

**Propriedades físico-mecânicas de compósitos polímero-fibra produzido por moldagem  
prensada**

**Physical-mechanical properties of polymer-fiber composites produced by pressed  
molding**

**Propiedades físico-mecánicas de los compuestos de fibra de polímero producidos por  
moldeo prensado.**

Recebido: 28/05/2020 | Revisado: 07/06/2020 | Aceito: 09/06/2020 | Publicado: 21/06/2020

**Érick Afonso Agnes**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5310-7598>

Universidade Estadual do Centro-Oeste, Brasil

E-mail: [erickagnes@gmail.com](mailto:erickagnes@gmail.com)

**Éverton Hillig**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7895-2453>

Universidade Estadual do Centro-Oeste, Brasil

E-mail: [hillig@hotmail.com](mailto:hillig@hotmail.com)

**Resumo**

Objetivou-se avaliar o processo de produção de compósitos polímero-fibra, por meio de prensagem, utilizando polietileno de baixa densidade (PEBD) reforçados com farinha de madeira em duas granulometrias e fibras de coco. Foram avaliadas as propriedades físico-mecânicas dos moldes produzidos. No processo utilizou-se como matriz PEBD em uma mistura virgem e reciclado reforçado com farinha de madeira de pinus “grossa” obtida em indústrias florestais da cidade de Irati-PR, farinha de madeira de pinus “fina” e fibra de coco cedidas pela Inbrasfarma Ltda. O PEBD foi misturado a cada um dos reforços, juntamente com um agente de acoplamento (Polybond 3009), sendo em seguida, as misturas processadas com uso de uma extrusora dupla-rosca. A mistura foi moldada por compressão, resultando numa série de corpos-de-prova prensados, os quais foram submetidos a ensaios de tração, flexão e dureza. A avaliação dos resultados demonstrou que a adição do reforço madeira ao plástico, em geral, aumentou as propriedades mecânicas do compósito enquanto o reforço fibra de coco foi favorável apenas à flexão. Houve diferenças significativas das propriedades dos compósitos em função das composições estudadas.

**Palavras-chave:** Plástico-madeira; Farinha de madeira; Fibra de coco; PEBD.

## Abstract

The objective was to evaluate the production process of polymer-fiber composites, by means of pressing, using low density polyethylene (LDPE) reinforced with wood flour in two granulometries and coconut fibers. The physical and mechanical properties of the molds produced were evaluated. In the process, it was used as a LDPE matrix in a virgin and recycled mixture reinforced with “thick” pine wood flour obtained in forestry industries in the city of Irati-PR, “fine” pine wood flour and coconut fiber provided by Inbrasfarma Ltda. The LDPE was mixed with each reinforcement, together with a coupling agent (Polybond 3009), and the mixtures were then processed using a twin screw extruder. The mixture was molded by compression, resulting in a series of pressed specimens, which were subjected to tensile, bending and hardness tests. The evaluation of the results showed that the addition of wood reinforcement to plastic, in general, increased the mechanical properties of the composite while the coconut fiber reinforcement was favorable only to flexion. There were significant differences in the properties of the composites due to the studied compositions.

**Keywords:** Plastic-wood; Wood flour; Coconut fiber; LDPE.

## Resumen

El objetivo fue evaluar el proceso de producción de compuestos de fibra de polímero, mediante prensado, utilizando polietileno de baja densidad (PEBD) reforzado con harina de madera en dos granulometrías y fibras de coco. Se evaluaron las propiedades físicas y mecánicas de los moldes producidos. En el proceso, se usó como una matriz de PEBD en una mezcla virgen y reciclada reforzada con harina de madera de pino "espesa" obtenida en industrias forestales en la ciudad de Irati-PR, harina de madera de pino "fina" y fibra de coco proporcionada por Inbrasfarma Ltda. El PEBD se mezcló con cada refuerzo, junto con un agente de acoplamiento (Polybond 3009), y las mezclas se procesaron luego usando una extrusora de doble tornillo. La mezcla se moldeó por compresión, dando como resultado una serie de muestras prensadas, que se sometieron a pruebas de tracción, flexión y dureza. La evaluación de los resultados mostró que la adición de refuerzo de madera al plástico, en general, aumentó las propiedades mecánicas del material compuesto, mientras que el refuerzo de fibra de coco fue favorable solo a la flexión. Hubo diferencias significativas en las propiedades de los compuestos debido a las composiciones estudiadas.

**Palabras clave:** Madera plastica; Jarina de madera; Fibra de coco; PEBD.

## 1. Introdução

Os resíduos de madeira e plástico causam extrema preocupação com relação ao seu destino no meio ambiente, tendo em vista a alta quantidade de material gerado pelas indústrias, afetando a sustentabilidade dos recursos naturais. Os resíduos sólidos de origem

vegetal, depois dos tratamentos químicos que passam a ter na indústria madeireira, são a causa de fortes impactos sobre o meio-ambiente, principalmente para os meios hídricos e biológicos (Ali & Sreekrishnan, 2001).

O plástico tem maiores consequências, em virtude do grande acúmulo de resíduos e a sua difícil e lenta degradação e por se tratar de um bem duradouro, tende a permanecer por anos onde foi depositado. Além disso, seus resíduos quando mal descartados podem ser prejudiciais à saúde humana e animal, devido à presença de substâncias químicas que as indústrias fazem uso para a sua fabricação (de Guamá, Costa, Rocha, Isensee & Futuro, 2008).

Diversas tentativas em todo o mundo, principalmente em países desenvolvidos, são realizadas para se obter vantagens com a utilização desses resíduos, especialmente com a necessidade de matérias-primas alternativas para a indústria (Winandy, Stark, & Clemons, 2004).

Diante do constante aumento na produção de resíduos sólidos pelas indústrias madeireiras, faz-se necessária a utilização destes no intuito de valorizá-los e reduzir os impactos ao meio ambiente. Os resíduos gerados se aplicam a diversas finalidades, como produção de painéis particulados, que requer a utilização de diversos tipos de matéria-prima (Winandy, et al., 2004).

Segundo Callister Junior e Rethwisch (2002), compósito é um material formado por mais de um constituinte, que preserva as melhores propriedades dos componentes e possuem propriedades superiores à de cada componente independente em sua constituição. O compósito polímero-fibra é a combinação de plástico e madeira, que apresenta utilização crescente e consistindo de uma mistura de resíduos de madeira e material polimérico que resulta em um produto com novas propriedades, além da redução na quantidade de resíduos sólidos e da conservação dos recursos naturais (Soury, Behraves, Esfahani & Zolfaghari, 2009).

A produção deste tipo de compósito utilizando serragem de madeira e resíduos plásticos tem aumentado significativamente devido a sua vasta aplicabilidade, como construção de cercas, bancos, paredes, paisagismo, janelas, construção civil, etc., também pela facilidade de acesso a matéria prima, tendo em vista que o destino deste material seria a queima ou descarte (Winandy, et al., 2004).

O processo de prensagem, pelo qual se produz compósitos polímero-fibra, consiste na deposição do material compósito nas cavidades de um molde, sendo este fechado, prensado, submetido a temperatura e pressão previamente estabelecidas, retirado para resfriamento,

podendo este ser desmontado para o acabamento. Os moldes necessitam de um sistema de fechamento mecânico, que pode se dar por prensagem a quente ou prensagem a frio (Teixeira, 2005).

Neste trabalho objetivou-se avaliar o processo de produção de compósitos polímero-fibra, por meio de prensagem, utilizando polietileno de baixa densidade (PEBD) reforçados com farinha de madeira em duas granulometrias e fibras de coco.

## **2. Metodologia**

O estudo foi realizado no laboratório de Tecnologia da Madeira da UNICENTRO, campus de Irati-PR, juntamente com o Laboratório de Polímeros da Universidade de Caxias do Sul na cidade de Caxias do Sul- RS.

Na confecção dos corpos de prova utilizou-se farinha de casca de coco e farinha de madeira de pinus (*Pinus taeda*) em duas diferentes granulometrias. A farinha de madeira grossa foi obtida de resíduos florestais na cidade de Irati-PR, enquanto a farinha fina e a farinha de casca de coco foram cedidas pela Indústria Brasileira de Farinha de Madeira Ltda. (INBRASFARMA), os quais foram caracterizados em função da granulometria e da umidade.

O material foi seco em estufa à temperatura de 70 °C por 48 horas. Após seco, foi moído em triturador modelo TRF400 SUPER, passando por uma peneira de 3 mm. Com isso, obteve-se partículas mais homogêneas. Em seguida, as partículas foram peneiradas em um agitador mecânico com peneira para análise e controle granulométrico de malha de 1 mm (16TY) por 10 minutos em frequência 15, o material que passou pela malha (menor que 1 mm) é a granulometria denominada grossa utilizada no trabalho.

Na fase matricial dos compósitos foi utilizado polietileno de baixa densidade virgem, misturado com polietileno de baixa densidade reciclado. Para melhorar a interação entre a fase de fibra e matriz foi utilizado o agente de acoplamento de nome comercial Polybond 3009. As propriedades do Polybond bem como do PEBD são apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1** - Propriedades do PEBD e Polybond.

Propriedade	Normatização	PEBD	Polybond
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	ASTM D 1505	0.918	0.950
Índice de fluidez 190°C / 2,16 kg	ASTM D 1238	8.3	5.0
Temperatura de amolecimento (°C)	ASTM D 1525	86	---
Ponto de fusão (°C)	-----	---	127
Módulo de elasticidade - Flexão (Mpa)	ASTM D 790	200	---

Fonte: Braskem, 2015; Addivant, 2013.

Para a produção dos compósitos utilizou-se uma extrusora dupla-rosca co-rotante disponível no Laboratório de Polímeros da Universidade de Caxias do Sul. O processo de extrusão se deu pela: preparação da matéria-prima; plastificação (transformação do material sólido para a forma fluída por meio de aquecimento e força); vazão controlada (passagem do material através de uma matriz que dá a forma aproximada do produto); medição e corte do produto; resfriamento do material moldado e calibração (controle das dimensões do produto antes que o material endureça).

Com relação ao modelo experimental, tendo por objetivo avaliar os compósitos produzidos com diferentes características e relacioná-las com as propriedades avaliadas, foram produzidos corpos de prova variando tipo de serragem e granulometria, como demonstrado na Tabela 2.

**Tabela 2** - Composição dos tratamentos variando os tipos de serragem e granulometria.

Trat.	Polímero	Tipo Serragem (40%)	Granulometria
1	Mistura de PEBD <sup>1</sup>	-	-
2	Mistura de PEBD <sup>1</sup>	Pinus	Fina
3	Mistura de PEBD <sup>1</sup>	Pinus + Coco <sup>2</sup>	Fina
4	Mistura de PEBD <sup>1</sup>	Pinus	Grossa
5	Mistura de PEBD <sup>1</sup>	Pinus + Coco <sup>2</sup>	Grossa

<sup>1</sup> 50% Polietileno de baixa densidade virgem + 50% Polietileno de baixa densidade reciclado.

<sup>2</sup> 20% farinha de pinus e 20% farinha de casca de coco, com base em peso. Fonte: Autores.

A moldagem foi realizada por meio de prensa disponível no Laboratório de Painéis de Madeira da UNICENTRO, utilizando moldes de aço das placas e corpos de prova, seguindo dimensões estabelecidas pelas normas ISO-527/12 para os ensaios de tração e ISO-178/11

para os ensaios de flexão.

Os ensaios físico-mecânicos foram realizados no laboratório de Tecnologia da Madeira da UNICENTRO, campus de Irati. Os corpos de prova foram submetidos aos ensaios com base nas normas ASTM D 1037/06 para dureza, ISO 178/11 para flexão e ISO-527/12 para tração. Foram utilizados cinco corpos de prova por tratamento, totalizando 25 corpos de prova para cada ensaio, resultantes dos cinco tratamentos. Antes de serem ensaiados, os corpos de prova passaram por período de estabilização de 72 horas, sendo após, condicionados em câmara climática à 20 °C e 50% de umidade relativa do ar.

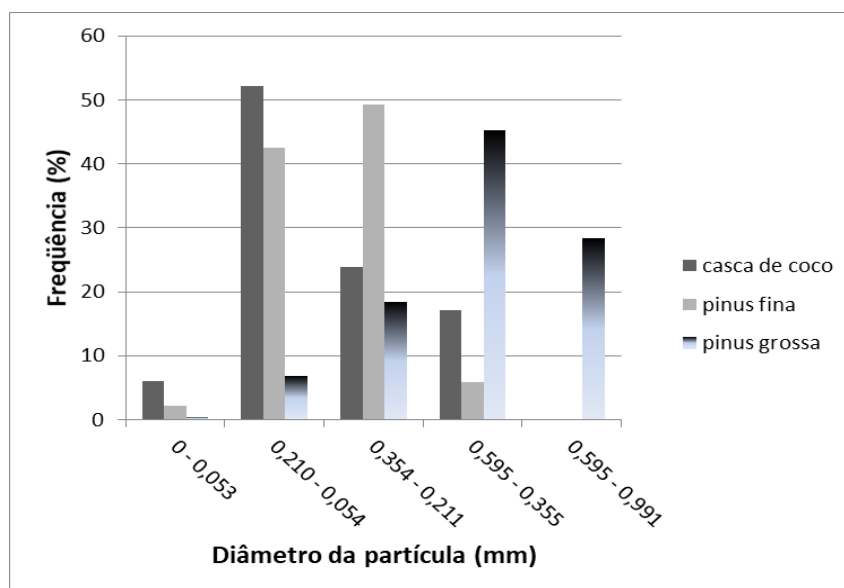
Para as análises estatísticas foram empregados softwares estatísticos e de planilha eletrônica, tendo sido realizados primeiramente testes de normalidade e o teste de homogeneidade das variâncias de Bartlett, para em seguida realizar a análise de variância (ANOVA). Detectada diferença significativa entre os tratamentos pela ANOVA, foi realizado teste de comparação de médias de Tukey. Todos os testes empregaram nível de 5% de probabilidade de erro.

### 3. Resultados e Discussão

#### Análise Granulométrica das Farinhas de Madeira

Na Figura 1 é apresentada a frequência de cada tamanho de partícula para cada um dos três tipos de farinha usada.

**Figura 1** - Frequência de partículas por classe de diâmetro



Fonte: Autores.

Aproximadamente 74% das partículas da farinha de pinus grossa apresentaram granulometria maior que 0,355 mm de diâmetro, enquanto 92% das partículas da farinha de pinus fina tem uma granulometria entre 0,054 e 0,354 mm. A farinha de casca de coco apresenta-se ainda mais fina, no entanto com distribuição em mais classes de tamanho que as farinhas de pinus.

O diâmetro da partícula, cujo volume é igual ao volume médio de todas as partículas, para cada tipo de farinha foi de 0,0143; 0,0196 e 0,2599 mm para casca de coco, pinus fina e pinus grossa, respectivamente.

### Propriedades Físico-Mecânicas dos Compósitos

Na Tabela 3 são apresentadas as médias das propriedades físico-mecânicas dos compósitos por tratamento experimental avaliado.

**Tabela 3** - Propriedades físico-mecânicas dos corpos de prova produzidos com as diferentes misturas de compósitos e com a mistura de PEBD virgem e reciclado

Tratamentos	Rt (MPa)	Et (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	Dureza (N)
1	4,55 a	213,6 b	10,24 b	222,1 b	274,2 a
2	4,74 a	442,0 a	10,30 b	372,6 ab	291,6 a
3	2,66 b	228,6 b	12,11 a	418,3 a	293,2 a
4	4,72 a	412,0 a	10,77 ab	366,9 ab	300,4 a
5	4,39 a	365,6 a	11,57 ab	401,8 a	323,7 a
Média	4,212	332,24	10,998	356,34	296,62

\*Médias seguidas por mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

Rt: Resistência à tração, Et: Módulo de elasticidade à tração, MOR: Módulo de ruptura em flexão estática, MOE: Módulo de elasticidade em flexão estática. Fonte: Autores

Para o ensaio de Resistência à tração (Rt), as médias dos valores de Resistência à tração somente apresentaram diferença estatística com o tratamento três (farinha de pinus + farinha de coco + PEBD). Hillig (2006), encontrou valores para resistência à tração variando de 12,66 a 22,37 MPa, em compósitos de HDPE misturados à serragem. Valores superiores aos encontrados neste trabalho de 2,66 à 4,74 MPa.

Para o teste de elasticidade os tratamentos 1 (PEBD puro) e 3 se mostraram inferiores aos demais. Para o módulo de elasticidade no teste de tração, em trabalho realizado com PEAD, Robin e Breton (2001) encontraram valores variando de 911 a 1600 Mpa (superior ao

do estudo aqui proposto), variando para valores mais elevados com adição na proporção de serragem.

Nos testes de flexão (MOR e MOE) a adição de farinha de madeira se mostrou satisfatória para todos os tratamentos, com exceção ao valor médio de MOR do tratamento 2 que não apresentou diferença estatística comparado ao tratamento 1. Hillig (2006), em pesquisas com HDPE observou valores de força máxima entre 19,45 e 49,48 Mpa e valores para módulo de elasticidade variando de 568 a 2154,1 Mpa, dependendo do processo de moldagem utilizado, tipo e proporção do material. Ambos superiores aos resultados deste trabalho.

A granulometria dos reforços não apresentou melhora significativa quando aumentada. No entanto, em geral, a granulometria grossa apresentou valores superiores a fina. Ashori e Nourbakhsh (2010), em um estudo sobre tamanhos de partículas, compararam as espécies de *Quercus castaneifolia* C.A. Mey. e *Pinus* sp. usando polipropileno (PP) como matriz. Os resultados mostraram que a fibra de *Pinus* sp. teve efeito superior nas propriedades mecânicas, o que foi atribuído à maior comprimento de sua fibra.

A adição de farinha de coco à farinha de pinus, apresentou características com tendência de superioridade para flexão e inferiores para tração, porém a diferença não foi significativa. A fibra de coco apresenta em média, 40,10% de lignina e 24,70% de celulose (Cabral, de Souza, dos Santos Rocha, Almeida, & Gomes, 2017), enquanto a fibra de Pinus, apresenta um teor de 25,18% para lignina e 59,05% para celulose (Morais, Nascimento, & Melo, 2005). Segundo Agnes (2021, no prelo), a lignina é um agente natural de acoplamento, com isso, em baixos teores tende a reduzir as propriedades mecânicas do compósito.

O ensaio de dureza, não demonstrou diferença significativa entre os tratamentos. Oliveira, Teixeira, Mulinari, & Goulart, (2010) em pesquisa com compósitos de *Eucalyptus grandis* e PEBD obteve resultados para dureza variando de 389,62 Kgf/ cm<sup>2</sup> e 496 Kgf/ cm<sup>2</sup>. O autor usou proporção de serragem de 60 e 80%, comprovando que quanto maior a proporção de serragem maior a dureza e essa pode ser uma das explicações para os valores serem superiores aos encontrados neste trabalho. Outro fator que, segundo o autor, influenciou no resultado foi o tipo de serragem utilizada.

#### **4. Considerações Finais**

Com base nos resultados alcançados no presente trabalho, destaca-se os seguintes aspectos:



É possível produzir compósitos polímero-fibra por meio de moldagem por compressão utilizando PEBD.

Em geral, a adição de farinha de madeira ao compósito melhorou todas as características mecânicas aqui estudadas.

Para o mesmo tipo de serragem, em geral quanto maior a granulometria maiores os valores de resistência e módulo de elasticidade à flexão.

A adição de farinha de coco à farinha de pinus, apresentou características com tendência de superioridade para flexão e inferiores para tração.

## Referências

Addivant corporation. (2013). Technical information Polybond® 3009. Disponível em: [https://www.brenntag.com/media/documents/bsi/product\\_data\\_sheets/material\\_science/addivant/polybond\\_3009\\_pds.pdf](https://www.brenntag.com/media/documents/bsi/product_data_sheets/material_science/addivant/polybond_3009_pds.pdf).

Agnes, E. A., Mello, T. V., Hillig, E. & Myahara, R. Y. (2020). Cellulose pulp for wood polymer composites production. *Floresta*, 1(51). No prelo.

Ali, M., & Sreekrishnan, T. R. (2001). Aquatic toxicity from pulp and paper mill effluents: a review. *Advances in environmental research*, 5(2), 175-196.

Ashori, A., & Nourbakhsh, A. (2010). Reinforced polypropylene composites: effects of chemical compositions and particle size. *Bioresource technology*, 101(7), 2515-2519.

ASTM International. (2014). Standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle panel materials. ASTM international.

Braskem (2015). Datasheet Revision 7 (Apr/15). Low Density Polyethylene EB853 / 72. Disponível em: <https://www.braskem.com.br/cms/Principal/ModuloProduto/DownloadFolhaDados?idFolha=KWgkPAzqcNs=&idIdioma=7OddVzA6kuw=&idTipo=YrItVniimrc=&idProduto=qUDjV8F6G3A=&pasta=T46EDfq+gkM=>.

Cabral, M. M. S., de Souza Abud, A. K., dos Santos Rocha, M. S. R., Almeida, R. M. R. G., & Gomes, M. A. (2017). Composição da fibra da casca de coco verde in natura e após pré-tratamentos químicos. *Engevista*, 19(1), 99-108.

Callister Junior, W. D., & Rethwisch, D. G. (2002). *Ciência e engenharia de materiais: uma introdução*. Rio de Janeiro: LTC, 589, 249.

De Guamá, f. F. M. C., Costa, R., Rocha, H. L., Isensee, F. V., & Futuro, L. L. (2008). Lixo Plástico-de sua produção até a madeira plástica. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Anais. Rio de Janeiro: ABEPRO.

Hillig, É. (2006). Viabilidade técnica de produção de compósitos de polietileno (HDPE) reforçados com resíduos de madeira e derivados das indústrias moveleiras.

Morais, S. A. L. D., Nascimento, E. A. D., & Melo, D. C. D. (2005). Análise da madeira de *Pinus oocarpa* parte I: estudo dos constituintes macromoleculares e extrativos voláteis. *Revista Árvore*, 29(3), 461-470.

Standard, B., & ISO, B. (2001). *Plastics—Determination of flexural properties*.

Standard, B., & ISO, B. (2012). *Plastics— Determination of Tensile Properties*.

Oliveira, T. Á., Teixeira, A., Mulinari, D. R., & Goulart, S. A. S. (2017). Avaliação do uso de agente compatibilizante no comportamento mecânico dos compósitos PEBD reforçados com fibras de coco verde. *Cadernos UniFOA*, 5(14), 11-17.

Robin, J., & Breton, Y. (2001). Reinforcement of recycled polyethylene with wood fibers heat treated. *Journal of reinforced plastics and composites*, 20(14-15), 1253-1262.

Simplás. Seminário Internacional sobre WPC. Boletim Informativo do Simplás. Sindicato das Indústrias de Material Plástico do Nordeste Gaúco, n.38, Dezembro, 2008.

Soury, E., Behraves, A. H., Esfahani, E. R., & Zolfaghari, A. (2009). Design, optimization and manufacturing of wood-plastic composite pallet. *Materials & Design*, 30(10), 4183-4191.

Teixeira, M. G. (2005). Aplicação de conceitos da ecologia industrial para a produção de materiais ecológicos: o exemplo do resíduo de madeira. Salvador: Universidade Federal da Bahia.

Winandy, J. E., Stark, N. M., & Clemons, C. M. (2004). Considerations in recycling of wood-plastic composites. In 5th Global Wood and Natural Fibre Composites Symposium, April 27-28, 2004, in Kassel, Germany:[9] Pages..

Younquist, J. (1995). Unlikely partners. The marriage of wood and nonwood materials. Forest.

**Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Érick Afonso Agnes – 50%

Éverton Hillig – 50%