VICBCTEM
Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira
PELOTAS 2024

DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITO PLÁSTICO-MADEIRA PROVENIENTE DE RESÍDUOS DE MADEIRA POR PROPAGAÇÃO DE ONDAS DE EXCITAÇÃO

Gilson Mendonça de Miranda Júnior[1], Glaucinei Rodrigues Corrêa[2], Rejane Costa Alves[1]

[1] Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Jerônimo Monteiro/ES, Brasil; [2] Departamento de Tecnologia do Design, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte/MG, Brasil - gilsonmmjunior@gmail.com

Resumo: A indústria madeireira brasileira gera grandes quantidades de resíduos, exigindo soluções sustentáveis para seu reaproveitamento. Este estudo determinou os valores de módulo de elasticidade (MOE) de compósitos plástico-madeira (CPMs) utilizando resíduos de *Eucalyptus* spp (RE) e poli(acetato de vinila) (PVA). Os RE foram combinados com PVA em diferentes proporções (70%, 60% e 40%) e granulometria de 60 mesh, sendo os compósitos preparados por termoformagem. Os ensaios de flexão estática e excitação por impulso, conforme normas ASTM D790-17 e ASTM E1876-06, caracterizaram os compósitos. Os resultados destacaram que o MOE dinâmico se comportou de maneira similar ao estático, com os CPMs contendo 60% RE demonstrando os maiores MOEs. A análise revelou uma forte relação entre MOE dinâmico e estático, com R^2 de 91,4%.

Palavras-chave: compósitos, resíduos, eucalipto, poli(acetato de vinila)

DEVELOPMENT AND CHARACTERIZATION OF WOOD-PLASTIC COMPOSITE FROM WOOD WASTE USING EXCITATION WAVE PROPAGATION

Abstract: The Brazilian timber industry generates large quantities of waste, necessitating sustainable solutions for its reuse. This study determined the modulus of elasticity (MOE) values of wood-plastic composites (WPCs) using Eucalyptus spp. residues (RE) and poly(vinyl acetate) (PVA). RE and PVA were combined in different proportions (70%, 60%, and 40%) and a 60 mesh size, with composites prepared by thermoforming. Static bending and impulse excitation tests, following ASTM standards D790-17 and E1876-06, characterized the composites. The results highlighted that dynamic MOE behaved similarly to static MOE, with WPCs containing 60% RE showing the highest MOE values. The analysis revealed a strong correlation between dynamic and static MOE, with an R^2 of 91.4%.

Keywords: composites, residue, eucalyptus, poly(vinyl acetate)

1. INTRODUÇÃO

A indústria madeireira, baseada no manejo de florestas plantadas, é crucial para a economia do Estado do Espírito Santo. Destacando-se na produção de madeira processada mecanicamente, a indústria registrou um valor bruto de produção de R$ 26,8 bilhões em 2022, correspondendo a 5,8% do total nacional (ABIMCI, 2022). Entretanto, os processos da cadeia produtiva da indústria moveleira geram quantidades significativas de resíduos de madeira, frequentemente mal geridos, o que contribui para que o Brasil seja um dos maiores geradores de resíduos do processamento da madeira (ALMEIDA Jr et al., 2019).

Neste cenário, a produção de compósitos plástico-madeira (CPM) surge como uma alternativa promissora para o reaproveitamento dos resíduos da indústria madeireira capixaba. Este estudo tem como objetivo estimar o valor do módulo de elasticidade desses compósitos utilizando o ensaio não destrutivo de propagação de ondas de excitação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 *Seleção do material*

A matriz selecionada foi o Homopolímero de Acetato de Vinila, um adesivo em emulsão aquosa à base de acetato de polivinila (PVA), cuja concentração varia de 45% a 47%. Este material apresenta-se como um líquido viscoso de tonalidade amarelada, com um teor de sólidos de 45,41% e um peso específico entre 1.060 e 1.100 g/cm³ (FISPQ, 2021). O reforço na preparação do composto consiste em resíduos de madeira de *Eucalyptus* spp, não tratados e provenientes de fontes virgens.

2.2 *Produção do Compósito Plástico-Madeira*

Os resíduos de madeira (RE) foram coletados em uma serraria localizada no Município de Alegre, Espírito Santo, e submetidos a um processo de secagem em estufa a 100°C por 24 horas, antes de serem triturados em um moinho de facas, conforme ilustrado nos passos I e II da Figura 2. Após a trituração, os resíduos foram peneirados utilizando um peneirador automático com malhas de 20, 35 e 60 mesh, sendo selecionadas as frações granulométricas retidas na malha de 60 mesh (passos III, IV e V na Figura 2).

O compósito plástico-madeira foi produzido no Laboratório de Experimentação Tridimensional (LET) da Escola de Arquitetura e Design da Universidade Federal de Minas Gerais, utilizando uma prensa hidráulica Bovenau, modelo P30000, com capacidade de 30 toneladas. O molde empregado possui uma área de 289 cm^2, resultando em placas com dimensões de 170 x 170 x 6 mm (largura, comprimento e espessura).

As placas foram fabricadas com diferentes proporções de resíduos de eucalipto (70%, 60% e 40%) em granulometrias de 60 mesh, correspondendo aos Tratamentos 1, 2 e 3, respectivamente, totalizando três tratamentos distintos. Estas proporções foram estabelecidas para investigar os efeitos das diferentes concentrações de resíduos de eucalipto nas propriedades das placas.

Os procedimentos para a fabricação das placas seguiram os seguintes passos:

VI) Dosagem precisa: Pesagem do resíduo de eucalipto e da matriz polimérica para atingir a densidade alvo de 650 kg/m^3.

VII) Homogeneização da mistura: A mistura foi completamente homogeneizada para garantir a uniformidade na distribuição dos componentes.

VIII) Aplicação de desmoldante: Utilizou-se o Desmoldante PURA 28014W da Chem Trend nos moldes superiores e inferiores, para evitar a aderência do material, seguida pela deposição da mistura nos moldes.

Durante a etapa de prensagem (IX), foram realizados dois subpassos:

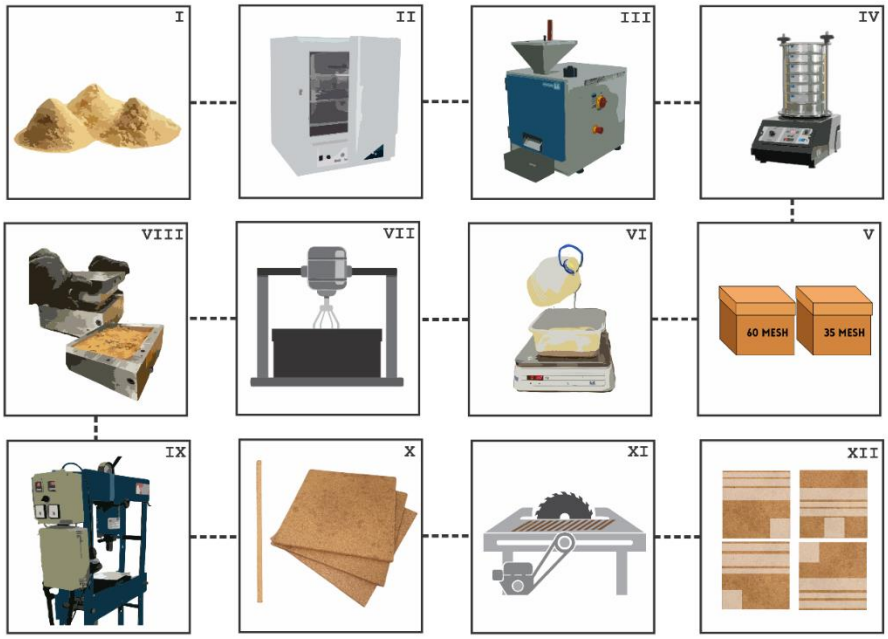
a) Prensagem inicial: Uma força inicial de 8 a 10 toneladas foi aplicada à temperatura de 150°C, repetindo-se o procedimento até a remoção completa do ar.

b) Prensagem final: Uma força final de 20 toneladas foi aplicada à temperatura de 150°C por 5 minutos para consolidar o material e garantir a adequada compactação das placas.

Após a prensagem, as placas foram cuidadosamente removidas dos moldes para posterior análise (passo X). Em seguida, os corpos de prova para os ensaios de

ultrassom e flexão estática foram confeccionados de forma aleatória no Laboratório de Usinagem da Madeira (Marcenaria) do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira - UFES (passos XI e XII). A aleatoriedade na sequência de confecção visou minimizar a influência de fatores externos e garantir resultados mais precisos.

Figura 1. Fluxograma do Processo de Fabricação do Composto Plástico-Madeira (CPM)



Fonte: (Autor)

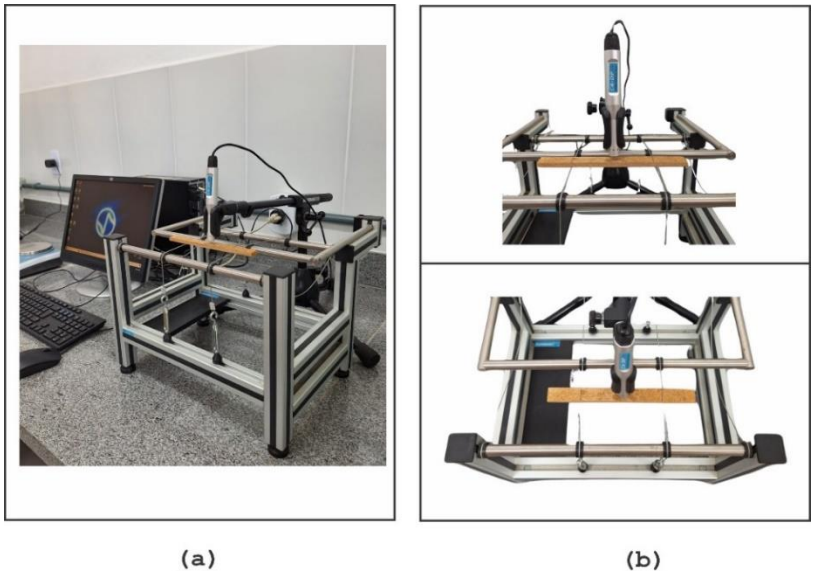
2.3 *Ensaio de flexão estática*

O ensaio de flexão estática foi conduzido utilizando a máquina de ensaios universal EMIC, modelo DL 10000, com capacidade máxima de 100 kN, no Laboratório de Anatomia da Madeira/ DCFM/ UFES. O procedimento adotado seguiu as especificações da norma ASTM D790-17 (2017), utilizando corpos de prova com geometria definida pelo "Procedimento A". A célula de carga empregada foi de 450 kgf, com uma taxa de deformação de 4 mm/min.

2.4 *Ensaio de propagação de ondas de excitação*

As amostras foram caracterizadas em relação ao modo de vibração flexional. Para isso, foi utilizado um suporte ajustável para barras, um pulsador manual, um captador direcional e um software específico, conforme Fig.2.

Figura 2. Ensaio: (a) Equipamento Sonelastic; (b) Realização do ensaio de propagação de ondas de excitação.



Fonte: (Autor)

O ensaio de excitação por impulso utiliza a norma ASTM E1876 (2006) como referência (SONELASTIC, 2024). O instrumento de teste Sonelastic é empregado para determinar os módulos elásticos a partir das frequências naturais de vibração do corpo de prova (CP). As frequências são excitadas manualmente, e a resposta acústica é captada por um sensor acústico. Em seguida, os módulos elásticos dinâmicos são calculados pelo software.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios e as informações de agrupamento obtidos nos ensaios de flexão (estática) e excitação por impulso (dinâmico) para os compósitos plástico-madeira, determinados utilizando o método de Tukey com um intervalo de confiança de 95%, estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Valores Médios e Agrupamentos dos Ensaios de Flexão e Sonelastic para Compósitos Plástico-Madeira (Método de Tukey, 95% IC)

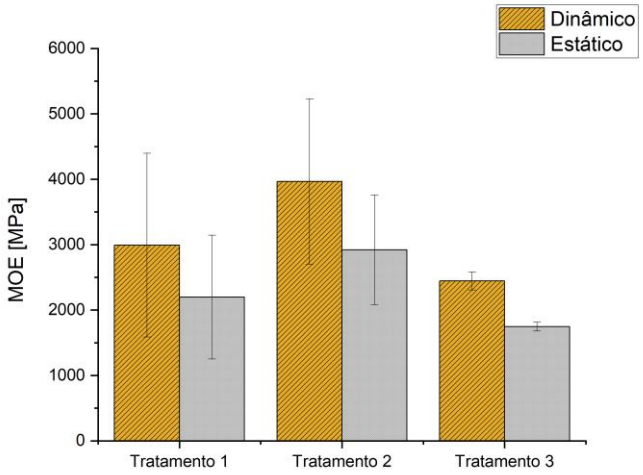
Tratamento	MOE Dinâmico	MOE Estático

70% RE 30% PVA	2992 (1404) A B	2198 (946) A B
60% RE 40% PVA	3965 (1264) A	2921 (840) A
40% RE 60% PVA	2444,6 (136,3) B	1747,1 (69,1) B

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

Os resultados apresentados na Tabela 1 indicam que, para os módulos de elasticidade estudados, o tratamento com 60% de resíduos de eucalipto (RE) e 40% de acetato de polivinila (PVA) apresentaram maiores valores médios, classificando-se no grupo A. A análise dos agrupamentos indica que o Tratamento 2 (grupo A) é significativamente diferente do Tratamento 3 (grupo B), enquanto o Tratamento 1 está entre os dois grupos (A e B). Essa tendência é evidenciada na Figura 3, que mostra os valores médios do módulo de elasticidade de cada tratamento.

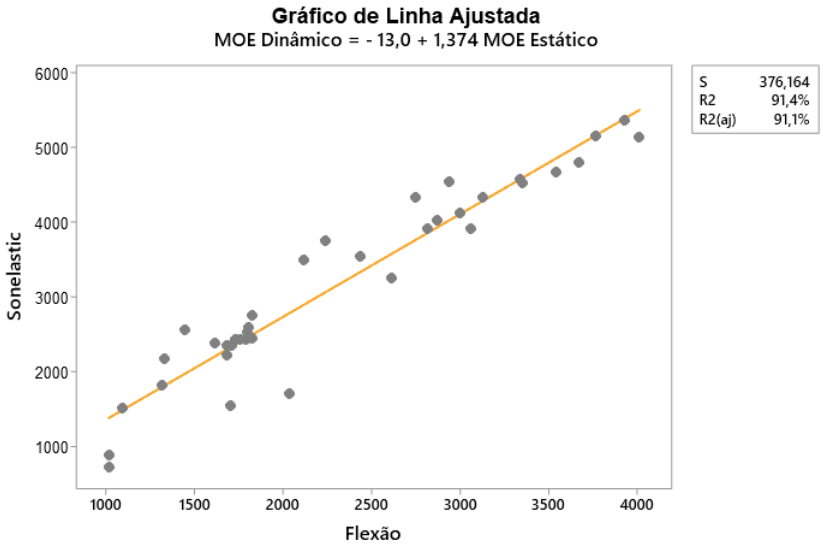
Figura 3. Valores médios de módulo de elasticidade



Fonte: (Autor)

Os resultados dos ensaios de flexão estática realizados por Zoch (2013) indicam que, para resíduos de *Eucalyptus* spp. e *Tabebuia* spp. (Ipê) com matriz de polipropileno (PP), foram obtidos valores de módulo de elasticidade estático (MOE) de 452 MPa para compósitos contendo 30% de madeira, 1303 MPa para compósitos com 40% de madeira e 2330 MPa para compósitos com 50% de madeira. Em comparação, nossos compósitos com 60% RE e 40% PVA apresentaram um MOE estático de 2921 MPa, indicando um desempenho superior. Ao correlacionar com a proporção de 40% de resíduos, nossos resultados de 1747 MPa são comparáveis aos valores relatados, demonstrando a eficácia e a competitividade de nossa abordagem na fabricação de compósitos.

Figura 4. Análise de Regressão Polinomial: MOE Dinâmico x MOE Estático



Fonte: (Autor)

A análise de regressão polinomial revelou uma relação significativa forte entre o Módulo de Elasticidade dinâmico e estático, com um coeficiente de determinação (R^2) de 91,4%. Esse resultado oferece uma alternativa eficaz e acessível para estimar as propriedades elásticas dos materiais, sem a necessidade de testes dinâmicos complexos e destrutivos.

4. CONCLUSÃO

A produção de compósitos plástico-madeira (CPMs) a partir de resíduos de madeira da indústria madeireira capixaba, combinados com poli(acetato de vinila) (PVA), mostrou-se uma solução sustentável e eficiente para o reaproveitamento desses resíduos. Os ensaios realizados demonstraram que a proporção de resíduos de *Eucalyptus* spp (RE) e PVA influenciam significativamente as propriedades dos CPMs. O compósito com 60% de RE e 40% de PVA apresentou o melhor desempenho, oferecendo os melhores resultados de MOE. O ensaio de propagação de ondas de excitação mostrou ser uma ferramenta eficiente para estimar os valores de MOE estáticos.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) pelo incentivo à publicação deste trabalho em congresso.

6. REFERÊNCIAS

ABIMCI, Brazilian Association of Mechanically Processed WOOD Industry. Sectoral Study 2022: 2021 base year, p. 1-172, 2022.

ALMEIDA Jr. et al. Contribution of ecodesign to the furniture sector: analysis of residues from the furniture pole of Ubá. Mediação. N 09.2019, 2019. (https://revista.uemg.br/index.php/mediacao/article/view/4334).

ASTM D790-17, Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. ASTM International, 2017 (www.astm.org).

FISPQ, Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos. 2021. Eurocryl 5300. 9f. Euroamerican do Brasil, Jandira, São Paulo, 2021.

SONELASTIC, Advacend Impulse Excitacion Technique. 2024. Disponível em: https://sonelastic.com/pt/fundamentos/introducao-sonelastic.html#:~:text=Os%20Sistemas%20Sonelastic%C2%AE%20est%C3%A3o,uma%20ampla%20gama%20de%20materiais. Acesso em: 10 de julho de 2024.

ZOCH, Vanessa Pozzi. Produção e Propriedades de Compósitos Madeira-Plástico Utilizando Resíduos Minimamente Processados. 2013. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/4840/1/2013_VanessaPozziZoch.pdf. Acesso em: 10 de julho de 2024.