



“TEN YEARS WORKING TOGETHER FOR A SUSTAINABLE FUTURE”

## Desenvolvimento de compósito termoplástico-madeira feito com adesivo de amido para moldagem por injeção

GONDAK, M. O. <sup>a\*</sup>, ARAÚJO, M. S. <sup>a</sup>

*a. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Curitiba*

*\*Corresponding author, mgondak@gmail.com*

### Resumo

As técnicas de conformação de grânulos de compostos de termoplástico-madeira envolvem o uso de extrusoras ou misturadores à quente. Entretanto os fabricantes de pó de madeira não tem muito recurso para adquirir equipamento tão caros, assim neste trabalho se estudou a possibilidade de conformação a frio de grânulos de plástico madeira com a ajuda de um adesivo a base de amido e hidróxido de sódio (NaOH). Os adesivos foram preparados com 10, 15 e 20g de amido /100mL de suspensão. Na sequência, os adesivos foram compostos com 30% em massa de farinha de madeira e PEBD micronizado. Foram realizados ensaios de índice de fluidez e ensaios mecânicos nos compostos, além de teste de moldagem por injeção, os quais indicaram que o material tem grande potencial de uso, visto que a resistência aumenta com a concentração de amido no adesivo e com a quantidade de adesivo no composto.

*Palavras-chave: plástico-madeira, PEBD, compósito, adesivo de amido, moldagem por injeção*

### 1. INTRODUÇÃO

Os principais mercados e aplicações dos compósitos plástico-madeira estão presentes nas indústrias de consumo, construção civil, indústria calçadista, indústria de revestimentos (MARKARIAN, 2002). Inúmeras variáveis influenciam no processamento, acabamento superficial e propriedades mecânicas do composto dentre elas segundo Pereira *et al.* (1997) são: dispersão da fibra com a matriz; comprimento da fibra; razão de aspecto da fibra; orientação da fibra e das cadeias da matriz polimérica; degradação da matriz polimérica e da fibra; cristalização da matriz polimérica; tipo de farinha de madeira; granulometria do pó de madeira; tipo de tratamento da madeira (secagem, pré-mistura, adição de agente de acoplagem); teor de aditivos (lubrificante, auxiliar de fluxo e modificador de impacto) e índice de fluidez entre outros.

O processamento do compósito termoplástico/fibra envolve o aquecimento do termoplástico próximo do ponto de fusão ou amolecimento dependendo da resina com suficiente agitação cisalhante para alcançar uma mistura íntima entre a fibra e a matriz plástica (molhabilidade). O aquecimento e a ação cisalhante podem ser alcançados por um número de diferentes equipamentos. A maioria das pesquisas envolve o uso de extrusoras e misturadores termocinéticos. Variedades de equipamentos para mistura contínua incluem: extrusoras dupla rosca paralela co-rotante, dupla rosca cônica e preparadoras de formulações com roscas simples (KASLIWAL, S. G., & JONES, J. W., 2005). Misturadores contínuos ou homogeneizadores contínuos (continuous kneaders ou CK kneaders) e as extrusoras com dupla rosca

“TEN YEARS WORKING TOGETHER FOR A SUSTAINABLE FUTURE”

São Paulo – Brazil – May 24<sup>th</sup> to 26<sup>th</sup> - 2017

co-rotante continuam a dominar a indústria de desenvolvimento de formulações devido à sua capacidade de mistura e versatilidade funcional.

Entretanto estas tecnologias não são acessíveis aos produtores de fibras de madeira para que os mesmos possam aumentar a variedade de produtos oferecidos ao mercado, assim este trabalho explorou a possibilidade de conformação de grânulos de plástico-madeira à frio para moldagem por injeção direta.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foram utilizados no desenvolvimento dos compósitos: Polietileno de Baixa Densidade (PEBD) micronizado, G 803 da Politeño, com índice de fluidez 28,0 g/10min e densidade aparente 0,918 g/cm<sup>3</sup>; farinha de madeira pinus M-80 da empresa Pinhopó Moagem de Madeiras Ltda., e; amido de milho Amidex® 3001 da empresa Corn Products Brasil com teor de umidade de 14% e densidade aparente de 0,7 g/cm<sup>3</sup>.

As dispersões aquosas alcalinas de amido foram preparadas tendo como base a patente americana de número 13,436 de Perkins (1912) e nos trabalhos desenvolvidos por Bessani *et al.* (2005) e Milczewski *et al.* (2006). Foram formulados os adesivos, em seguida estes foram misturados manualmente à farinha de madeira e ao PEBD micronizado. Todos compostos continham 30% em massa de farinha de madeira, previamente seca em estufa por 3 horas a 100°C. Posteriormente, a mistura passou por um granulador manual, sem aquecimento, que conformou os compostos a frio em grânulos, que após secagem estariam prontos para a injeção.

O ensaio de Índice de Fluidez (IF) foi realizado conforme a norma ASTM D 1238 no aparelho Plastômetro Microtest.

Para a injeção foi utilizada uma máquina injetora MIR. As condições de injeção foram: pressão de injeção 4,83 MPa, pressão de fechamento 11,72 MPa, temperatura de injeção 165 °C, tempo de injeção 9,5 s, tempo de resfriamento 25 s e tempo de abertura do molde 2 s.

Ensaio de resistência à compressão foram realizados numa máquina de ensaio universal EMIC, modelo DL 10000 com capacidade máxima de 2kN, segundo a Norma ASTM D1621.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O valor médio de teor umidade presente na amostra de farinha de madeira, expresso em porcentagem foi de 6,235 %. E o valor encontrado da densidade básica foi de 0,3356 g/cm<sup>3</sup>. A Tab. 1 mostra os resultados das análises de comprimento e largura da farinha de madeira utilizando o equipamento Galai Cis-100. Com base nos resultados obtidos foi calculado o valor de razão de aspecto médio,  $\lambda$ , que é a razão entre o comprimento e a largura do material. O valor de  $\lambda$ , encontrado foi igual a 2,26, assim sendo, a farinha de madeira pode ser considerada como material particulado de acordo com Wypych (2016).

Tabela 1 - Resultados das análises do comprimento do material fibroso, o *coarseness*, nº de material fibroso/grama da farinha de madeira e teor de finos da amostra

Amostra	Coarseness (mg/100m)	Nº de Material Fibroso/grama	Nº de Objetos Medidos	Comprimento Médio Ponderado (mm)	Largura Média Ponderada (µm)	Teor Finos (%)
1	13,76	12,98	28.631	0,56	240,79	74,30
2	13,40	13,33	29.409	0,56	250,59	72,90
3	12,36	14,44	31.863	0,56	250,22	71,73
Média				0,56	247,20	72,98

A análise reológica dos adesivos foi feita com a ajuda da lei das potências, Eq. 1, sendo que  $\tau$  é a tensão de cisalhamento,  $\gamma$  corresponde à taxa de cisalhamento,  $m$  é conhecido como consistência e  $n$  como o índice da lei das potências. Os valores de  $n$  e  $m$ , obtidos da equação da reta do gráfico de log da tensão de cisalhamento por log da taxa de cisalhamento para cada composição de adesivo, são apresentados na Tab. 2. Foi possível constatar o comportamento pseudoplástico nas três concentrações de adesivos, pois apresentaram valores de  $n$  menores do que 1, Tab. 2.

$$\tau = m \gamma^n \quad (1)$$

Tabela 2 - Valores de  $n$  e  $m$  dos adesivos de 10, 15 e 20 g/100 ML

Coeficiente	Concentração de amido nos adesivos (g/100 mL)		
	10	15	20
$n$	0,5419	0,6006	0,6722
$m$ (Pas)	6,3416	11,4551	20,7157

O comportamento reopéxico não foi confirmado quanto a sua reversibilidade, visto que o adesivo tende a sofrer o processo de geleificação e retrodegradação em função do tempo, sendo estes fenômenos irreversíveis. Portanto, é apenas possível que os adesivos apresentem um comportamento dependente do tempo antes da geleificação. Entretanto, foi possível constatar um aumento na diferença de viscosidade entre a curva de ida e de volta com o aumento da concentração de amido.

Por meio dos resultados de índice de fluidez apresentados na Tab. 3 foi possível constatar um aumento significativo nos valores médios das diferentes composições em relação ao PEBD puro (27,04 g / 10 min). Resultado este também constatado por Semkiw *et al.* (2004). O amido parece também aumentar o índice de fluidez em relação à referência com 70% PEAB / 30% Madeira (37,92 g / 10 min.). Apesar disto as composições com 10% de adesivo apresentaram um valor significativamente menor do que os com 15%, entretanto, parece que as concentrações de amido no adesivo não influenciaram tanto o índice de fluidez.

Tabela 3 – Índice de fluidez (IF), densidade (d) e pH das composições desenvolvidas

Composição (% adesivo)	Concentração de amido no adesivo								
	10			15			20		
	g/ 100mL			g/ 100mL			g/ 100mL		
	IF (g/10min)	d (g/cm <sup>3</sup> )	pH	IF (g/10min)	d (g/cm <sup>3</sup> )	pH	IF (g/10min)	d (g/cm <sup>3</sup> )	pH
10	45,55	1,55	10,0	46,67	1,05	9,7	41,23	1,08	9,3
12,5	46,89	1,02	9,8	47,88	1,16	9,7	52,21	1,13	9,4
15	53,19	1,24	10,0	52,08	1,25	10,3	54,33	1,20	9,3

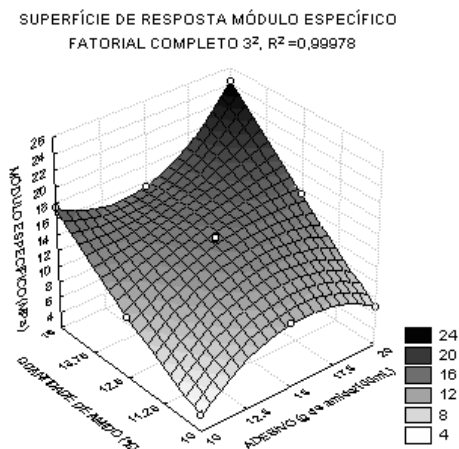
A variação de pH foi pequena, com um coeficiente de variação de 3,56%. Entretanto, a densidade apresentou um coeficiente maior de 12,62%, sendo assim, para compensar esta variação, as medidas de propriedades mecânicas foram divididas pela densidade, compondo, então, as propriedades específicas.

A partir de um planejamento fatorial completo de 3 níveis e 2 fatores, foram construídas superfícies de resposta das seguintes propriedades, Fig. 1: módulo elástico, Fig. 2: resistência à compressão específica, e; Fig.3: tensão específica a 10% de deformação. A Equação geral é do tipo:

$$Y = a + b x_1 + c x_2 + d x_1^2 + e x_2^2 + f x_1 x_2 + g x_1^2 x_2 + h x_1 x_2^2 + i x_1^2 x_2^2$$

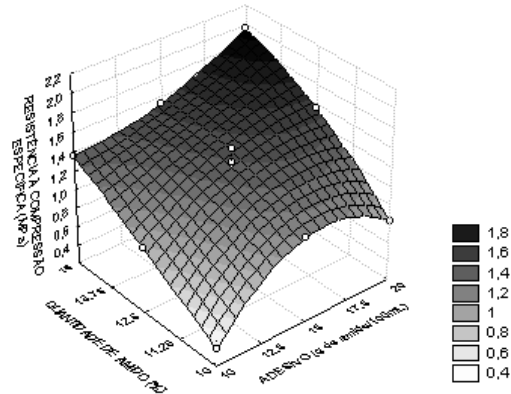
O fato de o composto ter uma resistência baixa pode ocasionar um esfacelamento após o ensacamento, pois, os sacos são submetidos a uma carga devido ao empilhamento dos mesmos. Comparando as superfícies da Fig. 2 e da Fig. 3, observa-se que a tensão a 10% de deformação apresenta um valor menor do que o da resistência à compressão. É recomendado utilizar um composto com quantidades maiores de amido e feito um adesivo com alta concentração de amido.

Foi possível injetar um lote de peças sem problemas aparentes, porém foram observadas bolhas no interior. Uma das características marcantes foi o odor característico de chocolate das peças.



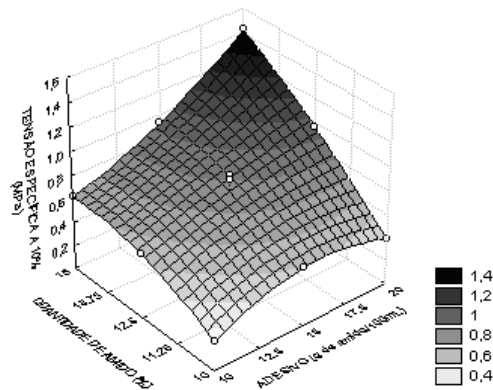
**Fig. 1.** Superfície de resposta do módulo elástico específico

SUPERFÍCIE DE RESPOSTA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO ESPECÍFICA  
FATORIAL COMPLETO 3<sup>2</sup>, R<sup>2</sup> = 0,98792



**Fig. 2.** Superfície de resposta da resistência à compressão específica

SUPERFÍCIE DE RESPOSTA TENSÃO ESPECÍFICA A 10% DE DEFORMAÇÃO  
FATORIAL COMPLETO 3<sup>2</sup>, R<sup>2</sup> = 0,98205



**Fig. 3.** Superfície de resposta da tensão específica a 10% de deformação.

#### 4. CONCLUSÕES

Foi possível obter grânulos para a injeção direta de compostos de plástico-madeira com 30% de particulado a frio com a ajuda de um adesivo a base de amido. Constatou-se que a resistência do composto é tanto maior quanto maior a concentração do amido no adesivo e quanto maior a quantidade de adesivo.

#### AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e a CAPES pelas bolsas, a Corn Products Brasil pela doação do amido de milho Amidex® 3001 e a Faculdade de Tecnologia Tupy por disponibilizarem os equipamentos para o desenvolvimento do trabalho.

**REFERÊNCIAS**

Markarian, J., 2002. Additive developments aid growth in wood-plastic composites. *Plastics, Additives and Compounding*, 4 (11), 18-21.

Pereira, N., Sousa, M. L., Agnelli, J. A. M., & Mattoso, L. H. C. (1997). Effect of processing on the properties of polypropylene reinforced with short sisal fibers. In *Proceedings of 4th international conference on wood fiber plastic composites*, Madison, United States of America.

Kasliwal, S. G., & Jones, J. W., 2005. Misturadores contínuos realizam boa formulação de termoplásticos com fibras naturais. *Revista Plástico Industrial*, São Paulo, (83), 110-121.

Perkins, F. G. U.S. Patent 13,436, 1912.

Bessani, T.; Gondak; M. O.; Araújo, M. S., 2005, In *Anais do X Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica do CEFET*, Curitiba, 25.

Milczewski, P. F; Gondak, M. O.; Araújo, M. S., 2006, In *Anais do XI Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR*, Curitiba, 25.

Wypych, G. (2016). *Handbook of fillers*. Elsevier.

Semkiw, L; Araújo, M. S.; Ueno, E. M., 2004. Influência da distribuição de tamanho de partículas de farinha de pinus ellioti em compósitos de polipropileno. *Congresso Anual da ABM*, São Paulo.