



COMPÓSITO TERMOPLÁSTICO RECICLADO E REFORÇADO COM FIBRAS DE MADEIRA SEM ADITIVOS

Anelise Fraga de JESUS¹, Leiliani Petri MARQUES¹, Ricardo Kirchhof UNFER¹, Paulo Dirceu Gonçalves BILLES¹, Elson MARTINS¹, Mariana PEIXOTO¹, Maura Maria ROTH¹, Jean Burgos GABRIEL¹, Osvaldo Tadeu RODRIGUES JUNIOR¹, Gustavo SIEBERT¹, Marcel Tadashi IZUMI¹, Flávio KIECKOW²

¹ FTA – Faculdade de Tecnologia Assessoritec. R. Marquês de Pombal, 287 – 89227-110 – Iriirú, Joinville-SC.

² URI – Universidade Regional e Integrada do Alto Uruguai e das Missões. Av. Universidade das Missões, 464 – 98802-470 – Saguacu, Universitário, Santo Ângelo-RS.

RESUMO

A madeira plástica vem sendo utilizada para substituir a madeira natural devido à menor necessidade de manutenção e custo. Os resíduos termoplásticos geram preocupações globais, pois são resistentes à degradação natural, resultando no acúmulo de resíduos urbanos e industriais. Esses polímeros ocupam parte dos aterros sanitários, afetando o processo de compostagem e a estabilização biológica. Neste contexto, este trabalho propõe a confecção de um compósito polimérico reciclado e reforçado com fibras de madeira. O objetivo é fornecer uma alternativa para a substituição da madeira e de polímeros virgens em materiais para pisos, janelas e revestimentos externos. O material utilizado na fabricação deste compósito foi composto por fibras de resíduos de madeiras e polietileno de alta densidade (PEAD) reciclado. As amostras foram confeccionadas pelo método de prensagem a quente, utilizando uma prensa hidráulica com controle de temperatura e pressão de 160°C e 9 toneladas-força, durante 5 minutos. Os compósitos poliméricos de madeira (CPM) foram produzidos conforme a Norma ASTM 638 – Tipo IV, com diferentes proporções de PEAD/Serragem (70/30, 60/40 e 50/50). Os resultados indicaram maior resistência mecânica para a formulação 70/30, evidenciando que o CPM pode ser fabricado sem agentes compatibilizantes, o que permite economia de energia e redução nos custos de produção. Este material apresenta potencial para aplicação em revestimentos externos, oferecendo um destino sustentável a resíduos termoplásticos e madeireiros.

Palavras-chave: Compósitos, PEAD, Fibras de Madeira, Serragem, Reciclagem.

1 INTRODUÇÃO

A madeira é um dos materiais mais utilizados pela humanidade, desde a confecção de utensílios domésticos, móveis, estruturas de casas pré-moldadas no sistema construtivo wood

frame.¹ Com o crescimento da utilização destes produtos, começou a ser um motivo de preocupação pelos resíduos gerados na fabricação destes produtos. Dentre esses resíduos temos o pó proveniente de lixamento ou corte, a serragem proveniente do corte e usinagem de peças e a maravalha proveniente do processo de usinagem, furação ou cepilhamento.

Nos últimos anos ^{1,2,3}, pesquisas para reaproveitar esses resíduos têm sido realizadas, como a substituição dos painéis convencionais MDP ^a e MDF ^b na fabricação de estruturas de jardins, no setor da construção civil, na fabricação de interiores de automóveis e no setor moveleiro.⁴ Embora diversos estudos tenham sido realizados sobre essa temática, a ideia de substituir a madeira por compósitos poliméricos de madeira é recente no Brasil, ao contrário da América do Norte, Ásia e Europa, onde esse compósito já é utilizado há anos.

O acúmulo de resíduos urbanos e industriais causa problemas ambientais, especialmente com materiais que apresentam resistência à degradação natural, como os polímeros. Esses problemas ambientais têm levado a sociedade a considerar a necessidade de novos hábitos, recursos e produtos sustentáveis, motivando as indústrias a buscar novas estratégias para seus produtos.⁵

A utilização de plásticos reforçados com fibras naturais para a obtenção de compósitos está se expandindo, com desenvolvimento vantajoso em termos de custo e facilidade de processamento. Compósitos reforçados com fibras sintéticas, como fibras de vidro ou carbono, continuam sendo amplamente utilizados em diversos setores devido à sua rigidez e resistência à tração. No entanto, muitos desses materiais são oriundos de recursos não renováveis, o que torna a aplicação dessas fibras menos favorável.

Este estudo é justificado diante do acúmulo de resíduos urbanos e industriais. O Brasil ocupa a quarta posição em produção de lixo plástico, e esse acúmulo de resíduos prejudica os aterros sanitários, interferindo nos processos de compostagem e dificultando a estabilização biológica. Os resíduos madeireiros, como maravalha, serragem e pó, apresentam destinos distintos, com resíduos de granulometria maior sendo vendidos para cobertura de solo ou forragem, enquanto os de granulometria menor não têm destinação adequada.

A pesquisa tem por objetivo produzir um compósito polimérico de madeira (CPM) a partir de resíduos de madeira e polímeros reciclados. O reaproveitamento desses resíduos tem o potencial de proporcionar uma vantagem ambiental ao servir como insumo em outro processo

^a MDP – *Medium Density Particleboard* (painel de aglomerado constituído de partículas de madeira aglutinadas).

^b MDF – *Medium Density Fiberboard* (placa de fibra de média densidade).

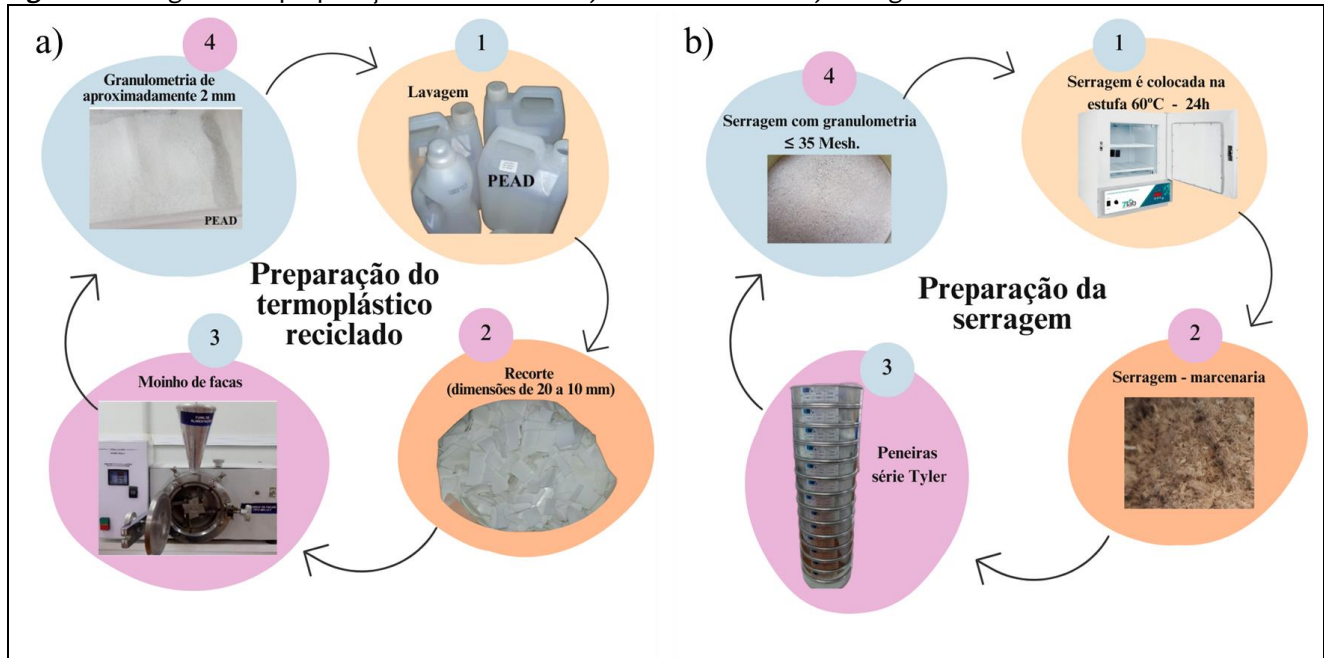
produtivo, reduzindo a quantidade de resíduos descartados no meio ambiente. Parte desses resíduos é queimada em olarias ou utilizada para geração de energia, o que resulta na emissão de gases que impactam negativamente o meio ambiente.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a produção do compósito polimérico de madeira (CPM), utilizou-se polietileno de alta densidade (PEAD), um polímero termoplástico reciclado proveniente de embalagens de produtos de limpeza, e serragem obtida de resíduos de marcenaria. A serragem incluía resíduos das espécies Eucalipto, Pinus, Cedrinho e Itaúba.

Na Figura 1 (a) é apresentado um fluxograma da preparação do PEAD reciclado. Inicialmente, as embalagens foram lavadas com esponja, água e sabão, e deixadas para secagem natural. Em seguida, foram cortadas em dimensões variando de 10 a 20 mm, visando facilitar a moagem em moinho de facas tipo Willey (Eco-Educacional). Esse procedimento teve como finalidade obter partículas de diâmetro reduzido, com o intuito de melhorar a adesão entre o material matriz e o reforço.

Figura 1. Fluxograma da preparação dos materiais: a) PEAD reciclado e b) Serragem.



Fonte: os autores.

Na Figura 1 (b) é apresentado um esquema da preparação da serragem. A serragem foi inicialmente submetida à secagem em estufa (SP Labor) a 60°C por 24 horas. Em seguida, uma amostra de aproximadamente 100 g foi retirada para análise granulométrica, utilizando peneiras da Série Tyler. O sistema Tyler é composto por quatorze peneiras: 200, 150, 100, 65, 48, 35, 28, 20, 14, 10, 8, 6, 4 Mesh e o prato. As peneiras foram organizadas em ordem decrescente de granulometria, e o peneiramento foi dividido em duas etapas devido à limitação de espaço no agitador de peneiras eletromagnético. Na primeira etapa, foram utilizadas oito peneiras (4, 6, 8, 10, 14, 20, 28 Mesh e a panela). A amostra de 100 g de serragem foi peneirada a alta velocidade (10 rpm) por 20 minutos. Após essa etapa, o material retido na panela foi transferido para as peneiras restantes (35, 48, 65, 100, 150, 200 Mesh) e submetido ao mesmo processo de agitação.

Para a confecção dos compósitos poliméricos de madeira (CPM) foi estabelecido que seriam utilizadas as partículas que possuísem uma granulometria igual ou menor que 35 Mesh.

Para a fabricação dos compósitos poliméricos de madeira, foram adicionados 30%, 40% e 50% em peso de material de reforço (serragem) à matriz (PEAD). Inicialmente, os materiais foram pesados e misturados em béqueres. Após a mistura, foram prensados para a confecção das chapas. As chapas foram produzidas pelo método de prensagem a quente, com controle de temperatura e pressão, utilizando uma temperatura de 160 °C, pressão de compressão de 9 toneladas-força e um tempo de prensagem de 5 minutos, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2. Fluxograma da preparação dos compósitos poliméricos de madeira.



Fonte: os autores.

2.1 CARACTERIZAÇÕES

Os ensaios mecânicos seguiram a norma ASTM D638 – Tipo IV, que define o método padrão para propriedades de tração de plásticos, sejam eles reforçados ou não. O ensaio foi realizado na máquina universal de ensaios EMIC DL 30000, equipada com uma célula de carga de 2 kN e uma velocidade de 5 mm/min.

O teste de absorção de água foi de acordo com a norma ASTM D570, que define o método padrão para absorção de água. Os ensaios foram realizados com 24 horas de imersão para avaliar a influência do tempo de exposição à água nos resultados. Após a imersão em temperatura ambiente, foi realizado o ensaio de tração para verificar o impacto da água na resistência à tração do compósito polimérico de madeira (CPM).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os resultados do ensaio de tração dos compósitos poliméricos reforçados com serragem, antes e após a imersão em água. Observa-se que, à medida que a fração de material de reforço aumenta, o limite de resistência à tração (LRT) diminui em comparação com a amostra de referência (PEAD puro), resultando em uma redução de até 26% no LRT. Essa diminuição era esperada, pois, embora a madeira apresente resistência à tração, trata-se de um material anisotrópico, cuja resistência varia conforme a direção das forças aplicadas. Além disso, o aumento do material reforço poderia estar prejudicando na uniformidade da mistura, e afetando negativamente a adesão entre a matriz e o reforço.

Tabela 1. Resultados do ensaio de tração.

Amostras	Matriz (%)	Reforço (%)	LRT (MPa)	LRT (MPa)*
P	100	-	11,10 ± 0,68	-
P30	70	30	8,83 ± 0,51	8,12 ± 0,44
P40	60	40	8,50 ± 0,34	7,26 ± 0,44
P50	50	50	8,19 ± 0,39	5,69 ± 1

Nota: LRT(MPa)* - limite de resistência a tração das amostras* que ficaram imersas em água por 24h. Fonte: os autores.

Conforme Zoch ⁶, o aumento na concentração de fibras de madeira reduz a maleabilidade do compósito, e para aplicações que exigem maior rigidez, recomenda-se uma

fração entre 50% e 70% de serragem. No entanto, para aplicações que demandam flexibilidade, é indicado manter a concentração de madeira abaixo de 50%. Yamaji ⁷ também observou que o aumento da fração de reforço reduziu a resistência à tração tanto em compósitos com serragem quanto com pó de lixa. O aumento das propriedades mecânicas depende de fatores como a dispersão das partículas de reforço, a aderência entre as fases matriz e reforço, e a distância intermolecular. A adesão entre matriz e reforço é crucial para o desempenho dos compósitos, melhorando significativamente suas propriedades mecânicas.⁸

As amostras com reforço submetidas à imersão em água foram analisadas para avaliar a influência desse processo nas propriedades mecânicas. Os resultados indicam uma redução de 48,7% no LRT para a amostra com 50% de reforço, em comparação com a amostra pura. Já a amostra com 30% de reforço mostrou um desempenho semelhante ao da correspondente que não foi imersa, sugerindo que, nesse caso, a imersão em água não causou alterações significativas nas propriedades mecânicas. Esse comportamento pode estar associado a uma secagem inadequada da serragem antes da fabricação dos corpos de prova, o que pode ter deixado umidade residual nas fibras, mesmo após a secagem em estufa.⁹

A imersão de materiais em água pode provocar alterações nas suas propriedades físicas e mecânicas. Nos compósitos poliméricos de madeira (CPM), o comportamento hidrofílico das fibras naturais é um fator crucial, pois essas fibras possuem alta capacidade de absorver umidade, o que pode influenciar de maneira negativa nas propriedades finais dos compósitos.¹⁰

Na Tabela 2 são apresentados os resultados da absorção de água para diferentes composições de compósitos. Observa-se que, à medida que aumenta o percentual de serragem utilizada como reforço, há um aumento na absorção de água, o que resulta em uma menor resistência à tração. Esse comportamento era esperado, visto que a maior quantidade de fibras hidrofílicas tende a absorver mais água, reduzindo a adesão entre a matriz e o reforço e, conseqüentemente, afetando as propriedades mecânicas do compósito.

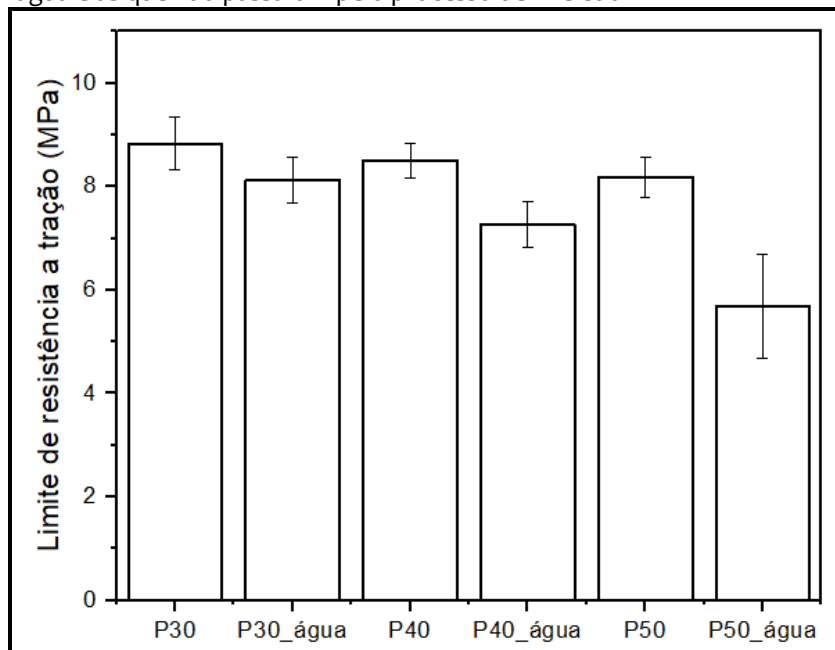
Tabela 2. Teste de absorção de água.

Matriz (%)	Reforço (%)	Peso inicial (g)	Amostra úmida (g)	Porcentagem (%)
70	30	0,79 ± 0,08	0,82 ± 0,09	3,44 ± 0,56
60	40	0,88 ± 0,06	0,93 ± 0,06	5,05 ± 0,64
50	50	0,93 ± 0,13	0,99 ± 0,15	6,65 ± 1,81

Fonte: os autores.

Na Figura 3 é ilustrada a comparação entre o LRT das amostras submetidas à imersão em água e aquelas que não passaram por esse processo. Observa-se que, na composição com 50% de reforço, o LRT foi cerca de 30% menor em comparação com as amostras não imersas. Os dados indicam que o aumento na concentração de serragem eleva a porcentagem de absorção de água, o que está correlacionado com a diminuição da resistência mecânica observada nos ensaios de tração. Isso se deve ao fato de que a absorção de água pelas fibras naturais promove um aumento da umidade interna do compósito, afetando a interface matriz-reforço e diminuindo a capacidade do material de suportar cargas mecânicas. ¹¹

Figura 3. Comparação do LRT entre as amostras submetidas à imersão em água e as que não passaram pelo processo de imersão.



Fonte: os autores.

4 CONCLUSÃO

A principal dificuldade deste trabalho foi obter uma boa adesão entre o reforço (serragem) e a matriz polimérica (PEAD) nos compósitos, especialmente sem o uso de agentes compatibilizantes como o anidrido maleico. Os resultados mostraram que formulações com 50% de material de reforço apresentaram maior fragilidade devido à falta de homogeneidade na mistura. Isso sugere que a adição de um agente compatibilizante poderia melhorar a uniformidade e a adesão entre os materiais.

Apesar das limitações, foi possível fabricar compósitos sem aglutinantes ou compatibilizantes, desde que a fração de reforço fosse inferior a 50%, o que oferece uma vantagem econômica, especialmente ao utilizar polímeros reciclados. A umidade foi identificada como um fator crítico que afeta a resistência mecânica, destacando a necessidade de tratar as fibras antes da produção.

O compósito fabricado mostrou potencial para uso em painéis de fundo de móveis, reduzindo o risco de mofo, o que é benéfico para a saúde, especialmente para pessoas alérgicas. O uso de materiais reciclados reforça o caráter sustentável do produto.

Para pesquisas futuras, recomenda-se o uso de extrusora no processamento, visando melhorar a homogeneidade e avaliar a substituição de painéis convencionais como o MDF, com base em normas como a ANSI A208.

REFERÊNCIAS

- [1] ECKER, T. W. P.; MARTINS, V. **Comparativo dos sistemas construtivos steel frame e wood frame para habitações de interesse social**. 2014. 153 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco.
- [2] CATTO, A. L. **Estudo da compatibilização da matriz poliolefínica em compósitos termoplásticos a partir de resíduos pós-uso**. 2012. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- [3] ALVES, P. S. *et al.* Estudo e caracterização do compósito de plástico reciclado e resíduo de mdf. **Vivências**, v. 18, n. 37, p. 337-352, 2022.
- [4] KIELING, A.; PEREIRA, S.; DOS SANTOS, M. C. Compósitos de madeira plástica: considerações gerais. **Scientia Amazonia**, v. 8, n. 1, p. B1-B14, 2019.
- [5] PISANU, L. *et al.* Análise de viabilidade econômica de uma spin-off para produção de compósitos sustentáveis. **Custos e Agronegócio**, v. 13, p. 183-202, 2017.
- [6] ZOCH, V. P. **Produção e propriedades de compósitos madeira-plástico utilizando resíduos minimamente processados**. 2013. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade de Brasília, Brasília.
- [7] YAMAJI, F. M.; BONDUELLE, A. Utilização da serragem na produção de compósitos plástico-madeira. **Revista Floresta**, v. 34, n. 1, p. 59-66, 2004.

- [8] MONDARDO, F. H. **Compósitos de polipropileno e farinha de madeira**. 138 f. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- [9] SCHAEGLER, F. **Estudo da utilização de serragem de eucalipto como reforço de polipropileno**. 2015. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- [10] MARINUCCI, G. **Materiais compósitos poliméricos: fundamentos e tecnologia**. São Paulo: Artliber, 2011.
- [11] DA SILVA, R. V. *et al.* Development of a hybrid composite with synthetic and natural fibers. **Matéria** (Rio de Janeiro), v. 13, p. 154-161, 2008.