



## INFLUÊNCIA DO USO DE AGENTE COMPATIBILIZANTE EM COMPOSITOS DE POLIPROPILENO REFORÇADO COM FIBRAS DE BAMBU: PROPRIEDADES MECÂNICAS

Lety del Pilar F. C. Lima<sup>1\*</sup>, Adriana da S. Moura<sup>2</sup>, Ruth M. C. Santana<sup>3</sup>

1, 2, 3 - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS

[pila.lima@ufrgs.br](mailto:pila.lima@ufrgs.br)

**Resumo:** Em busca de uma produção sustentável, os compósitos poliméricos com fibras vegetais surgem como alternativa em compósitos reforçados com fibras sintéticas, pois são materiais menos densos, mais econômicos, com propriedades mecânicas similares, podendo substituir materiais convencionais em algumas aplicações. Porém na mistura de polímeros com fibras vegetais, a adesão interfacial é fraca ou nula, devido a diferença de polaridades entre as poliolefinas (apolar) e as fibras celulósicas (polar). Para melhorar a interação entre a matriz e o reforço, podem ser utilizados os agentes de acoplamento que permitem uma maior adesão entre as fases. No presente trabalho, avalia-se a utilização do agente compatibilizante de polipropileno graftizado com anidrido maleico (PP-g-MA) no compósito de matriz polimérica polipropileno (PP) reforçado com fibras de bambu (FB) PP/FB. A FB usada neste estudo é da espécie *Bambusa angustifolia*, com tamanho de partícula 250 $\mu$ m. A fibra foi incorporada como reforço à matriz polimérica de PP e com proporção mássica de 70/30, por extrusão. Os corpos de prova (CPs) para ensaio mecânico foram obtidos via moldagem por injeção. Os compósitos foram caracterizados pelos ensaios mecânicos. Resultados indicaram uma melhora na adesão matriz/reforço nos compósitos com PP-g-MA, verificado pela melhora no desempenho mecânico.

**Palavras-chave:** fibra de bambu, polipropileno, agente compatibilizante, polipropileno graftizado com anidrido maleico (PP-g-MA).

### ***INTERFERENCE OF THE PRESENCE OF COUPLING AGENT IN THE POLYPROPYLENE/BAMBOO FIBER COMPOSITE: MECHANICAL PERFORMANCE***

**Abstract:** In search of sustainable production, the polymer composites with vegetable fibers emerge as an alternative to composites reinforced with synthetic fibers, so they are less dense, more economical materials with similar mechanical properties, being able to replace conventional materials in some applications. However, the polymer mixture with vegetable fibers, does not offer a good interfacial adhesion or it is weak due to difference in polarity between polyolefins (non-polar) and cellulosic fibers (polar). In this study, will be evaluated the use of the coupling agent of polypropylene grafted with maleic anhydride (PP-g-MA) in the polymer composite with polypropylene (PP) matrix reinforced with bamboo fibers (FB) PP/FB. The FB used in this study is the *Bambusa angustifolia* bamboo, with a size of particle 250 $\mu$ m. The fiber was incorporated as reinforcing the polymeric matrix of PP, with a weight ratio of 70/30, by extrusion. The specimens for mechanical testing were obtained by injection molding. The composites were characterized by mechanical test. The results of mechanical performance, it indicated an improvement in the adhesion matrix / reinforcement in composites with PP-g-MA.

**Keywords:** coupling agent, bamboo fibers, Maleic Anhydride, Mechanical performance, polymer composites.

### **Introdução**

A busca de materiais sustentáveis, com capacidade de substituir os materiais convencionais, tem gerado um grande interesse por materiais naturais, recicláveis, renováveis e biodegradáveis; surge assim o desenvolvimento de compósitos reforçados com fibras naturais lignocelulósicas, apresentando vantagens como: resistência, baixo peso específico, características de

biodegradabilidade, recursos naturais entre outros [1]. Porém apresentam algumas desvantagens devido à sua natureza química, entre elas a diferença de polaridades e isto impede uma boa adesão interfacial [2].

A compatibilidade entre um material lignocelulósico e a matriz polimérica tem grande influência nas propriedades mecânicas, pois através desta interface que acontece a transferência de carga da matriz para a fibra. Para melhorar a interação entre a matriz e o reforço, podem ser utilizados os agentes de acoplamento, que promovem uma maior adesão entre as fases, fazendo com que exista uma transferência de cargas, que além de produzir uma dispersão mais fina do reforço na matriz, favorece na obtenção de morfologias mais estáveis e regulares.

Polímeros como o PP têm sido modificados com o anidrido maleico, outros exemplos de agentes compatibilizantes são titânios, zirconatos [3,4]. O uso de polipropileno graftizado com anidrido maleico (PP-g-MA) é um método comum para tratar a incompatibilidade de compósitos com matriz polimérica e reforço de fibras, e alterar quimicamente a resina, adicionando-se grupos polares à cadeia por meio da reação de graftização com ácido acrílico ou anidrido maleico [3]. O anidrido maleico apresenta uma estrutura polimérica de fácil ligação com outros grupos funcionais, apresenta grupos carboxila e hidroxilas que lhe permitem fazer ligações com outros grupos funcionais quando é enxertado na estrutura polimérica [3]. O efeito na incorporação do reforço à matriz desencadeado pelo uso de resina modificada por graftização pode ser entendida pela reação de esterificação, onde as interações por ligações de hidrogênio da celulose com o PP-g-MA causam uma redução da suscetibilidade à umidade, assim os grupos hidroxila da fibra estarão ligados quimicamente aos grupos do PP-g-MA, permitindo um reforço menos hidrofílico [5].

O principal objetivo deste trabalho foi avaliar o uso de acoplamento em compósitos PP/FB, nas suas propriedades mecânicas. Neste trabalho foi utilizada matriz de PP reforçado com fibras de bambu da espécie *Bambusa angustifolia*.

## Experimental

### *Materiais*

Polipropileno (MFI= 45 g/10min), fornecido pela Braskem; polipropileno graftizado com anidrido maleico, fabricado pela Dupont Fusabond MZ-109D; fibra de bambu da espécie *Guadua angustifolia* com granulometria de 250 $\mu$ m, procedente de Popayán, na Colômbia.

### *Condições de Processamento*

Antes do processamento, a FB permaneceu em estufa a 58°C por 24 horas para retirar a umidade. Os materiais foram pesados separadamente utilizando uma balança analítica AY-220 e preparados com as composições especificadas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Composição das amostras

Amostra	% FB	% PP	PP-g-MA (%)
PP	0	100	0
PP/FB	30	70	0
PPI/FB/MA	30	67	3

O PP, os agentes de acoplamento e a FB foram misturados manualmente antes de serem incorporados na extrusora, de acordo com as relações mássicas estabelecidas. A mistura manual foi incorporada na extrusora de dupla rosca HAAKE Rheomix OS PolyLab. Processou-se a uma temperatura de 180 °C, velocidade de rotação de 600 rpm, durante 5 minutos. Os corpos de prova (CP) para caracterização foram confeccionados por injeção, utilizando uma mini injetora (HAAKE Minijet II), com temperatura de 195 °C, temperatura no molde de 40°C e pressão de 400 bar.

## Caracterização

Para a realização dos ensaios mecânicos foram utilizados 7 corpos de prova por cada formulação. O ensaio de tração foi realizado numa máquina universal de ensaios modelo 4200 Instron, de acordo com a norma ASTM D638 [6], usando uma célula de carga de 5 kN e velocidade de 2 mm/min. O ensaio de flexão foi realizado numa máquina universal de ensaios modelo 4200 Instron, de acordo com a norma ASTM D790 [7], com célula de carga de 5 N.

Foram avaliadas as superfícies de fratura dos compósitos após o ensaio de tração, onde as amostras foram metalizadas com ouro 24 horas antes da análise utilizando microscópio eletrônico de varredura com aumento de 400X. Foi utilizado o microscópio eletrônico de varredura, marca Jeol, modelo JSM-6060 com 15 kV de voltagem.

## Resultados e Discussão

### Propriedades mecânicas

Na Figura 1 são apresentados os resultados do ensaio de tração dos compósitos com e sem agente de acoplamento.

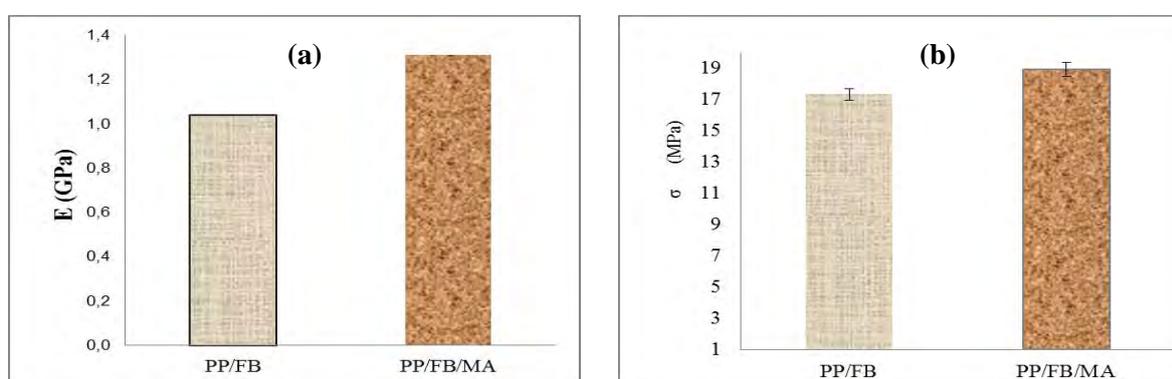
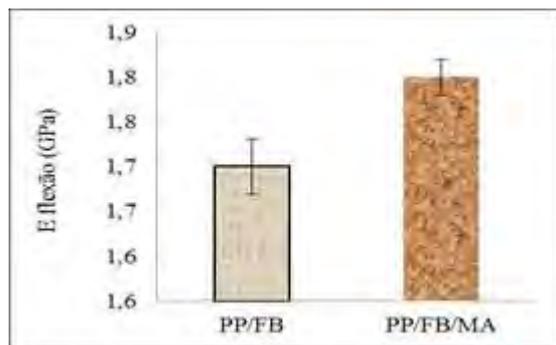


Figura 1: Resultados do ensaio de tração dos compósitos avaliados: (a) módulo de Young e (b) Resistência a tração na ruptura.

Na Fig. 1-a são mostrados resultados do módulo de Young, pode ser observado que o compósito com AC PP/FB/MA apresentou maior módulo elástico equivalente ao 26% de incremento quando comparado com aquele sem AC (PP/FB). Os agentes compatibilizantes favorecem o aumento na resistência a tração [8]. Este aumento pode estar relacionado com a formação de ligações covalentes entre o grupo carbonila do anidrido e os grupos hidroxila da superfície das fibras e às interações que acontecem com a matriz [9]. Na Fig. 1-b são mostrados resultados de resistência a tração na ruptura, o compósito PP/FB/MA teve maior resistência frente ao compósito sem AC.

A introdução de agentes de acoplamento resulta em uma maior adesão na interface fibra-matriz nos compósitos poliméricos reforçados com fibras vegetais [10]. O melhor resultado do compósito PP/FB/MA pode ser atribuído ao aumento das interações interfaciais entre o polímero e a fibra, proporcionado pela presença do AC PP-g-AM, este é um agente de acoplamento comercialmente conhecido, com uma estrutura química que favorece a ligação interfacial polímero/fibra, tal como mencionado anteriormente [9]. A presença do anidrido maleico proporcionou maior número de ligações com os grupos de hidroxilas da fibra de bambu, melhor adesão interfacial, por tanto maior módulo de Young nos compósitos [9].

Na Fig. 2 são mostrados os resultados do ensaio de flexão dos compósitos avaliados. Os resultados indicam que o maior módulo a flexão é apresentado pelo compósito com PP-g-AM. Maiores valores de módulo de flexão podem indicar aumento da adesão interfacial entre matriz polimérica e a fibra de bambu com a adição AC. O aumento quanto em % dos valores de resistência à flexão se relaciona com a redução da mobilidade das cadeias poliméricas provocada pelo incremento da adesão interfacial entre matriz polimérica e fibra [11].



**Figura 2:** Módulo de flexão dos compósitos avaliados.

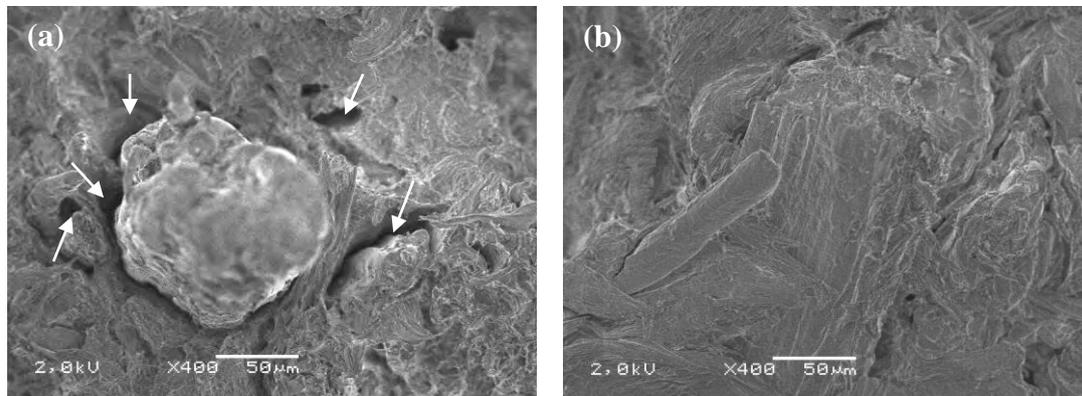
Na Tabela 2 é mostrado um resumo com os resultados das propriedades mecânicas obtidas, onde foi avaliada a presença do agente de acoplamento PP-g-AM.

**Tabela 2. Resultados das propriedades mecânicas**

Amostras	Tração		Flexão
	E (GPa)	$\sigma$ ruptura (MPa)	E flexão (GPa)
PP/FB	1,04 ± 0,13	17,30 ± 0,36	1,70 ± 0,03
PP/FB/MA	1,31 ± 0,10	18,90 ± 0,43	1,80 ± 0,02

### Morfologia

Na Fig. 3 são mostradas as micrografias obtidas por MEV da superfície de fratura depois do ensaio de tração, dos compósitos sem e com AC (PP-g-AM).



**Figura 3:** Micrografias da superfície de fratura dos compósitos avaliados.

Na Fig. 3-a se observa o compósito sem AC, pode ser observado o vazio deixado devido ao deslocamento da fibra no momento da fratura, o que indica uma fraca adesão interfacial na interface reforço-matriz [12, 13]. Na Fig. 3-b se observa que o compósito PP/FB/MA apresenta superfície com maior aderência e menos vazios quando comparado com o compósito não compatibilizado, isto indica que a presença deste AC proporcionou uma melhor interação da fibra com o polímero, esta maior força de adesão entre ambas fases confirma a maior resistência a tração na ruptura destes compósitos. Outros autores também observaram que a presença de AO favorece melhor interação fibra-matriz [14]. Estas observações são coerentes com os resultados das propriedades mecânicas, pois o compósito PP/FB/MA mostrou maior tensão aplicada para a ruptura do corpo de prova, isto indica uma superfície com fortes interações, um aumento da adesão interfacial quando comparados com o compósitos não compatibilizado.

## Conclusões

Em geral os resultados demonstraram que a presença do AC influencia na melhora do desempenho mecânico do compósito PP/FB, assim os compósitos com agente de acoplamento apresentaram maior interação entre o polímero e a fibra, o que favoreceu no aumento do módulo de Young em 26% e de flexão em 6%, assim como uma maior resistência a tração em 10%.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPQ pela ajuda financeira à pesquisa, à RESAG-SIBRATEC à UFRGS e ao LAPOL por permitir a realização dos ensaios.

## Referências Bibliográficas

- [1]. J. Maya, S. Thomas. Biofibers biocomposites. *Carbohydrate polymer*. 71 (2008) 343-364.
- [2]. M. Islam, M. Rahman, M Haque, M. Huque. Physicomechanical properties of chemically treated coir reinforced polypropylene composites. *Composites Part A*.41 (2010) 192-198.
- [3]. D. Roberts, R. Constable. Chemical coupling agents for field and grafted polypropylene composites. *Handbook of polypropylene and polypropylene composites*. (2003).
- [4]. A. Awal, S. Ghosh, M. Sain. Development and morphological characterization of wood pulp reinforced biocomposite fibers. *Journal Mater Science*. 44 (2009) 2876-2881.
- [5] L. Drzal,. Interfaces and Interphases. *ASM Handbook: Composites*. 21 (2001) ASM International.
- [6] American Society for Testing Materials ASTM D 638-10 Standard Test Method for Tensile e Properties of Plastics.
- [7] American Society for Testing Materials ASTM D 790 Standard Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics.
- [8]. M. Poletto, J. Jungles, A. Zattera, R. Santana. Efeito da utilização de ácidos orgânicos como agentes compatibilizantes em compósitos de PPr/Pó de madeira. In: 20 Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos materiais, Joinville, (2012).
- [9]. H. Liu, Q. Wu, G. Han, F. Yao, Y. Kojima, S. Suzuki. Compatibilizing and toughening bamboo flour-filled HDPE composites: mechanical properties and morphologies. *Composites Part A*. 39 (2008) 1891-1900.
- [10] X. Li, L. Tabil, S. Panigrahi. Chemical treatments of natural fiber for use in natural fiber-reinforced composites: A review. *J. Polymer Environment*. 15. (2007) 25-33.
- [11] C. Correa, C.Fonseca, S. Neves. Compósitos termoplásticos com madeira. *Polímeros: Ciência e Tecnologia* 13 (3) (2003) 154-165.
- [12]. M. Bengtsson, M. Le Baillif, K. Oksman. Extrusion and mechanical properties of highly filled cellulose fibre-polypropylene composites. *Composites Part A* 38 (2007) 1922-1931.
- [13] H-S. Kim, B-H. Lee, S-W. Chol, S. Kim, H-J Kim. The effect of types of maleic anhydride-grafted polypropylene (MAPP) on the interfacial adhesion properties of bio-flour-filled polypropylene composites. *Composites Part A* 38 (2007) 619-628.
- [14]. M. Poletto, J. Jungles, A. Zattera, R. Santana. Compósitos de polipropileno reciclado com pó de madeira: efeito da adição de compatibilizantes oriundos de fontes renováveis. In: 3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente. Bento Gonçalves (2012).