



## ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO COMPÓSITO DE SERRAGEM E POLIURETANO DERIVADO DE ÓLEO DE MAMONA

<sup>1</sup>Giuliana R. Protzek (giu\_rp@hotmail.com), <sup>1</sup>Juliano Koloski (jkjulianokosloski@hotmail.com),  
<sup>2</sup>Washington L. E. Magalhães (washington.magalhaes@embrapa.br), <sup>3</sup>Salvador C. Neto  
(salvador@iqsc.usp.br), <sup>1</sup>Eduardo M. Nascimento (nascimento@utfpr.edu.br), <sup>1</sup>Elaine Azevedo  
(helunica@yahoo.com.br)

<sup>1</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Departamento de Engenharia Mecânica e de Materiais, Av. sete de setembro, 3165 – Rebouças, Curitiba - PR

<sup>2</sup>Embrapa Florestas

Tecnologia da Madeira, Estrada da Ribeira, 111 – Colombo – PR.

<sup>3</sup>Instituto de Química de São Carlos

Grupo de Química Analítica e Polímeros, Av. Trabalhador São-Carlense, 400 – São Carlos, SP.

**RESUMO:** Com o avanço tecnológico surgiu a necessidade de se obter materiais com diferentes propriedades, resultando no desenvolvimento de compósitos. O *Medium Density Fiberboard*, MDF, possui grande aplicação tanto na indústria moveleira e na construção civil. O grande problema do MDF é o adesivo usado para a aglutinação das fibras, pois é uma substância tóxica ao ser humano e possui grande impacto ambiental. Logo, percebe-se a necessidade de substituição dessa resina. O adesivo de poliuretano derivado do óleo de mamona é um material biodegradável, de fonte renovável e não possui compósitos orgânicos voláteis em sua composição. Foram analisadas as propriedades físicas de compósitos de serragem com o adesivo de poliuretano derivado do óleo de mamona nas proporções de 30, 40 e 50% de resina. O ensaio de absorção indicou valores próximos ao adesivo de poliuretano, o ensaio de inchamento indicou que quanto maior a quantidade de resina, menor será a absorção de água e o ensaio de ângulo de contato demonstrou que este material é hidrofóbico.

**Palavras Chave:** Compósito, serragem, óleo de mamona.

## COMPOSITES OF SAWDUST AND POLYURETHANE OF CASTOR OIL

**ABSTRACT:** The technological progress caused the necessity of obtaining materials with different properties, resulting in the development of composites. The *medium density fiberboard*, MDF, is widely used in the furniture and construction industry. The adhesive applied in the agglutination of the fibers is a big problem, because it is a toxic substance to the human being and has major environmental problems. Thus, it can be seen the necessity of replacing this resin. The polyurethane adhesive, derived from castor oil, is a biodegradable material. It comes from a renewable resource and in its compositions do not have volatile organic compound. It was analyzed the physical properties of sawdust composites with the polyurethane adhesive in the proportions of 30, 40 and 50%. The water absorption indicate that the material has similar values as the polyurethane adhesive, the thickness swell indicated that the more resin is in its composition less water absorption the material presents, and the contact angle revealed us the material is hydrophobic.

**Keywords:** Composite, sawdust, castor oil.

## 1. INTRODUÇÃO

Os materiais compósitos são originários das primeiras sociedades agrícolas, porém somente com o avanço tecnológico, na segunda metade do século XX, que pesquisas na área começaram a serem desenvolvidas. (VENTURA, 2009). Os compósitos são materiais heterogêneos, multifásicos, podendo ser ou não materiais poliméricos, onde um componente é responsável pela resistência ao esforço e o outro responsável pela transferência desse esforço (MANO, 2004).

O *Médium Desity Fiberboard*, MDF, é constituído pela aglutinação de fibras de madeira com resinas sintéticas, sendo as mais utilizadas as de ureia-formaldeído e fenol formaldeído, prensadas em prensa contínua onde atuam, conjuntamente, a ação da pressão e da temperatura (FREIRE et al., 2015). Este material é utilizado pela indústria moveleira, como frente de gaveta, tampo de mesa, rack, estantes, etc., pela indústria da construção civil, como rodapés, pisos, batentes, pés de mesas, balaústres, entre outras aplicações (ROSA et. al, 2007).

A indústria madeireira é responsável por grande parte do impacto ambiental devido à grande quantidade de resíduos. Isso porque somente cerca de 30% a 60% do material é aproveitado pelo processo (FREITAS, 2000). Uma maneira de amenizar esse problema é a reutilização dos resíduos gerados pelo processo. Dessa forma, reduz-se o custo da matéria prima, o desperdício e a quantidade de resíduo descartado no meio ambiente (TEIXEIRA, et al., 2006). Uma das formas de resíduos é a serragem resultante do processo de operação com serras (FONTES, 1994).

A ureia-formaldeído é o adesivo mais utilizado para o MDF devido a seu custo ser mais baixo em relação às demais resinas (FREIRE et. al, 2015). Apesar desse benefício, as resinas contendo formaldeídos em sua composição são altamente tóxicas, podendo causar mutação e carcinogênese em células humanas (CONAWAY et. al, 1996). Quando lançado ao meio ambiente, o formaldeído pode, ainda, contaminar o solo, recursos hídricos, fauna, flora e a atmosfera (OLIVEIRA, 2001).

Uma alternativa é a substituição dessas resinas pelo adesivo de poliuretano derivado do óleo de mamona. Isso porque é um material que não possui solvente, é biodegradável e é um material derivado de fonte renovável (CANGEMI et al. 2009).

Este trabalho teve o objetivo de produzir compósitos de serragem com o adesivo de poliuretano derivado do óleo de mamona, com diferentes proporções de adesivo e analisar as propriedades físicas desses materiais. Foram feitos ensaios de absorção e inchamento dos materiais, bem como o ensaio de ângulo de contato.

## 2. MÉTODOS EXPERIMENTAIS

### 2.1 Materiais

#### 2.1.1 Resíduos de serragem de *Pinus taeda*

Essas fibras foram obtidas por meio do desgaste de madeira *Pinus taeda*. A serragem proveniente de peneirada em Peneira Granulométrica Mesh 8, Fig. 1. As fibras obtidas foram colocadas em estufa por 24 horas a 100°C e não sofreram nenhum tratamento químico.



**Figura 1. Serragem de *Pinus taeda* peneirada em peneira granulométrica Mesh 8.**

### **2.1.2Poliuretano**

O poliuretano *Polibond* foi doado pela empresa Cequil Central de Indústria e Desenvolvimento de Polímeros Ltda. de Araraquara/SP. A proporção em peso de polioli e pré-polímero é de 1:1, conforme orientação do fabricante. A Figura 2 mostra os componentes do poliuretano, onde no lado direito observa-se o polioli e no lado esquerdo o pré-polímero.



**Figura 2. Componentes do poliuretano derivado do óleo de mamona**

### **2.1.3Homogeneizador**

Os materiais foram misturados com um homogeneizador modelo MH-100, série 6069 da MH equipamentos, Fig. 3.



Figura 3. Homogeneizador modelo MH-100

#### 2.1.4 Prensa hidráulica

Foi utilizado a prensa hidráulica modelo MA 098/AR15 da Marconi Equipamentos, Fig. 6.



Figura 3. Homogeneizador modelo MH-100

#### 2.1.5 Balança

Para o peso dos corpos de prova isso utilizou-se balança científica modelo 91379 da FWB, precisão de 0,01g, Fig. 9.



**Figura 9. Balança**

### **2.1.6 Paquímetro**

Para determinação da largura dos corpos de prova foi utilizado o paquímetro metálico de 150 mm da Vonder, Fig. 10.



**Figura 10. Paquímetro metálico**

### **2.1.7 Micrômetro**

Para determinação da espessura dos corpos de prova foi utilizado o micrômetro para externos de 0-25 mm da Digimes, Fig. 11.



**Figura 10. Micrômetro para externos 0-25 mm**

## **2.2 Métodos**

### **2.2.1 Compósito**

Os compósitos foram obtidos por meio da mistura da serragem com o adesivo de poliuretano derivado do óleo de mamona com diferentes proporções de serragem. A Figura 11 mostra a o material após a mistura.



**Figura 11. Material após mistura no homogeneizador**

Em seguida, o material foi colocado em um molde metálico, Fig. 12.



**Figura 12. Material colocado em um molde metálico**

O molde foi colocado na prensa hidráulica submetendo-os à carga de 9 toneladas por 3 horas. A Figura 13a apresenta corpo de prova após desforma. Em seguida os corpos de prova foram cortados na medida de 5x5 cm de largura, Fig. 13b, para os ensaios de densidade e inchamento de espessura.



**a)**



**b)**

**Figura 13. a) Corpo de prova após desforma, b) corpo de prova cortado**

## **2.2.2 Densidade**

O ensaio de densidade foi realizado com 6 amostras para cada tipo de compósito, de acordo com a norma EN 323:2002. A densidade é dada pela relação entre a massa e o volume, conforme a equação (1):

$$d = \frac{m (g)}{v (cm^3)} \quad (1)$$

Sendo:

$d$  = Densidade

$m$  = Massa

$v$  = volume

### 2.2.3 Absorção de água

Os ensaios de inchamento fornecem indicações sobre as condições de adesão e resistência das partículas do painel quando imersas em água. As indústrias utilizam estes ensaios para o controle da qualidade dos produtos.

O ensaio de absorção de água, AA, foi feito com a submersão de 6 amostras de cada compósito em água por período de 2 horas e 24 horas. A análise foi feita com base na massa inicial e na massa final após a submersão durante 2 e 24 horas, de acordo com a norma EN 317:2002. A absorção de água é calculada dada pela diferença entre a massa final e inicial dividido pela massa final, conforme a equação (2):

$$AA = \frac{m_f - m_o}{m_f} \times 100 \quad (2)$$

Sendo:

AA = Absorção de água

$m_f$  = massa final

$m_o$  = massa inicial

### 2.2.4 Inchamento de espessura

O ensaio de inchamento de espessura foi feito com a submersão de 6 amostras de cada compósito em água por 2 horas e 24 horas. A análise é realizada por meio da observação da espessura inicial e espessura final, ou seja, após o período de submersão, de acordo com a norma EN 317:2002. O inchamento em espessura é dado pela diferença entre a espessura final e inicial em relação a espessura final, em porcentagem, conforme a equação (3):

$$IE = \frac{e_f - e_o}{e_f} \times 100 \quad (3)$$

Sendo:

IE = Inchamento de espessura

$e_f$  = espessura final

$e_o$  = espessura inicial

### 2.2.5 Ângulo de contato

O ângulo de contato permite quantificar a afinidade do líquido pelo sólido. O umedecimento da superfície ocorre quando o ângulo de contato se aproxima de zero. Isso ocorre quando a superfície do material possui uma energia de atração elevada, quando o adesivo possui uma afinidade para a aderência e quando a tensão superficial do adesivo é

baixa. Ângulos acima de 90° mostram que não há espalhamento do líquido na superfície do sólido, apresentando baixo molhamento (TROVATI, 2011; CERCHIARI, 2013).

A avaliação de ângulo de contato foi realizada no Laboratório de Polímeros e Compósitos – LAPOC da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. O equipamento utilizado foi o “SMAC” do departamento de mecânica da UTFPR.

### 3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

#### 3.1 Densidade

Os resultados médios obtidos para a densidade são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1. Densidade dos corpos de prova**

Corpo de prova	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )
30% de PU	961,76
40% de PU	1047,88
50% de PU	1124,44

A variação da densidade ficou compreendida entre 961,76 a 1124,44 kg/cm<sup>3</sup>. Percebe-se que a densidade do material aumenta conforme a quantidade de adesivo de poliuretano do óleo de mamona, evidenciando a homogeneidade na distribuição das partículas no processo de fabricação das amostras. De acordo com Azevedo (2009) e Souza (2013) os ensaios de densidade do adesivo de poliuretano é 1,09±0,03 g/cm<sup>3</sup> e 1,086 g/cm<sup>3</sup> respectivamente.

#### 3.2 Absorção de água

Os resultados de absorção de água para 2h e 24 h imersos em água são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2. Absorção de água dos corpos de prova a 2h e 24h**

Corpo de prova	Absorção a 2h (%)	Absorção a 24 h (%)
30% de PU	3,70	9,31
40% de PU	1,28	3,95
50% de PU	0	0

Percebe-se que o poliuretano apresentou baixa absorção de água, ou seja, quanto maior a porcentagem de adesivo menor será o percentual de absorção de água. Esse resultado já era esperado, uma vez que quanto menor a quantidade de resina, maior será o volume de fibra. A maior parte das moléculas de água que se difundem são absorvidas pelas fibras, resultando no inchamento das mesmas. Isso pode resultar no aumento do volume do material.

Bronkow et. al (2015) analisou a absorção de água de fibras de pinus, eucaliptos, MDF com o adesivo de poliuretano de óleo de mamona na proporção de 60% de fibra. Os resultados encontrados mostram que após 24 horas de submersão a absorção de água varia de 13% a 6% para os materiais.

#### 3.3 Inchamento em espessura

Os resultados de inchamento em espessura para 2h e 24 h imersos em água são apresentados na Tabela 3

**Tabela 3. Inchamento em espessura dos corpos de prova a 2h e 24h**

Corpo de prova	Inchamento em espessura a 2h (%)	Inchamento em espessura a 24h (%)
30% de PU	2,45	9,29
40% de PU	2,06	5,44
50% de PU	1,63	2,05

Percebe-se que o inchamento em espessura dos corpos de prova varia conforme a quantidade de resina na composição. Quanto maior a quantidade de resina menor será o inchamento, uma vez que o poliuretano após a cura possui características hidrofóbicas (VILAR, 2004). Resultados similares foram encontrados por Bronkow et. al (2015) que analisou o inchamento em espessura de fibras de pinus, eucaliptos, MDF com o adesivo de poliuretano de óleo de mamona na proporção de 60% de fibra. Os resultados encontrados mostram que após 24 horas de submersão a absorção de água variam de 7,2% a 9,5% para os materiais. Para Silva (2010) o ensaio de inchamento de placas de osb com bagaço de cana de açúcar e adesivo de poliuretano foi de  $12,19\% \pm 2,85$ .

### 3.4 Ângulo de contato

As medições do ângulo de contato das amostras apresentaram os resultados descritos na Tabela 4

**Tabela 4. Resultado do ângulo de contato dos corpos de prova**

Corpo de prova	Ângulo de contato
30% de PU	102°
40% de PU	98°
50% de PU	108°

De acordo com os resultados dos corpos de prova, pode-se observar que os ângulos de contato variaram em torno de 98° a 108°, indicando o baixo molhamento do compósito. Resultados similares foram encontrados por Bronkow et. al (2015) que analisou o inchamento em espessura de fibras de pinus, eucaliptos, MDF com o adesivo de poliuretano de óleo de mamona na proporção de 60% de fibra registrando ângulo de contato variando de 60 a 80.

## 4. CONCLUSÃO

Materiais que causam menos impactos ambientais, que causem menos danos à saúde dos trabalhadores, que tenham fontes naturais e que sejam derivadas de fontes renováveis estão sendo cada vez mais procurados pelas empresas. Neste trabalho buscou-se a análise das propriedades físicas dos compósitos de serragem com o adesivo de poliuretano.

No processo de fabricação dos corpos de prova percebeu-se que a molhagem de todos os materiais ficou mais difícil de se fazer conforme foi diminuindo a quantidade de adesivo de poliuretano. Neste trabalho foi possível fabricar corpos de prova com 30% de resina em sua composição. Apesar desse valor ser alto quando comparado com o formaldeído usado nas formulações de MDF, as propriedades físicas são adequadas e possuem resultados melhores que os compósitos de MDF.

A análise dos resultados obtidos demonstrou que os compósitos com poliuretano derivada do óleo de mamona possuem características hidrofóbicas. Os compósitos apresentam valores de absorção de água e inchamento em espessuras inferiores a demais literaturas encontradas com o poliuretano de óleo de mamona. O ensaio de ângulo de

contato indica que as superfícies analisadas possuem comportamentos hidrofílicos, com valores entre 98 e 108°.

Esses resultados demonstram que este compósito pode substituir os materiais empregados na indústria moveleira e da construção civil devido as suas características hidrofílicas, baixa absorção de água e pouco inchamento de espessura.

## 5. AGRADECIMENTOS

À CAPES, à FAPESP, à Fundação Araucária, ao CNPQ pelo apoio financeiro, à CEQUIL pela doação do poliuretano, à Embrapa Florestas pelos equipamentos.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZEVEDO, E. **Efeito da radiação nas propriedades mecânicas do adesivo de poliuretano derivado do óleo de mamona**. Tese (Doutorado) – Ciência e Engenharia de materiais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2009.
- BRONKOW, A. M.; KOLOSKI, J.; AZEVEDO, E.; NETO, S. C.; NASCIMENTO, E. Comparação de propriedades físicas entre MDF comercial e compósitos de fibras aglutinadas com poliuretano derivada de óleo de mamona. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 13., 2015, Nata, RN, Brasil. **Anais...** Nata, RN, 4 p.
- CANGEMI, J. M.; SANTOS, A. M.; CLARO NETO, A. Poliuretano: De travesseiro a preservativos um polímero versátil. **Química Nova**. 2009, v. 31, p. 159.
- CERCHIARI, A. M. F. **Aprimoramento do poliuretano a base de óleo de mamona na manufatura de madeira laminada colada (MLC) de *Cupressus lusitanica*, *Corymbia maculata* e *Havea brasiliensis***. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2013.
- CONAWAY, C.C.; WHYSNER J.; VERNA, L. K.; WILLIAMS, G. M. Formaldehyde Mechanistic Data and Risk Assessment: Endogenous Protection From DNA Adduct Formation. *Pharmacology & Therapeutics*, v. 71. p. 29-55, 1996.
- FONTES, P.J.P. **Auto-suficiência Energética em Serrarias de Pinus e Aproveitamento dos Resíduos**. 153f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 1994.
- FREIRE, A. L. F; FIGUEIRÊDO, M. C. B; ROSA, M. F.; ARAÚJO JÚNIOR, C. P. Impactos ambientais de painéis de madeira e derivados - Uma revisão de literatura. **Revista Espacios**, v. 36, p. 3, 2015.
- FREITAS, L. C. **A baixa produtividade e o desperdício no processo de beneficiamento da madeira: um estudo de caso**. 2000. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2000.
- MANO, E. B. **Introdução à polímeros**, São Paulo, 2004, 191 p.
- OLIVEIRA, S. V. W. B. **Avaliação da degradação e toxicidade de formaldeído em reator anaeróbico horizontal de leito fixo**. 2001. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2001.
- ROSA, S. E. S.; CORREA, A. R.; LEMOS, M. L. F.; BARROSO, D. V. O setor de móveis na atualidade: Uma análise preliminar. **BNDES Setorial**, n. 25, p. 65-106, mar 2007.
- SILVA, J. P. Bagaço de cana pode virar OSB. **Revista da madeira**, n.122, 2010.
- SOUZA, L. K. **Produção e caracterização mecânica de compósitos de resina poliuretano à base de óleo de mamona e fibras de rami, sisal e bucha vegetal**. Dissertação (Mestrado) Faculdade de engenharia civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2013.
- TEIXEIRA, M. G.; CÉZAR, S. F. Produção de compósito com resíduo de madeira no contexto da Ecologia industrial. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRA, EBRAMEM, 10., 2006, São Pedro, SP, Brasil. **Anais...**São Pedro, SP: CEVEMAD/UNESP, 2006. 15 p.

TROVATI, G. **Revestimento de poliuretano como anti-incrusante para o controle de mexilhão dourado (*Limnoperna fortunei*)**. Tese (Doutorado) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2011.

VENTURA, A. M. F.M. Os Compósitos e a sua aplicação na Reabilitação de Estruturas metálicas. **Ciência e Tecnologia dos Materiais**, v.21, pp. 10-19, 2009.

VILAR, W. D. **Química e tecnologia dos PU's**. Rio de Janeiro, 2004.

## **7. NOTA DE RESPONSABILIDADE**

Os autores são os únicos responsáveis pelo que está contido neste trabalho.