



HENRIQUE MAMORU YOSHIDA FERREIRA

**DESEMPENHO FÍSICO-MECÂNICO DE PAINÉIS MDP
PRODUZIDOS COM DOIS DIFERENTES ADESIVOS**

ITAPEVA

2022

HENRIQUE MAMORU YOSHIDA FERREIRA

**DESEMPENHO FÍSICO-MECÂNICO DE PAINÉIS MDP
PRODUZIDOS COM DOIS DIFERENTES ADESIVOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Industrial Madeireira pela Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Campus de Itapeva.

Orientadora: Prof^a Dr^a Cristiane Inácio de Campos

ITAPEVA

2022

F383d

Ferreira, Henrique Mamoru Yoshida

Desempenho físico-mecânico de painéis MDP produzidos
com dois diferentes adesivos / Henrique Mamoru Yoshida
Ferreira. -- Itapeva, 2022

41 f. : il., tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia
Industrial Madeireira) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Instituto de Ciências e Engenharia, Itapeva

Orientadora: Cristiane Inácio de Campos

1. Painéis de madeira. 2. Adesivo. 3. Caracterização
físico-mecânica. I. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Campus de Itapeva

HENRIQUE MAMORU YOSHIDA FERREIRA

**DESEMPENHO FÍSICO-MECÂNICO DE PAINÉIS MDP
PRODUZIDOS COM DOIS DIFERENTES ADESIVOS**

Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Industrial Madeireira, da Universidade Estadual Paulista -
UNESP - Instituto de Ciências e Engenharia - Campus de Itapeva.

BANCA EXAMINADORA

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized 'C' followed by a horizontal line and a small flourish.

Orientador(a): Profa. Associada Cristiane Inácio de Campos
Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus de Itapeva.

A handwritten signature in blue ink, featuring a large, stylized 'B' followed by a horizontal line and a small flourish.

2º Examinador: Prof. Dr. Bruno Santos Ferreira
Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus de
Itapeva.

A handwritten signature in blue ink, featuring a large, stylized 'N' followed by a horizontal line and a small flourish.

3º Examinador: Profa. Msc. Nadia Barros Gomes
Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus de
Itapeva.

Itapeva, 09 de março de 2022.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à Deus, por ter me concebido cada momento da minha vida e pelas oportunidades, meus pais e irmã pelo suporte e apoio durante essa jornada e que há de se perdurar. Em seguida, todos aqueles que estiveram ou de alguma maneira participaram dos momentos gerados por esta graduação, amigos, familiares, professores e demais funcionários da UNESP de Itapeva-SP. Sinto-me grato por ter feito, e pretendo continuar fazendo, parte desta universidade. Obrigado a todos.

RESUMO

O estudo reativo ao uso mais racional da matéria prima segue uma linha importante quando se pensa em aproveitamento da madeira. Esta pesquisa teve como intuito analisar o comportamento de painéis de MDP produzidos com resina de poliuretana à base de óleo de mamona e de fenol-formaldeído quanto ao desempenho físico-mecânico e, também, quanto a correlação entre os modelos para obtenção de módulo de elasticidade, sendo o método não destrutivo de excitação por impulso e o destrutivo tradicional em máquina de ensaio. Inicialmente, foi realizado um levantamento teórico com base na literatura disponível para embasamento do tema especialmente quanto as correlações entre métodos destrutivos e não destrutivos. Em seguida, foram produzidos os painéis e caracterizados conforme as normas ABNT NBR 14810-2 para a determinação das propriedades físicas de densidade, teor de umidade e inchamento em espessura e, propriedade mecânica de resistência na flexão estática e ASTM E 1876 (2015) para determinar a rigidez através de método destrutivo e não destrutivo. Por fim, foram analisados os resultados por meio do software estatístico R e comparados entre si e com documento normativo. Os resultados físicos indicaram que a densidade do painel está dentro de média, e o inchamento em espessura apresentou melhor resultado para os painéis produzidos com resina poliuretana, assim, como no teste de flexão estática. Os painéis produzidos com fenol-formaldeído tiveram resultados insatisfatórios devido a qualidade do adesivo utilizado. Os resultados para o teste destrutivo e não destrutivo de rigidez apresentaram valores de 0,49 e 0,67 para o R^2 nos painéis de MDP produzidos com adesivo de fenol-formaldeído e poliuretana à base de óleo de mamona, respectivamente. Com isso, mostrou que houve melhor ajuste para o painel de PU, porém, se mostrou um ajuste ainda baixo, mesmo mantendo uma relação com os valores encontrados em literatura. A pesquisa indicou que a qualidade do adesivo é fundamental para obter bons resultados e que são necessários aprimoramentos no modelo não destrutivo, principalmente, por conta de não possuir parâmetros específicos para analisar o comportamento de MDP.

Palavras Chave: Painéis de madeira, caracterização mecânica não destrutiva, colagem.

ABSTRACT

The study on the more rational use of raw material follows an important line when thinking about the use of wood. This study aimed to analyse the behavior of MDP panels produced with castor oil-based polyurethane (PU) resin and phenol-formaldehyde regarding correlation physical-mechanical performance as well as the correlation between the models to obtain the modulus of elasticity, being the non-destructive impulse excitation and the traditional destructive method in a testing machine. At first, a theoretical survey was carried out based on the available literature to support the theme, especially regarding the correlation between destructive and non-destructive methods. Then the panels were produced and characterized according to ABNT NBR 14810-2 and ASTM E 1876 (2015) standards, to determine the physical properties of density, moisture content and swelling in thickness, and mechanical property of resistance in static bending and rigidity through destructive and non-destructive methods. Following, the values were analyzed using the R^2 statistical software and compared to each other and with a normative document. The physical results indicated that the density of the panel is within the average and the swelling in thickness presented better results for the panels produced with polyurethane resins as well as in the static bending test. The panels produced with phenol-formaldehyde had unsatisfactory results due to poor quality of the adhesive used. The results for the destructive and non-destructive stiffness test showed values of 0.49 and 0.67 for R^2 in MDP panels produced with phenol-formaldehyde and polyurethane adhesive based on castor oil, respectively. Therefore the study showed that there was a better fit for the PU panel, however, it was still a low fit, even maintaining a relation with the values found in the literature. Hence, the research shows that improvements are needed in the non-destructive model, mainly because it does not have specific parameters to analyze the behavior of MDP.

Keywords: Wood panels, non-destructive mechanical characterization, collage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificador de partículas com conjunto de peneiras.....	21
Figura 2 - Prensa de painéis.....	22
Figura 3 - Corpos de prova.....	23
Figura 4 - Ensaio por método destrutivo.....	25
Figura 5 - Método de ensaio não destrutivo.....	25
Figura 6 - Correlação entre os valores por método destrutivo e não destrutivo.....	33

Sumário

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS	11
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1. MDP	12
3.2. Principais materiais utilizados para produzir o MDP	13
3.2.1 Madeira	13
3.2.2. Resina poliuretana à base de óleo de mamona.....	14
3.2.3. Resina fenol formaldeído	16
3.3. Propriedades físicas e mecânicas do painel particulado	17
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	21
4.1. Produção dos painéis e obtenção dos corpos de prova	21
4.2. Inchamento em espessura.....	23
4.3. Ensaio destrutivo e não destrutivo.....	24
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5.1. Teor de umidade e densidade	28
5.2. Inchamento em espessura.....	29
5.3. Módulo de elasticidade (MOE) e resistência à flexão estática (MOR)	30
5.4. Módulo de elasticidade dinâmico por método não destrutivo	31
5.5. Comparação dos resultados por método destrutivo e não destrutivo	32
6. CONCLUSÃO.....	34
REFERÊNCIAS	35

1. INTRODUÇÃO

O Brasil situa-se na atualidade como um dos principais países no que se refere à produtividade relativa à prática silvicultural, e com isso, este setor apresenta grande representatividade na economia do país, considerando a geração de empregos, impostos, consumo interno e até mesmo exportação de madeira bruta ou derivados da madeira.

Tendo em vista a importância desse setor, é imprescindível que gradativamente novos estudos sejam realizados de modo a desenvolver novas práticas e tecnologias que permitam melhor aproveitamento e desempenho dos recursos renováveis. Neste contexto insere-se os produtos de origem madeireira e, seguindo essa ideia de surgimento de novos materiais e novas tecnologias, inserem-se os painéis reconstituídos de madeira.

Conforme a Associação de Paranaense de Empresas de Base Florestal (APRE) (2018), os produtos nomeados como painéis reconstituídos de madeira, no Brasil, são: Hardboard, Oriented Strand Board (OSB), High Density fiberboard (HDF), Medium Density Fiberboard (MDF) e Medium Density Particleboard (MDP).

APRE (2018) ainda menciona que as indústrias de painéis reconstituídos utilizam principalmente madeira de pinus, eucalipto e paricá proveniente de florestas plantadas como matéria-prima e, estes painéis tem sido cada vez mais aceitos pelos consumidores em substituição à madeira maciça tradicional, como para o uso moveleiro.

De acordo com a Iwakiri (2005), o painel de MDP é resultante de uma transformação tecnológica do painel aglomerado, como a aplicação de temperatura e pressão simultânea no processo de prensas contínuas, uso de classificadores de partículas, software de controle dos processos, uso de resinas especiais e madeiras provenientes de florestas plantadas fazem com que garanta a aplicabilidade do painel.

Cada vez mais se torna imprescindível que os produtos sejam idealizados e produzidos de maneira menos agressiva ao meio ambiente e aos seres humanos, evidentemente, por questões ambientais e de saúde, por isso, se faz

necessário o desenvolvimento dos mesmos envolvendo produtos menos nocivos.

Os painéis de madeira, especialmente o MDP, por conta do desenvolvimento já realizado acerca do seu processo produtivo possibilita que seja um substituto importante ao uso comum de madeira maciça em algumas aplicações, pois além de atingir níveis de resistência consideráveis proporciona o uso mais racional da madeira, onde possibilita maior rendimento da madeira quando comparado ao produto proveniente de madeira serrada.

Ensaio mecânicos destrutivos são utilizados em grande escala para a obtenção de valores de resistência dos materiais, porém, hoje já existem métodos e equipamentos que possibilitam a análise desses resultados de modo não destrutivo, com menor custo e maior agilidade no processo.

Tendo em vista os pontos considerados, este estudo teve como objetivo avaliar o desempenho físico e mecânico dos painéis MDP produzidos com dois diferentes adesivos e comparar os resultados obtidos com a norma brasileira ABNT NBR 14810-2 (2018).

2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho foi analisar as propriedades físicas e mecânicas de painel MDP produzido com duas diferentes resinas, sendo elas poliuretana a base de óleo de mamona e resina fenol-formaldeído.

Os objetivos específicos são:

- Avaliar o desempenho físico dos painéis produzidos com os adesivos propostos;
- Comparar a rigidez dos painéis pelo método destrutivo tradicional e método não destrutivo de excitação por impulso para os painéis produzidos com os dois adesivos;
- Avaliar a resistência à flexão estática pelo método destrutivo dos painéis produzidos com os dois adesivos;
- Avaliar a influência de cada resina no desempenho do painel e comparar com valores comerciais e literaturas correlatas.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir está apresentada a revisão da literatura que serviu como embasamento teórico para a realização do estudo. Os itens abordados referem-se aos painéis particulados de média densidade, matérias-primas adequadas para a produção dos painéis e, principais aspectos físicos e mecânicos do produto final.

3.1. MDP

Existem alguns fatores que propiciaram o desenvolvimento e uso cada vez maior de painéis à base de madeira, sobretudo do MDP, tornando-o um forte substituto à madeira maciça principalmente para a produção de móveis. Especialmente devido à redução de disponibilidade de madeira maciça, uso mais racional da matéria-prima, maior uniformidade de suas propriedades, estabilidade dimensional e o aprimoramento nos métodos e qualidade de usinagem e acabamento gerados pela evolução tecnológica na fabricação desses painéis (PAZZETO, 2015).

Couto et al. (2020) consideram que produtos engenheirados à base de madeira, como os painéis MDP (*Medium Density Particleboard*), MDF (*Medium Density Fiberboard*) e OSB (*Oriented Strand Board*) são opções importantes tendo em vista o uso otimizado de produtos à base de madeira.

Mattos et al. (2008) definem o aglomerado como painel oriundo da produção na qual o material particulado de madeira, podendo ser produzido até mesmo de resíduo industrial, resíduo de atividades florestais, madeira que apresenta menor qualidade e de demais origens sejam utilizados como matéria-prima, e assim, a junção desse material efetuada através do uso de resina, calor e pressão. Os autores ainda mencionam que por meio de ajustes realizados ao processo produtivo, originados por conta da evolução de maquinário verificou-se o melhoramento das características de resistência do produto, e a partir disso, houve a necessidade de dissociar o nome do antigo produto, já que este conferia diferentes aspectos, com isso denominou-se de *Medium Density Particleboard* (MDP).

De acordo com Soratto *et al.* (2013) o MDP é produto da união de pequenas partículas de madeira com resina, na sua maioria utilizando-se de ureia-formaldeído como adesivo, por meio de um processo envolvendo adição de pressão e calor.

O MDP é caracterizado como um painel homogêneo onde apresenta grande estabilidade dimensional, produzido principalmente por madeira de pinus ou eucalipto, resultando em produto com bom desempenho à flexão estática e arrancamento de parafusos. Por conta de suas características e propriedades, verifica-se aplicações mais usuais para este material, sendo destinado principalmente para o setor moveleiro, desde residenciais até comerciais, onde apresentam linhas retas. Alguns dos produtos que utilizam o MDP para a sua constituição são: prateleiras, tampos retos e pós-formados, portas retas, gavetas e laterais de móveis (TEIXEIRA, 2010).

3.2. Principais materiais utilizados para produzir o MDP

De acordo com Iwakiri (2005) a produção de painéis de MDP depende de alguns insumos principais, sendo eles a madeira, resina, emulsão de parafina e catalisador. Além deles, demais aditivos podem ser considerados na produção de modo a melhor determinadas características dos painéis de acordo com o aditivo, como por exemplo retardantes de fogo e preservantes contra agentes xilófagos, ou ainda uso de adesivos com melhor desempenho quanto a umidade.

3.2.1 Madeira

Como já foi apontado anteriormente, a madeira exerce papel fundamental para a formação de painéis de madeira, sendo o principal material utilizado. Sendo assim, empresas do setor de painéis em conjunto com empresas do setor de celulose, são as maiores investidoras em florestas plantadas de eucalipto do Brasil (ABRAF, 2011).

Conforme Pierre (2010), as indústrias de painéis utilizam, principalmente, toretes em seus processos produtivos, que podem ser derivados do aproveitamento de toretes desbastados, resíduos de outros processos

produtivos. No entanto, a maior parte origina de florestas plantadas diretamente com essa finalidade. Além disso, embora sejam utilizadas madeiras de diferentes fontes e espécies, as mais utilizadas são as que propiciam crescimento mais acelerado, e neste sentido as que mais são utilizadas são as madeiras de Pinus e Eucalipto.

Silva (2016) afirma que painéis como o MDP podem ser fabricados através do aproveitamento de resíduos madeireiros gerados por empresas de outros segmentos, como de serrarias, marcenarias, indústria moveleira e demais atividades que envolvem processamento mecânico da madeira.

Para produzir as partículas destinadas à produção de painéis, empresas trabalham com especificações de diâmetros e comprimentos ideais de toras ou toretes que podem variar de no mínimo 3 cm até 25 cm para o diâmetro, e para o comprimento pode ser trabalhado com toretes de 0,5 m até 2,5 m (PIERRE, 2010).

3.2.2. Resina poliuretana à base de óleo de mamona

De acordo com Jesus (2000), se tratando de resinas poliuretanas, um grande passo foi dado pelos pesquisadores do Instituto de Química de São Carlos no início dos anos 1980, em estudos que analisaram e desenvolveram a resina poliuretana à base de mamona. Essa resina se demonstrou eficaz e alguns aspectos superiores quando comparada com outras resinas. Dentre esses aspectos podem ser elencados como a facilidade de obtenção da mamona para a geração da resina, possibilidade de manuseio em temperatura ambiente, resistência considerável à raios ultravioletas e de ação da água, resistência mecânica e, além disso, por ser um material originado da mamona destaca-se por ser renovável.

Painéis de madeira aglomerada são, geralmente, produzidos utilizando-se adesivos à base de ureia-formaldeído, mas estes podem ser substituídos por adesivo poliuretano derivado do óleo de mamona, que se apresenta em grande abundância no país seja pelo cultivo ou crescimento natural (PAES et al., 2011).

Dias (2005) menciona em seu estudo que há a possibilidade da formação de um poliuretano por meio da sintetização de polióis e pré-polímeros de

características diferentes, através do óleo de mamona. Nesse sentido, a polimerização é realizada ao efetuar a junção à frio do pré-polímero com o poliól. Neste processo, há algumas variáveis que podem modificar o resultado final da resina poliuretana, como o emprego ou não de catalisador, o que altera diretamente na velocidade da reação, ou então a quantidade de poliól na mistura, alterando no grau de dureza do mesmo.

Fiorelli *et al.*, (2012) confirmam que comparada à ureia-formaldeído a resina poliuretana bicomponente à base de óleo de mamona mostrou superioridade, indicando que este é um material atinge a qualidade esperada para a produção de painéis de partículas de madeira e outros produtos lignocelulósicos.

Os mesmos autores puderam constatar por meio de imagens eletrônicas de microscopia de varredura (SEM) que o adesivo poliuretano à base de óleo de mamona proporciona ao painel ganhos físicos e, também, mecânicos devido ao adesivo ocupar as lacunas entre as partículas do painel.

Couto *et al.*, (2020) apontam a resina poliuretana à base de mamona como uma alternativa para a formação de painéis de madeira onde apresenta características renováveis e temperatura de prensagem inferior ao da ureia-formaldeído, sendo a partir de 60°C.

Paes *et al.*, (2011), estudaram o desempenho de painéis de partículas de madeira confeccionados com resina poliuretana à base de óleo de mamona, utilizando diferentes combinações de pressão e temperatura e, constataram que embora tenham encontrado uma combinação onde obtiveram melhores resultados, as variadas combinações de pressão e temperatura das chapas apresentaram desempenhos de tração perpendicular às fibras (ligação interna) superiores aos exigidos por norma tanto brasileira quanto americana, mostrando assim a viabilidade do emprego dessa resina para a produção de chapas de madeira.

ZHONG *et al.*, (2017) mostram em sua pesquisa o alto consumo mundial de painéis derivados de madeira, e seu crescimento constante a cada tempo que passa. Consequentemente, destacam o aspecto ambiental no uso de resina, que cresce na mesma proporção, por isso, a utilização de uma resina menos agressiva ao meio ambiente, como a poliuretana, se torna uma alternativa interessante.

3.2.3. Resina fenol formaldeído

Os adesivos à base de formaldeído são amplamente utilizados na produção de painéis à base de madeira. Neste grupo de adesivos, pode-se destacar a resina ureia-formaldeído, indicada para usos em ambientes secos, a resina melamina-formaldeído com aplicação intermediária, indicada para ambientes úmidos e, também a resina fenol-formaldeído com maior resistência à umidade (IWAKIRI, 2005).

Iwakiri et al., (2002) consideraram a possibilidade da variação da água e de extensores como uma alternativa para melhor adequação do adesivo no processo de produção do painel, tendo em vista a qualidade final esperada do painel como também o custo do produto. Ainda apontaram que o adesivo fenol-formaldeído, de acordo com suas especificações e qualidade, apresenta alta resistência à umidade, o que faz dele um produto compatível para a produção de painéis destinados ao uso externo.

Um ponto muito importante na formação de um painel de madeira é a cura da resina, e alguns aspectos podem alterar a qualidade desse processo. Dentre as variáveis apresentam-se questões relacionadas a madeira destinada à produção do painel, como o teor de extrativos da madeira e o pH. Dito isso, Silva et al. (2004) mencionam que ao utilizar fenol formaldeído com adesivo em junção com madeira que apresenta baixo pH pode apresentar uma cura da resina de modo mais lento.

Oposto ao que ocorre no processo com fenol-formaldeído, ao utilizar ureia-formaldeído com madeiras que possuem pH muito ácidas, o painel pode apresentar pré-cura do adesivo logo no fechamento da prensa, afetando assim as propriedades da chapa (SILVA et al., 2004).

Para Prata (2006), o uso final de painéis compensados deve estar alinhado com o tipo de resina utilizada, por isso considera que para se construir um painel destinado ao uso externo, este deve ser constituído de resina fenólica, enquanto que se o destino final dos painéis for para a produção de objetos que não demandam grandes cargas, móveis e demais destinos não estruturais, estes podem ser produzidos com resina de ureia formaldeído.

Santos (2016) comenta que para produzir painéis de madeira, seja *Oriented Strand Board (OSB)*, *High Density Fiberboard (HDF)*, *Medium Density*

Fiberboard (MDF), compensados ou *Medium Density Particleboard* (MDP), estes demandam da utilização de resinas para que se possam concluir sua produção, e nesse sentido o adesivo de fenol-formaldeído apresenta-se como uma das mais utilizados pelo mercado.

De acordo com Santos (2015), devido ao grande custo que o adesivo representa no processo produtivo de painéis em mundo todo, principalmente em países em desenvolvimento, há uma busca entre os pesquisadores visando encontrar ou desenvolver novos modelos de adesivos que apresentem características favoráveis ao processo produtivo e ao mesmo tempo custos reduzidos. Mas este não é o único fator, há também o fator ambiental, na qual espera-se o desenvolvimento de novas resinas oriundas de fontes renováveis.

Santos (2016), estudou a adição de lignina kraft ao adesivo de fenol formaldeído, em proporções de 15%, 30%, 45% e 60% na produção de MDP confeccionado com madeira de *Eucalyptus sp.* O autor analisou a resistência do painel na linha de cola, umidade de equilíbrio higroscópio, densidade aparente, inchamento e absorção de água após imersão por 2h e 24h, tração perpendicular, MOR e MOE, arrancamento de parafuso e dureza Janka, e constatou que os adesivos produzidos através da substituição do fenol por lignina fenolada satisfaz os requisitos de uso. O autor recomendou a utilização de até 45% de lignina kraft em substituição ao fenol na fenolação.

As condições para que a resina de fenol-formaldeído seja utilizada de maneira satisfatória segue apresentando uma alta temperatura de cura, acima de 140°C, condicionado normalmente altamente alcalino para que seja efetuada a cura mais rapidamente, apresentando característica de resistência à ação da água e de tonalidade escura (BALDWIN, 1995 apud PRATA, 2006).

3.3. Propriedades físicas e mecânicas do painel particulado

Os painéis de madeira possuem propriedades técnicas que determinam seus usos e aplicações, sendo estes: resistência física, tolerância à usinagem, resistência à fixação de parafusos, quanto ao ambiente de uso (interno ou externo), uniformidade de superfície e etc (RIBASKI, 2018).

De acordo com a NBR 14810-2 (2018), os painéis de MDP são classificados em seis tipos diferentes, onde cada um relaciona as condições de umidade que os painéis serão expostos e o fato de serem estruturais ou não. As classes acompanhadas de suas descrições estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Classes de MDP conforme NBR 14810-2 (2018)

Classe	Especificações
P2	Painéis não estruturais para uso interno em condições secas
P3	
P4	
P5	
P6	Painéis estruturais para uso em condições úmidas
P7	Painéis estruturais para uso em condições severas de carga, em ambientes secos
	Painéis estruturais para uso em condições severas de carga, em ambientes úmidos

Fonte: Autoria própria

Iwakiri et al., (2000) demonstraram em seus estudos resultados relativos ao MOE e MOR na flexão estática de painéis de madeira produzidos de três diferentes espécies de eucalipto, a partir de resíduos de serrarias, com duas proporções de resina, sendo de 8% e 12%. A faixa de resultados do MOE variou de 1194,35 a 2260,99 MPa, sendo que os painéis de *Eucalyptus grandis* foram os que apresentaram maiores medias de MOE tanto para 8% quanto 12%. Já para o MOR, os valores variaram de 7,30 a 16,02 MPa e foi observado que os painéis de madeira produzidos com 12% de adesivo apresentaram valores superiores em comparação com seus equivalentes produzidos com 8% de adesivo.

Para se produzir uma análise a respeito de um painel, existem alguns parâmetros que possuem maior grau de importância, onde podem ser divididos em aspectos físicos, e aspectos mecânicos, que inclusive são determinados por normas específicas a cada painel, variando de acordo com método de utilização. Sendo assim, dentre os parâmetros físicos analisados podem ser admitidos: densidade aparente, teor de umidade, espessura, largura, comprimento, esquadro, retilineidade, inchamento em espessura após 24 horas. Para as características mecânicas destacam-se: Resistência à Tração Perpendicular ou

Adesão Interna (TP), Módulo de Elasticidade (MOE) e Módulo de Resistência à Flexão estática (MOR) e Arrancamento de Parafuso (GILIO, 2020).

Soratto et al., (2013) estudaram a influência da adição de cavaco com casca nas proporções de 0, 6, 12, 18 e 24 % na qualidade de painéis de MDP feitos com madeira de *Eucalyptus* sp. De acordo com os autores, quando comparados os valores encontrados no estudo com a norma ABNT 14810-2 (2002), todas as variações estudadas apresentaram superioridade ao mínimo exigido pela norma, sendo o exigido por norma de 1020 N e os resultados do estudo partindo de 1532 N até 2045 N.

Cabral et al., (2016) avaliaram o desempenho de chapas de partículas do tipo aglomerado convencional, chapas de aglomerado com inclusão laminar e chapas de MDP e constataram que, se referindo à resistência à tração perpendicular, as chapas de aglomerado com inclusão laminar apresentaram os menores valores (0,19 MPa), inclusive abaixo do exigido por norma, enquanto os painéis de MDP apresentaram os maiores valores (1,21 MPa).

Gilio (2020) analisou painéis de partículas produzidos a partir de madeira de Seringueira (*Hevea brasilienses*) e Teca (*Tectona grandis*) que possuíam mais de 20 anos de existência em união com resina poliuretana produzida com óleo de mamona. Inicialmente foram produzidas cinco variações de proporções de Seringueira e Teca para 5 e 10% de adesivo, totalizando dez variações. Em seguida foram produzidos três painéis para as proporções que apresentaram os melhores resultados para a densidade, teor de umidade, inchamento em espessura após 24h, módulo de resistência à flexão estática, módulo de elasticidade e a resistência à tração perpendicular e assim foram analisados mais profundamente. Por fim, concluiu que os painéis produzidos com o uso de madeira de Teca e Seringueira e adesivo Poliuretano oriundo da mamona apresentaram características físicas e mecânicas que atendem ao que é exigido pela norma NBR 14810-2 (2018), mas que os testes mostraram que os painéis produzidos com proporção de 10% de adesivo tiveram os melhores resultados.

A resistência à flexão estática e tração perpendicular são superiores para painéis de partículas produzidos com espécies de baixa densidade quando comparados aos painéis de mesma densidade, mas produzidos com espécies de densidade elevada. Entretanto, as características de absorção de água, inchamento em espessura e resistência ao arrancamento de parafuso mantém-

se sem grandes diferenças. Isso se deve por conta de que o volume de madeira para uma determinada massa de madeira de baixa densidade é maior quando comparado ao volume de madeira de mesma massa, porém de densidade maior (ALBERTO, 1992).

Oliveira (2019) avaliou o desempenho de painéis de partículas de eucalipto confeccionados com adição de couro e adesivo poliuretano oriundo do óleo de mamona. Produziu três variações de painéis, onde apresentou com 50, 25 e 10% de couro para os painéis T1, T2 e T3, e para os mesmos 50, 75 e 90% de madeira, além de contar com 10% de resina poliuretana para todos os painéis. Os resultados médios para a tração perpendicular foram de 1,10 MPa para o T1, 1,39 MPa para o T2 e 2,59 MPa para o T3, sendo que o valor mínimo aceito por norma pela NBR 14810 (2013) é de 0,40 MPa para os painéis em questão.

3.4. Considerações sobre a revisão da literatura

Com base no exposto anteriormente, pode-se concluir que o estudo de painéis à base de madeira vem crescendo nos últimos anos acompanhando o crescimento produtivo do produto. Estudos visando avaliar a utilização de novos insumos e novas metodologias produtivas e para caracterização tornam-se importantes quando a proposta é desenvolver materiais com melhores propriedades físico-mecânicas, utilização de novos insumos com propriedades adequadas e, também tornem os preços dos produtos mais competitivos não se esquecendo das questões ambientais que são de fundamental importância atualmente. Com base no exposto, a presente pesquisa se insere neste contexto visando apresentar a viabilidade de uso da resina poliuretana e, também, da possibilidade de determinação da rigidez a partir de método não destrutivo.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Este item tem como finalidade apresentar a forma que foram produzidos os painéis de MDP, os materiais utilizados, as formas de ensaio e seus respectivos cálculos para a obtenção dos valores de comparação.

4.1. Produção dos painéis e obtenção dos corpos de prova

Inicialmente, foram obtidas as partículas por meio do processamento mecânico da madeira de *Pinus spp.* O material foi inicialmente picado em picador de tambor e, posteriormente, moído no moinho martelo.

Em seguida, foi efetuada a seleção das partículas para as camadas internas camadas do painel em 9, 16, 35 e 60 mesh. A Figura 1 ilustra o conjunto de peneiras com o material sendo selecionado através do conjunto de bandejas com as aberturas desejadas.



Figura 1: Classificador de partículas com conjunto de peneiras.

Fonte: Autoria própria

Os painéis foram produzidos com madeira de reflorestamento em três camadas nas proporções 20 : 60 : 20, sendo a camada interna composta por partículas de 9 e 16 *mesh* e, camadas externas compostas por partículas de 35 e 60 *mesh*. Foram utilizadas 1500 g de madeira, sendo 900 g foram destinadas

à camada interna e 300 g para cada camada externa para ambos os painéis. Para o painel confeccionado utilizando resina de Poliuretano a base de óleo de mamona foi considerado 90g de solução para as camadas externas, sendo 45g de poliol e 45g de pré-polímero, enquanto que para a camada interna foi aproximadamente 68g de poliol e 68g de pré-polímero. Para os painéis produzidos de fenol-formaldeído foram utilizados 90 g de fenol-formaldeído e 5 g de água para as camadas externas, e para a camada interna utilizou-se de 136 g de fenol-formaldeído e 7 g de água. A mistura do material foi realizada manualmente e, em seguida, todo material foi disposto em uma caixa formadora.

Os painéis foram prensados com temperatura de acordo com cada adesivo sendo para a resina PU 100°C e para a resina FF 180°C. A pressão de prensagem foi de 4 MPa e o tempo de 10 minutos divididos igualmente em 3 ciclos com dois períodos de alívio de vapores. Em seguida, foram realizados os testes mecânicos. A Figura 2 mostra a prensa utilizada para a produção dos painéis.



Figura 2: Prensa de painéis

Fonte: Autoria própria

Após a prensagem, os painéis passaram por esquadrejamento para que se obtivesse os corpos de prova para a realização para a determinação das propriedades físicas e mecânicas.

Os corpos de prova para os ensaios de flexão foram cortados com largura de 50 mm e comprimento de 20 vezes o valor da espessura, acrescido de 50 mm, ou seja, os corpos de prova para o ensaio de módulo de elasticidade dinâmico e estático foram cortados na dimensão de 350 mm por 50 mm, segundo especificação da ABNT NBR 14.810 /2018). Os corpos de prova para o teor de umidade, densidade, inchamento em espessura e absorção foram cortados com largura e comprimento de 50 mm.

Foram obtidos 8 corpos de prova para a realização dos ensaios para determinar teor de umidade, densidade, inchamento em espessura e absorção. Para os ensaios mecânicos foram utilizados 12 corpos de prova.

A Figura 3 apresenta os corpos de prova utilizados para obtenção do teor de umidade, densidade, inchamento em espessura, absorção, módulo de elasticidade estático, dinâmico, conforme norma, para os dois adesivos.

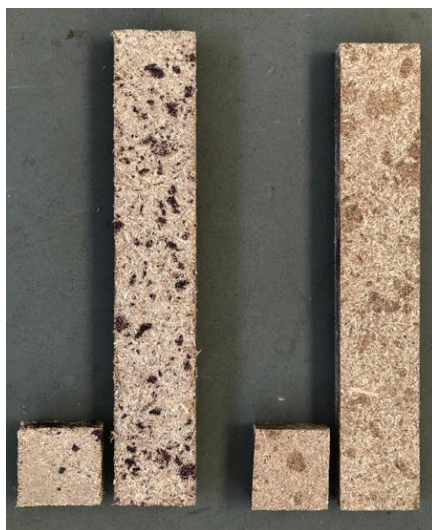


Figura 3: Corpos de prova

Fonte: Autoria própria

4.2. Inchamento em espessura

Foram efetuados os procedimentos conforme ABNT NBR 14810-2 (2018) para a obtenção dos valores dos parâmetros de inchamento e absorção para os dois adesivos, onde foram confeccionados oito corpos de prova com seção de 50 x 50 mm para ambos. Após, foram coletadas as medidas de espessura dos

corpos de prova. Em seguida, foram dispostos em um recipiente e imersos em água por 24 horas, e posteriormente, coletadas as mesmas informações de medidas como efetuadas anteriormente de modo a analisar as variações proporcionadas.

Conforme norma, a obtenção dos valores de inchamento em espessura é determinada a partir da Equação 1:

$$I = \frac{E1-E0}{E0} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

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

E1 = espessura do corpo de prova após o período de imersão considerado, expressa em milímetros (mm);

E0 = espessura do corpo de prova antes da imersão, expressa em milímetros (mm).

4.3. Ensaios destrutivos e não destrutivos

Os ensaios de caracterização mecânica realizados nos painéis de partículas de média densidade foram: flexão estática através do método destrutivo, determinado pela norma ABNT NBR 14810-2 (2018) e módulo de elasticidade dinâmico pelo método não destrutivo de excitação por impulso com base na ASTM E 1876 (2015). As dimensões, quantidades mínimas de corpos de prova e metodologia foram baseadas nestas normas. Foram avaliados os desempenhos dos painéis produzidos com os dois tratamentos, sendo um produzido com resina poliuretana a base de óleo de mamona e outro produzido com resina fenol-formaldeído.

Para o ensaio de flexão estática através do método destrutivo, foi determinado o módulo de elasticidade (MOE) e o módulo de ruptura (MOR). O teste foi realizado em uma máquina universal de ensaios com controle de velocidade. A Figura 4 a seguir demonstra um corpo de prova utilizado no ensaio.

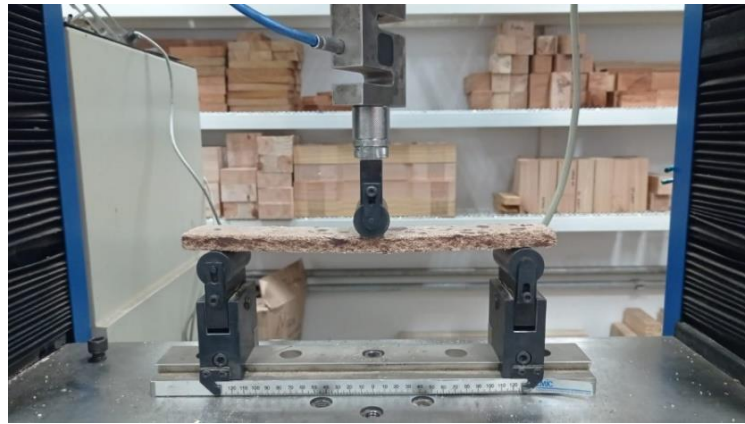


Figura 4: Ensaio por método destrutivo

Fonte: Autoria própria

O sistema utilizado para a obtenção dos valores do módulo de elasticidade estático é o SONELASTIC®, onde as amostras foram bi apoiadas em um suporte metálico próximo ao dispositivo de detecção acoplado a um computador, a excitação por impulso foi gerada com o impacto de uma haste polimérica com ponta metálica no material. A Figura 5 mostra a forma de acoplamento e realização do ensaio não destrutivo.

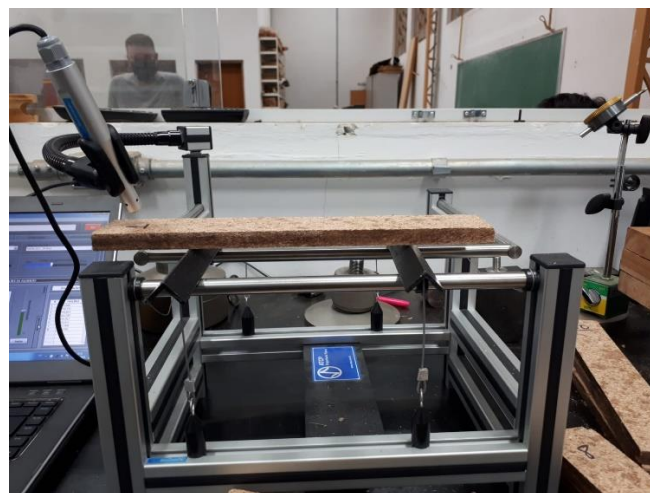


Figura 5: Método de ensaio não destrutivo

Fonte: Autoria própria

As diretrizes para a realização do modelo e obtenção dos resultados pelo método não destrutivo foi seguido conforme ASTM E 1876 (2015). De acordo

com a norma a forma e se obter o valor, chamado de Dynamic Young's Modulus (Módulo de Young dinâmico), segue conforme a Equação 2 abaixo:

$$E = 0,9465 \left(\frac{mf_f^2}{b} \right) \left(\frac{L^3}{T^3} \right) T_1 \quad (2)$$

Onde:

E = Módulo de Young dinâmico, Pa;

m = massa da barra, g;

b = largura da barra, mm;

L = comprimento da barra, mm;

t = espessura da barra, mm;

f_f = frequência ressonante fundamental da barra em flexão, Hz;

T₁ = fator de correção para o modo de flexão fundamental para levar em conta a espessura finita da barra, coeficiente de Poisson e assim por diante.

A norma define um critério de relacionar o comprimento da barra pela espessura, e se maior ou igual a 20, o valor de T₁ deve ser considerado por uma segunda fórmula. Como no caso desta pesquisa a relação de L/b mantém valor superior a 20, então foi realizado o cálculo de T₁ conforme Equação 3 a seguir:

$$T_1 = \left[1 + 6.585 \left(\frac{t}{L} \right)^2 \right] \quad (3)$$

De acordo com a norma brasileira, para o ensaio destrutivo, o valor para o módulo de elasticidade (MOE) obtém-se de acordo com a Equação 4:

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

Onde:

MOE = Módulo de elasticidade, N/mm²;

P1 = Carga no limite proporcional, N;

D = Distância entre apoios do aparelho, mm;

D = Deflexão, mm;

B = Largura do corpo de prova, mm;

E = Espessura do corpo de prova, mm;

A norma brasileira ainda define o valor de Módulo de resistência à flexão estática como indicado na Equação 5:

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

Onde:

MOR = Módulo de resistência à flexão estática, N/mm².

Ao final de todos os ensaios mecânicos e coletas de dados, foram realizados testes estatísticos de normalidade (Shapiro Wilk), comparação (Teste T de Student) e de homogeneidade (Teste de Bartlett), com nível de significância de 5%, para testar a normalidade dos dados e se há diferenças significativas entre as médias. Para a análise estatística foi utilizado o software R versão 3.6.1.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este tópico tem como objetivo apresentar e discutir os resultados obtidos para a caracterização física e mecânica para os dois adesivos utilizados, em comparação com literaturas e documento normativo nacional.

5.1. Teor de umidade e densidade

Considerando a caracterização física dos painéis, foram determinados os valores médios de teor de umidade e densidade para os dois tipos produzidos e seus respectivos desvios padrões, conforme expresso na Tabela 2 a seguir:

Tabela 2: Valores médios de densidade e TU

Parâmetro	Fenol	Poliuretana
Densidade (g/cm ³)	0,5914 (± 0,0468)	0,6369 (± 0,0517)
TU (%)	13,31 (± 0,55)	9,43 (± 0,35)

Fonte: Autoria própria

Por meio de análise comparativa feita no Software R, pelo método de Teste T de Student, foi possível perceber que não houve diferença entre os valores de densidade para os painéis a base de fenol-formaldeído e poliuretana à base de óleo de mamona como adesivo. Da mesma maneira, o painel de poliuretana possuiu teor de umidade estatisticamente inferior.

Nos dois casos, a densidade média indicou que os painéis estudados estão dentro do grupo de média densidade, ou seja, entre 500 e 800 kg/m³ (IWAKIRI, 2005). A última versão da norma brasileira de painéis particulados não indica valores de densidade para painéis particulados.

O teor de umidade proposto pela norma indica valores ideais entre 5 e 13%, portanto, ambos tratamentos atenderam as especificações normativas.

Em seu estudo, Michelon (2011), analisou painéis de partículas reconstituídas MDP (Medium Density Particleboard) com adição, na camada interna, de partículas de papel impregnado, nas proporções de 0%, 1%, 5% e

20%, onde verificou que para o MDP produzido somente com madeira de eucalipto, sem a adição de papel, a densidade foi de $0,619 (\pm 0,037) \text{ g/cm}^3$

Souza (2016) desenvolveu uma pesquisa que consistiu em avaliar a viabilidade da utilização de resíduos da industrialização da erva-mate, em combinação de diferentes proporções de eucalipto e pinus para a produção de painéis MDP, e neste, considerando o painel produzido apenas com eucalipto, obteve valores de $0,662 \text{ g/cm}^3$ e 8,37% para a densidade e teor de umidade, respectivamente.

5.2. Inchamento em espessura

Os valores médios de Inchamento em espessura estão apresentados na Tabela 3, indicando em valores percentuais, a seguir:

Tabela 3: Valores de Inchamento em espessura após imersão por 24h

Adesivo	Inchamento 24 h (%)	
	Ensaio	Norma
Fenol - Formaldeído	38,57 ($\pm 7,28$)	Até 22 (Tipo P2)
Poliuretana	9,82 ($\pm 1,17$)	Até 10 (Tipo P7)

Fonte: Autoria própria

Analizando o comportamento dos dados através do Software R, por meio do Teste T ao nível de significância de 5%, foi constatado que há diferenças significativas entre os valores de inchamento entre os painéis feitos com diferentes adesivos, indicando que o painel produzido com o adesivo de poliuretana a base de óleo de mamona obteve valores inferiores.

Considerando o valor médio de inchamento obtido para o painel produzido com resina poliuretana, e comparando com os valores indicados na ABNT NBR 14810-2 (2018), de acordo com a espessura do painel em questão, pode-se dizer que o painel se enquadra de acordo com qualquer classe de MDP, ou seja, se adequa mesmo à classe mais severa, sendo a P7, para painéis estruturais para uso em condições severas de carga, em ambientes úmidos, como apresentados na Tabela 1.

Já o painel de fenol-formaldeído não se enquadrou em nenhuma das classes de inchamento em relação à norma, mesmo para a classe com maior tolerância. Pode-se justificar essa deficiência apresentada pelos painéis produzidos com resina fenólica, falhas que ocorreram no processo produtivo, pois pelas fotos pode-se observar concentração de adesivo o que impediu boa homogeneização. Esta deficiência pode ser explicada pela dificuldade de pulverização do adesivo na encoladeira devido a elevada viscosidade apresentada pelo adesivo utilizado. Destaca-se que o adesivo utilizado já estava armazenado há mais de seis meses devido a pandemia e isso, interferiu negativamente nos resultados finais obtidos.

Santos (2016) comparou algumas propriedades de painéis MDP produzidos com adesivo fenol-formaldeído em relação ao MDP produzido com adesivo fenol-formaldeído com adição de lignina Kraft, com isso, obteve valores de Inchamento em espessura de 26,99% para os corpos de prova testemunha (sem lignina Kraft). Comparando com os resultados obtidos neste estudo em relação a Santos (2016), observa-se que realmente a qualidade do adesivo utilizado prejudicou o desempenho final, apresentando maior inchamento em espessura.

Couto et al. (2020) estudaram o efeito da adição de cimento na composição de MDP produzidos com resina poliuretana à base de óleo de mamona, e neste, obtiveram valor médio próximo dos 11% para o inchamento após 24h para o painel sem adição de cimento. Os valores obtidos no presente estudo estão próximos ao descrito por Couto et al. (2020), indicando que o adesivo tem apresentado bom desempenho em contato com água.

5.3. Módulo de elasticidade (MOE) e resistência à flexão estática (MOR)

Os valores obtidos para no teste de flexão estática para determinar módulo de elasticidade e módulo de resistência à flexão estática foram obtidos pelo ensaio destrutivo baseado na ABNT NBR 14810-2 (2018), sendo os valores médios estão apresentados na Tabela 4:

Tabela 4: Valores médios de MOE e MOR e, respectivos desvios padrões.

Fenol	PU
MOE [MPa]	
712,5 ($\pm 100,92$)	3154,62 ($\pm 683,48$)
MOR [MPa]	
3,52 ($\pm 0,84$)	19,06 ($\pm 5,08$)

Fonte: Autoria própria

Analisando os resultados de resistência à flexão estática pode-se observar o mesmo comportamento dos demais testes, ou seja, a qualidade da resina fenol-formaldeído e problemas no processo de fabricação prejudicaram diretamente a qualidade do produto final, indicando qualidade muito ruim dos painéis fabricados, sem atender nenhuma classe de resistência indicada pela norma ABNT NBR 14.810 (2018). Entretanto, os painéis produzidos com resina poliuretana indicaram excelente desempenho, podendo os painéis serem classificados no desempenho a flexão estática como tipo P5 para painéis estruturais em condições úmidas que tem valores mínimos de MOE 2650 MPa e MOR de 16 MPa.

Couto et al. (2020) obteve valores de valores próximos de 2500 MPa para o MOE e 20 MPa para o MOR produzidos para painéis MDP produzidos com poliuretana à base de óleo de mamona, enquanto os painéis produzidos por Fiorelli et al. (2012), constituídos de fibra de coco e adesivo poliuretano, obtiveram valores de 1405 Mpa para o MOE e 17,94 para o MOR.

Varanda (2014) encontrou o valor de 2581 MPa para o MOE para os painéis particulados produzidos com adesivo PU.

Conforme visto, o painel produzido com adesivo poliuretano obteve valores próximos e até numericamente superiores em alguns casos, mostrando concordância com os dados encontrados em literatura.

5.4. Módulo de elasticidade dinâmico por método não destrutivo

A Tabela 5 apresenta os valores de T_1 e de E para os painéis utilizando adesivo de poliuretana à base de óleo de mamona e de fenol-formaldeído.

Tabela 5: Valores médios de T_1 e E conforme ASTM E 1876 (2015)

Adesivo	T_1	E [Mpa]
Fenol - Formaldeído	1,0137 ($\pm 0,0008$)	1494,87 ($\pm 601,79$)
Poliuretana	1,0118 ($\pm 0,0008$)	3271,78 ($\pm 599,31$)

Fonte: Autoria própria

Os resultados encontrados indicaram que o ajuste linear variou em função do tipo de adesivo utilizado e, também, que o MOE e MOE_d apresentaram melhor correlação para os painéis produzidos com resina poliuretana, com R^2 de 0,67, provando que há diferenças entre os valores obtidos quando comparados os adesivos e que mesmo os painéis de poliuretana terem apresentado uma correlação maior entre MOE e MOE_d, ainda demonstra um valor estatisticamente desfavorável.

Vale ressaltar que o método de ensaio por método não destrutivo utiliza ajustes específicos para cada material, e foram utilizados os parâmetros próprios da madeira maciça, material que mais se aproxima da pesquisa em questão, por isso, os valores podem ter apresentado diferenças quando comparados.

5.5. Comparação dos resultados por método destrutivo e não destrutivo

Os resultados obtidos nos ensaios foram analisados através do software R, onde foram comparados os valores do método destrutivo com o método não destrutivo de modo a verificar a correlação entre eles, para ambos os adesivos.

A Figura 7 apresenta os gráficos obtidos a partir da correlação do MOE (Módulo de elasticidade estático) e MOE_d (Módulo de elasticidade dinâmico) para os adesivos estudados.

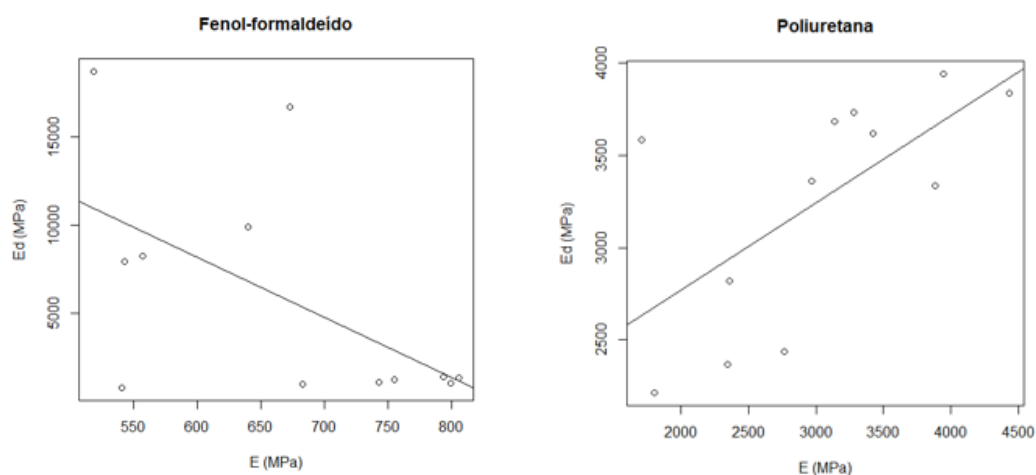


Figura 6: Correlação entre os valores por método destrutivo e não destrutivo

Fonte: Autoria própria

Os valores de R^2 foram 0,49 para os painéis produzidos com fenol-formaldeído e 0,67 para os painéis produzidos com resina poliuretana, indicando, portanto, que houve melhor ajuste dos métodos para o painel de poliuretana a base de óleo de mamona, diferindo estatisticamente o desempenho dos painéis de acordo com o material utilizado na sua composição.

Pizzol, Mantilla y Carrasco (2017) obtiveram R^2 de 0,73 em painéis de madeira compensada. Vun et al. (2004) afirmaram que a maior densificação de painéis particulados com materiais lignocelulósicos permitem melhor propagação das ondas e, portanto, melhor relação entre MOE_d e MOE .

Percebe-se que resultados obtidos neste estudo foram similares aos encontrados em outros estudos com painéis à base de madeira. Inclusive, o painel de poliuretana a base de óleo de mamona apresenta maior densidade em relação ao de fenol-formaldeído, com valores próximos aos obtidos por Vun et al. (2004).

6. CONCLUSÃO

Pode-se concluir que os resultados obtidos para os painéis produzidos com fenol-formaldeído foram comprometidos pela qualidade do adesivo utilizado, ou seja, elevada viscosidade e data de vencimento. Também foram observados problemas de fabricação verificados pela concentração de adesivo, o que não proporcionou boa homogeneização da resina com as partículas de madeira.

Os painéis produzidos com resina poliuretana apresentaram bons resultados, o que indica viabilidade de uso e aplicações propostas pelo documento normativo brasileiro de painéis de partículas. De forma geral, os resultados permitiram concluir que para os testes realizados, os painéis se enquadrassem ao menos como tipo P5 que é para painéis estruturais para uso em condições úmidas.

Um teste complementar realizado neste estudo referiu-se à comparação da rigidez dos painéis por métodos não destrutivo e destrutivo, visando simplificação de caracterização dos painéis pelas indústrias, o que indicou a necessidade de ajustes para a viabilidade do método.

Pôde-se perceber nesta pesquisa que os valores ainda apresentam divergência entre o método destrutivo e não destrutivo, o que mantém o método não destrutivo ainda impraticável à aplicação industrial, porém, o modelo segue indicando vantagens frente ao modelo destrutivo, o que o torna possivelmente viável à aplicação no futuro, mas para isso se faz necessário o desenvolvimento de novas pesquisas neste sentido de modo a melhorar o modelo de maneira que o torne praticável.

REFERÊNCIAS

- Alberto M. M. M. **Efeito da geometria das partículas e da densidade, sobre as propriedades dos painéis estruturais "Waferboards"**. 1992. 176 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1992. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/2241/Efeito%20da%20geometria%20das%20part%3fculas%20e%20da%20densidade%2c%20sobre%20as%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 19 jan. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. Estudo Setorial 2009 - Ano Base 2008. Curitiba: ABIMCI, 2009, p. 45.
- 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 PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF 2011**: ano base 2010. Brasília, DF: ABRAF, 2011. 130 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF 2012: ano base 2011**. Brasília, DF: ABRAF, 2012. 51 p.
- CABRAL, Carla Priscilla Távora et al. Efeito do tipo de chapa de partículas nas propriedades físicas e mecânicas. **Floresta Ambiente**. Seropédica, v. 23, n. 1, p. 118-123, Mar. 2016. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2179-80872016000100118&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 17 jan. 2021.
- COUTO, J. P. M.; NASCIMENTO, M. F.; AQUINO, V. B. de M.; PANZERA, T. H.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. Painel MDP com resina poliuretana

à base de óleo de mamona com adição de cimento. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 20, n. 3, p. 661-669, jul./set. 2020.

DIAS, F. M. **Aplicação de resina Poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira compensada e aglomerada**. 2005. 178 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência e Engenharia dos Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-31082009-105836/publico/FabricioMouraDiasD.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2020.

DINHANE, Fernanda Christiane Rossetto. **Propriedades físico-mecânicas de painéis de MDP (medium density particleboard) constituído de bambu e fibra de coco**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia, Bauru, 2016. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/136308/dinhane_fcr_me_bauru.pdf?sequence=3. Acesso em: 05 fev. 2022.

FIORELLI, Juliano et al. Particulate composite based on coconut fiber and castor oil polyurethane adhesive: An ecoefficient product. **Industrial Crops and Products**, [s. l.] v. 40, p. 69-75, nov. 2012.

GILIO, Caroline Graminha. **Avaliação de painéis de partículas homogêneas empregando-se madeira de hevea brasiliensis e tectona grandis, aglutinadas com adesivo poliuretano derivado de óleo de mamona**. 2020. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2020. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/192279/gilio_cg_me_ilha.pdf?sequence=3&isAllowed=y. Acesso em: 15 jan. 2021.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório IBÁ 2020**. Brasília: IBÁ, 2020. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2020.

IWAKIRI, Setsuo *et al.* Produção de compensados de *Pinus taeda* e *Pinus oocarpa* com resina fenol-formaldeído. **Cerne**, Lavras, v. 8, n. 2, p. 092-097, 2002.

IWAKIRI, S. *et al.* Resíduos de serrarias na produção de painéis de madeira aglomerada de eucalipto. **Scientia Agraria**, v. 1, n. 1, p. 23-28, 2000.

JESUS, José Manoel Henriques de. **Estudo do adesivo poliuretano à base de mamona em madeira laminada colada (MLC)**. 2000. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-16092016-161024/publico/Tese_Jesus_JoseMH.pdf. Acesso em: 10 dez. 2020.

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

MICHELON, Anderson Luiz da Silva. **Estudo comparativo de dois tipos de painéis de MDP: com adição de papel impregnado e lâminas de bambu**. 2011.

OLIVEIRA, Renato Cardoso de. **Produção e avaliação de painéis de partículas de eucalipto e couro com adesivo poliuretano derivado de óleo de mamona**. 2019. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2019. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/190690>. Acesso em: 18 jan. 2021.

PAES, J. B. *et al.* Qualidade de chapas de partículas de *pinus elliottii* coladas com resina poliuretana sob diferentes combinações de pressão e temperatura. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 3, p. 551-558, 2011.

PAZETTO, V. M. DE F.; DEL MENEZZI, C. H. S.; GONÇALEZ, J. C. Efeito da espessura e do vão na deformação em flexão de painéis de madeira. **Cerne**, Lavras, v. 21, n. 4, p. 617–624, 2015.

PIERRE, F. C. **Caracterização físico-mecânica de painéis aglomerados de *eucalyptus grandis* com adição de resíduos industriais madeireiros**. 2010. Viii, 122 f. Tese (Doutorado Curso de Ciência Florestal) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2010. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/106672>. Acesso em: 10 dez. 2020.

PIZZOL, Vinnicius Dordenoni; MANTILLA, Judy Norka Rodo; CARRASCO, Edgar Vladimiro Mantilla. (2017). Mantilla. Caracterização elástica de compensados de madeira utilizados e reutilizados em fôrmas através de excitação por impulso **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 22 (suppl 1), jan. 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/dJPJvZsZrHZc5rkyrbRy4sH/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 dez. 2020.

PRATA, Jose Guilherme. **Desempenho de um sistema de qualidade em uma fábrica de painéis compensados**. 2006. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/3883/Disserta%3f%3fo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 5 dez. 2020.

RIBASKI, N. G. Knowing the forestry sector and perspectives for the future. **Brazilian Journal Of Animal And Environmental Research**, Curitiba, v. 1, n. 1, p. 44-58, jul. 2018. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BJAER/article/view/329/285>. Acesso em: 15 jan. 2021.

SANTOS, Larissa Carvalho et al. Síntese e caracterização de adesivos fenol-formaldeído com adição de lignina residual. In: II CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA, 2015, Belo Horizonte. **Anais [...]**.

Belo Horizonte: CBCTEM, 2015. v. 1, p. 56 - 67. Disponível em: <https://poscienciaflorestal.ufv.br/wp-content/uploads/2020/07/Larissa-Carvalho-Santos.pdf>. Acesso em: 5 dez. 2020.

SANTOS, Larissa Carvalho. **Síntese e caracterização de adesivos lignina-fenol-formaldeído para madeira e derivados**. 2016. 43f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2016. Disponível em: <https://locus.ufv.br/handle/123456789/11565>. Acesso em: 5 dez. 2020.

Silva, José Reinaldo da et al. Painéis: produção de chapas com diferentes espécies de Pinus. **Revista da Madeira**, [s. l.], v. 84, out. 2004. Disponível em: http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=630&subject=. Acesso em: 18 nov. 2020.

SORATTO, D. N. et al. Efeitos da Adição de Cavaco com Casca na Qualidade de Painéis MDP Produzidos com *Eucalyptus* sp. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 04, n. 01, p. 46- 59, 2013.

TEIXEIRA, M. F. **Processo de fabricação de móveis utilizando-se chapa de fibras de madeira de média densidade (MDF ou MDP)**. 2010. 43 f. Monografia (Especialização em Engenharia de Produção) - Universidade Candido Mendes, Rio de Janeiro, 2010.

VIDAL, André Carvalho Foster; HORA, André Barros da. Panorama de mercado: painéis de madeira. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n.40 , p. 323-384, set. 2014.

VUN, Ronnie Y.; WU, Qinglin; MONLEZUN, Charles J. Through-thickness ultrasonic characterization of wood and agricultural fiber composites. **Forest Products Journal and Index**, [s. l.] v. 54, n. 12, p. 233-239, 2004.

ZHONG, Rui; GU, Jin; GAO, Zhenzhong; TU, Dengyun; HU, Chuanshuang. Impacts of urea-formaldehyde resin residue on recycling and reconstitution of

wood-based panels. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, [S. l.], v. 78, p. 60–66, 2017. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0143749617301215>. Acesso em: 10 ago. 2020.