p. 853-862, dezembro de 2015.

SORATTO, D. N.; CUNHA, A. B.; VITAL, B. R.; CARNEIRO, A. C. O.; COSTA, F. R. Efeitos da adição de cavaco com casca na qualidade de painéis MDP produzidos com *Eucalyptus sp.* **Ciência da Madeira Brazilian Journal of Wood Science**. Pelotas, v. 4, n. 1, p. 46-59, maio de 2013.

SOUZA, M. V. **Avaliação e viabilidade técnica para aproveitamento de resíduo de serraria de quatro espécies de madeira para produção de painéis aglomerados homogêneos e heterogêneos**. 2022. Dissertação de mestrado (Construção Civil – Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2022.

SOUZA, M. V.; CAZELLA, P. H. S.; RODRIGUES, F. R.; PEROSSO, M. B. S.; SILVA, S. A. M. Painéis aglomerados homogêneos de madeira produzidos com pinus, palha de milho, polietileno tereftalato e poliuretano derivado do óleo de mamona. **Encontro Nacional de Aproveitamento de Resíduos na Construção**, VII, 2021. UFRGS, Porto Alegre, 2021.

Trajatória da agricultura brasileira. **Embrapa**, 2018. Disponível em:
<<https://www.embrapa.br/visao/trajetoria-da-agricultura-brasileira>>. Acesso em 20 junho 2024

TREVISAN, M. F. **Painéis aglomerados homogêneos produzidos com partículas de pinus e seringueira e aglutinados com adesivo poliuretano derivado de óleo de mamona – Avaliação das propriedades físicas e mecânicas**. 2021.

Dissertação de mestrado (Estruturas – Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2021.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, Properties, utilization**. Nova York, Van Nostrand Reinhold, 1991

UNITED STATES. Department of Agriculture. **USDA Foreign Agriculture Service**. Production - Corn. 2023. Disponível em:
<<https://fas.usda.gov/data/production/commodity/0440000>>. Acesso em: 4 maio 2024.

VELOSO, M. C. R. A.; PIRES, M. R.; VILLELA, L. S.; SCATOLINO, M. V.; PROTÁSIO, T. P.; MENDES, L. M.; JÚNIOR, J. B. G. Potencial Destination of brazilian cocoa agro-industrial wastes for production of materials with high added value. **Waste Management**. v. 118, p. 36-44. dezembro de 2022.

VII Plano Diretor da Embrapa 2020-2030. **Embrapa**, 2020. Disponível em:
<<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1126091/vii-plano-diretor-da-embrapa-2020-2030>>. Acesso em 16 maio 2024.

WONG, M. C.; HENDRIKSE, S. I. S.; SHERRELL, P. C.; ELLIS, A. V. Grapevine waste in sustainable hybrid particleboard production. **Waste Management**. v. 118, p. 501-509. dezembro de 2020.

YOUNGQUIST, J. A. **Wood-based composites and panel products. Wood Handbook – Wood as an engineering material**. Madison. General Technical Report FPL-113. U.S. Department of Agriculture. Forest Service. Forest Products Laboratory, Chapter 10, 1999.