



## AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE RECICLAGEM DE MATRIZES BIODEGRADÁVEIS E DE SEUS COMPÓSITOS COM FIBRAS VEGETAIS

Douglas Milan Tedesco<sup>1</sup>  
Denise Maria Lenz<sup>2</sup>

### Resumo

Neste trabalho, biocompósitos de matriz polimérica biodegradável à base de amido de milho com 10% em massa de fibras vegetais de curauá com e sem agente de acoplamento foram manufaturados através de moldagem por injeção. A influência de cinco ciclos de processamento nas propriedades mecânicas dos biocompósitos e suas respectivas matrizes foi avaliada. As propriedades mecânicas investigadas foram resistência à tração e resistência ao impacto, além da dureza. Observou-se que a adição de fibra de curauá aumenta a dureza e a resistência ao impacto (RI) dos biocompósitos em relação à matriz e há uma tendência à diminuição destas propriedades com o aumento do número de ciclos de processamento. A adição do agente de acoplamento proporcionou um pequeno aumento na RI do biocompósito. Porém, a adição de fibra de curauá juntamente com o agente de acoplamento aumentou consideravelmente a resistência à tração na ruptura e não ocorreram alterações significativas em seus valores com o aumento no número de processamentos. Assim, os biocompósitos com fibras vegetais de curauá mostraram potencial para serem utilizados em aplicações diversas e podem ser reciclados até cinco ciclos de processamento sem perda significativa de suas propriedades.

Palavras chave: biocompósitos; fibra de curauá; reciclagem; propriedades mecânicas.

### INTRODUÇÃO

Os plásticos sintéticos são utilizados nos mais variados produtos, envolvendo tanto a questão do uso de um recurso finito (petróleo) quanto da destinação final ambientalmente correta destes produtos descartáveis, os quais podem levar uma centena de anos para se decompor. Uma alternativa é o desenvolvimento de compósitos com polímeros biodegradáveis (biocompósitos), visto que estes apresentam alta capacidade de degradação por alguns microorganismos naturais como fungos, bactérias e algas, conforme definição da ASTM D 883-99, diminuindo o impacto ambiental dos polímeros convencionais.

A busca pela diminuição do custo de produção e aprimoramento das propriedades mecânicas dos polímeros biodegradáveis torna-se a tendência dos processos atuais através da manufatura de biocompósitos de matriz biodegradável com fibras vegetais. A utilização de matriz de polímeros biodegradáveis apresenta vantagem, pois os mesmos apresentam uma temperatura de processamento inferior à temperatura de degradação comum das fibras vegetais (em torno de 220 °C), conforme Sykacek et al., 2009 e Lenz et al., 2012.

Utilizadas como reforço em compósitos de matrizes poliméricas convencionais, as fibras vegetais aliam propriedades/características que vão de encontro ao forte apelo ecológico como baixo custo, baixa densidade, boas propriedades térmicas, alto módulo específico, fonte renovável, biodegradabilidade, atóxicas e não abrasivas aos equipamentos de

---

1 Aluno do curso de graduação em Engenharia Química – Bolsista PROBITI/FAPERGS–  
[douglas.m.tedesco@gmail.com](mailto:douglas.m.tedesco@gmail.com)

2 Professora do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Materiais e Processos Sustentáveis (PPGEMPS) e do curso de graduação em Química– [denise.lenz@gmail.com](mailto:denise.lenz@gmail.com)

processamento, tornando-se candidatas em potencial para várias aplicações (BLEDZKI e GASSAN, 1999).

Planta nativa da Amazônia, a fibra de curauá é a única fibra vegetal que apresenta propriedades específicas comparáveis às da fibra de vidro (MATTOSE et al, 1996, ARAÚJO et al., 2002 e SPINACÉ et al., 2006). Estas fibras também apresentam potencial para reciclagem, enquanto que o destino final do compósito com fibra de vidro é o aterro sanitário ao término de sua vida útil (SILVA e AQUINO, 2008).

A reciclagem de polímeros biodegradáveis e de seus biocompósitos é um tema recente de pesquisa. Lopez et al. (2012) estudaram o efeito de múltiplos reprocessamentos via moldagem por injeção em biocompósitos de matrizes biodegradáveis com fibras de celulose. Os autores concluíram que estes biocompósitos podem ser reciclados 5 ou 10 vezes (dependendo da matriz), sem perda das suas propriedades mecânicas e, como a utilização de fibras vegetais conduz a um aumento significativo no valor destas propriedades, proporciona assim um aumento de vida útil destes materiais, ampliação de seu emprego em larga faixa de aplicação e a possibilidade de reciclagem dos biocompósitos.

O objetivo deste trabalho foi a avaliação do potencial de reciclagem de matrizes de polímeros biodegradáveis e de seus biocompósitos com fibra vegetal de curauá, processados através de moldagem por injeção. O potencial de reciclagem foi avaliado através das alterações nas propriedades mecânicas em função do aumento dos ciclos de reprocessamento.

## **METODOLOGIA**

A matriz dos biocompósitos é composta por polímero biodegradável à base de amido de milho PolyEco<sup>®</sup> EP103 da O2 Bioplásticos utilizado na concentração de 60% em massa e 40% em massa de polipropileno (PP) H306 da Braskem. A fibra vegetal de curauá (FC) foi fornecida pela Itua Agroindustrial, sendo utilizada na concentração de 10% em massa, quando requerida. A adição de agente de acoplamento entre a fibra e o polímero foi testada, utilizando o anidrido maleico (polipropileno grafitizado com 1% de anidrido maleico com nome comercial de Polybond 3200 - PB) usado na concentração de 3% em massa no biocompósito. Assim, os seguintes biocompósitos foram testados: PolyEco/PP/FC e PolyEco/PP/PB/FC e comparadas suas propriedades com as respectivas matrizes puras, ou seja, sem fibra vegetal (FC).

As fibras foram tratadas com solução de hidróxido de sódio e lavadas, secas e cortadas em moinho de facas marca SEIBT, conforme Lenz et al., 2008. O processamento dos biocompósitos foi realizado em máquina injetora HIMACO usando perfil de temperatura entre 160 e 180<sup>o</sup>C. O primeiro processamento de cada biocompósito foi realizado em duas etapas: na primeira foi realizado uma pré-mistura (masterbatch) seguida do processamento propriamente dito na segunda etapa. Após este primeiro ciclo de processamento, os biocompósitos e suas matrizes foram cortadas e re-injetadas até cinco ciclos de reprocessamento para avaliação do comportamento de suas propriedades.

As matrizes biodegradáveis e seus biocompósitos foram submetidos a testes de resistência à tração em Máquina Universal de Ensaio, conforme a norma ASTM D638, ensaio de resistência ao impacto (Izod com entalhe), conforme a norma ASTM D256 e ensaio de dureza (escala shore ou rockwell), conforme a norma ASTM D2240.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

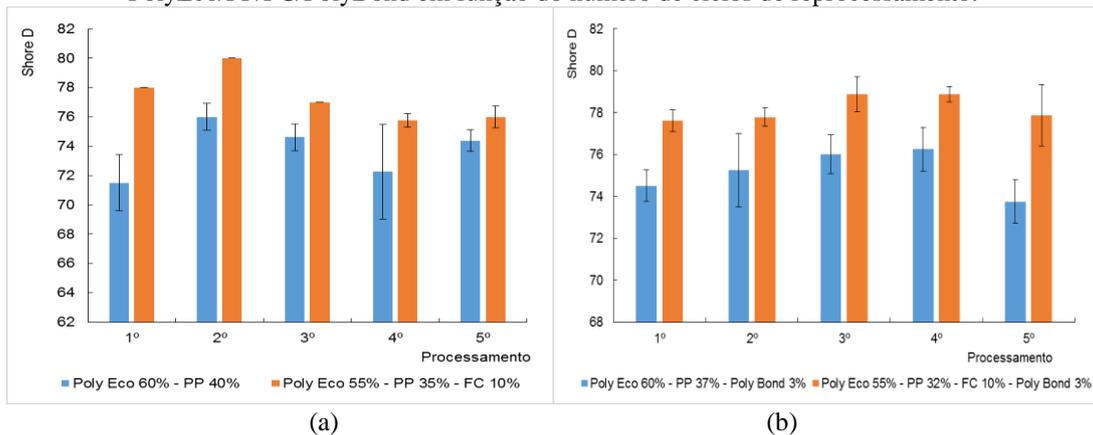
### **Avaliação da Propriedade da Dureza**

Na Figura 1a é apresentado os resultados dos ensaios de dureza obtidos para a matriz PolyEco/PP e para o biocompósito PolyEco/PP/FC e na Figura 1b para a matriz PolyEco/PP/PolyBond e para o biocompósito utilizando o agente de acoplamento

polímero/fibra (PolyEco/PP/FC/PolyBond), todos em função do número de ciclos de processamento.

Como pode ser observado, a adição de fibra de curauá aumenta a dureza de ambos biocompósitos, PolyEco/PP/FC e PolyEco/PP/FC/PolyBond, em relação as matrizes PolyEco/PP e PolyEco/PP/PolyBond. Conforme o aumento dos ciclos de processamento, houve uma tendência à diminuição desta propriedade em ambas as matrizes e ambos os biocompósitos. A adição do agente de acoplamento (PolyBond) não proporcionou um aumento significativo na dureza do biocompósito.

Figura 1: Dureza Shore D dos biocompósitos: (a) PolyEco/PP e PolyEco/PP/FC e (b) PolyEco/PP/PolyBond e PolyEco/PP/FC/PolyBond em função do número de ciclos de reprocessamento.

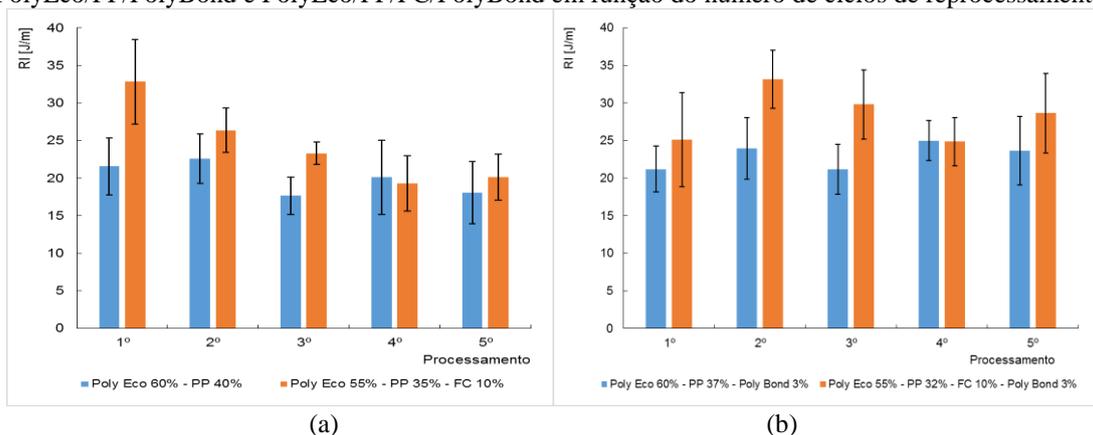


Fonte – Autores.

### Avaliação da Propriedade da Resistência ao Impacto (RI)

A Figura 2a apresenta os resultados de Resistência ao Impacto (RI) para a matriz PolyEco/PP e o biocompósito PolyEco/PP/FC e a Figura 2b para a matriz PolyEco/PP/PolyBond e o biocompósito PolyEco/PP/FC/PolyBond, conforme o número de processamento.

Figura 2: Resistência ao Impacto (RI) dos biocompósitos: (a) PolyEco/PP e PolyEco/PP/FC e (b) PolyEco/PP/PolyBond e PolyEco/PP/FC/PolyBond em função do número de ciclos de reprocessamento.



Fonte – Autores.

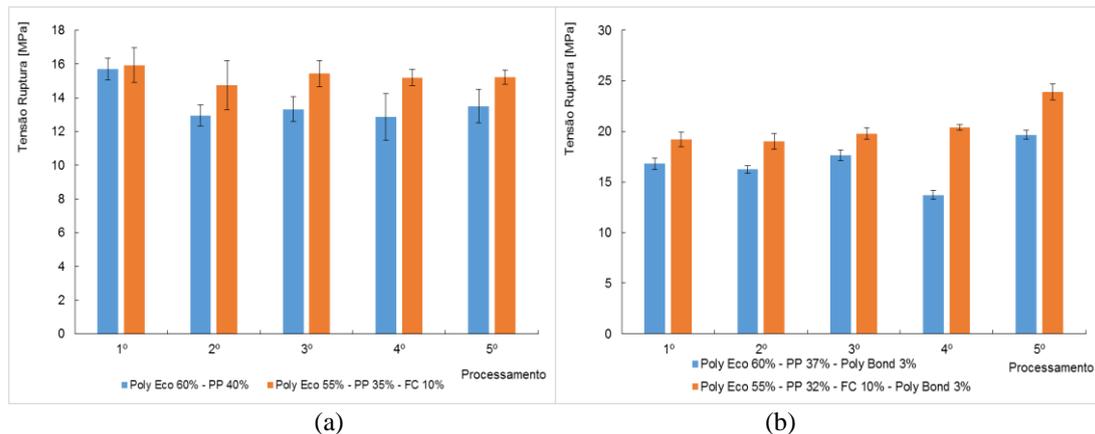
A resistência ao impacto (RI) mostrou uma leve tendência a diminuir com o aumento de ciclos de reprocessamento em ambas as matrizes e ambos os biocompósitos. Como pode ser observado, a RI do biocompósito com fibra de curauá têm aumentado em relação a RI da matriz. A adição do agente de acoplamento (PolyBond) proporcionou um pequeno aumento na RI do biocompósito.

Ainda pode-se visualizar que, ao aumentar o número de ciclos de reprocessamento do material, os desvios padrões da RI diminuíram, evidenciando a coerência dos resultados e a maior homogeneidade da amostra.

### Avaliação da Propriedade de Resistência à Tração na Ruptura

Os resultados da tensão de ruptura, obtidos a partir do ensaio de tração, da matriz PolyEco/PP e do biocompósito PolyEco/PP/FC com e sem Polybond, conforme o número de processamento, são apresentados na Figura 3 (a e b).

Figura 3: Tensão de Ruptura dos biocompósitos: (a) PolyEco/PP e PolyEco/PP/FC e (b) PolyEco/PP/PolyBond e PolyEco/PP/FC/PolyBond em função do número de ciclos de processamento.



Fonte – Autores.

A tensão de ruptura é menor na matriz PolyEco/PP em relação ao biocompósito PolyEco/PP/FC em todos os ciclos de processamento. Com o aumento dos ciclos de processamento da matriz, observa-se que não houve alterações significativas na tensão de ruptura da matriz PolyEco/PP e do biocompósito PolyEco/PP/FC.

Na Figura 3b, observa-se que a tensão de ruptura da matriz PolyEco/PP/PolyBond é menor que a tensão de ruptura do biocompósito PolyEco/PP/FC/PolyBond em todos os processamentos. Não houve mudanças significativas na tensão de ruptura em relação ao aumento dos ciclos de processamento tanto da matriz PolyEco/PP/PolyBond como do biocompósito PolyEco/PP/FC/PolyBond.

O biocompósito PolyEco/PP/FC/PolyBond possui a maior tensão de ruptura entre eles. Neste caso, a adição da fibra de curauá, na presença do agente de acoplamento, proporcionou um aumento significativo nesta propriedade. No quinto ciclo de processamento, registrou-se um aumento levemente superior a 40% na tensão de ruptura para biocompósitos PolyEco/PP/FC/PolyBond em comparação com biocompósitos PolyEco/PP/FC.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os resultados, biocompósitos com matriz à base de amido de milho com fibras de curauá e agente de acoplamento demonstraram potencial para serem usados em aplicações tecnológicas a serem estudadas, tendo em vista que os mesmos apresentaram valores consideráveis de resistência de ruptura à tração até o quinto ciclo de processamento. Da mesma forma, a dureza e a resistência ao impacto destes biocompósitos apresentaram os maiores valores, comparando com a matriz pura e com leve tendência à diminuição destes valores até o quinto ciclo de processamento.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fapergs pelo auxílio financeiro.

## REFERÊNCIAS

- AMERICAN STANDARD FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **D256-97**: Standard test methods for determining the Izod pendulum impact resistance of plastics. West Conshohocken, 1997.
- \_\_\_\_\_. **D638-03**: Standard test methods for tensile properties of plastics. West Conshohocken, 2003.
- \_\_\_\_\_. **D883-99**: Standard terminology relating to plastics. West Conshohocken, 1999.
- \_\_\_\_\_. **D2240-10**: Standard Test Method for Rubber Property – Durometer Hardness. West Conshohocken, 2010.
- ARAÚJO, C. R.; PERLAZA, L. C.; MOTHÉ, C. G. Thermal Properties of Commercial and Castor Oil Polyurethane Composites with Curaua Fiber. **The Scientific Electronic Library Online – SciELO**, São Carlos, Polímeros v. 14, n. 4, 2002. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-14282004000400014&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-14282004000400014&script=sci_arttext)>. Acesso em: 28 jul. 2015.
- BLEDZKI, A. K.; GASSAN, J. Composite Reinforced with Celulose Based Fibers. **Prog. Polym. Sci. Elsevier**, Kassel, v. 24, p. 221–274, 1999. Disponível em: <[http://www.researchgate.net/publication/223742509\\_Composites\\_reinforced\\_with\\_cellulose\\_based\\_fibres.\\_Prog\\_Polym\\_Sci](http://www.researchgate.net/publication/223742509_Composites_reinforced_with_cellulose_based_fibres._Prog_Polym_Sci)>. Acesso em: 27 jul. 2015.
- LENZ, D. M.; VERNEY, J. C. K.; LIMA, M. F. S. Properties of SBS and Sisal Fiber Composites: Ecological Material for Shoe Manufacturing. **The Scientific Electronic Library Online – SciELO**, São Carlos, Materials Research, v. 11, n. 4, p. 447-451, 2008. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-14282004000400014&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-14282004000400014&script=sci_arttext)>. Acesso em: 27 jul. 2015.
- LENZ, D. M.; HARNNECKER, F.; ROSA, D. S. Biodegradable Polyester-based Blend Reinforced with Curauá Fiber: Thermal, Mechanical and Biodegradation Behaviour. **Springer – J. Polym Environ**, v. 20, ed. 1, p. 237-244, mar. 2012. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10924-011-0382-5#page-1>>. Acesso em: 28 jul. 2015.
- LOPEZ, J. P.; GIRONES, J.; MENDEZ, J. A.; PUIG, J.; PELACH, M. A. Recycling Ability of Biodegradable Matrices and Their Cellulose-Reinforced Composites in a Plastic Recycling Stream. **Springer – J. Polym Environ**, v. 20, ed. 1, p. 96-103, mar. 2012. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10924-011-0333-1>>. Acesso em: 25 jul. 2015.
- MATTOSO, L.H.C.; FERREIRA, F.C.; CURVELO, A. A S. Sisal fiber: morphology and applications in polymer composites, **In: Proceedings of International Symposium on Lignocellulosics-Plastics Composites**, 1, São Paulo, mar. 1996.
- SILVA, R. V. e AQUINO, E. M. F., Curaua fiber. A new alternative to polymeric composites. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, v. 27, n. 11, p.103-112, 2008.
- SPINACE, M. A. S.; MANO, B. I. S.; CAPELA, E. T.; FERMOSELLI, K. K.; DE PAOLI, M.-A. Termoplásticos reforçados com fibra de Curauá processados por extrusão e moldados por injeção. **The Scientific Electronic Library Online – SciELO**, São Carlos, Polímeros, v. 21, n 3, p. 168-174, 2011. Disponível em:<[http://www.scielo.br/pdf/po/v21n3/aop\\_0700.pdf](http://www.scielo.br/pdf/po/v21n3/aop_0700.pdf)>. Acesso em: 25 jul. 2015.
- SYKACEK, E.; HRABALOVA, M.; FRECH, H.; MUNDIGLER, N. Extrusion of five biopolymers reinforced with increasing wood flour concentration on a production machine, injection moulding and mechanical performance. **Composites: Part A** 40, 1272-1282, 2009.

Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359835X09001717>>.  
Acesso em: 25 jul. 2015.