



EFEITO DO TEOR DE FIBRA DE CURAUÁ NO DESEMPENHO MECÂNICO DE COMPÓSITOS DE PEAD PÓS-CONSUMO

Vanessa Z. Kieffer^{1*} e Ruth M. C. Santana¹

*1 - Departamento de Engenharia de Materiais (DEMAT), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS, Brasil.
vanessa.kieffer@hotmail.com*

RESUMO

Com menos de um século de uso em larga escala, os materiais poliméricos estão cada vez mais presentes em nossas vidas. Porém, nem sempre os materiais poliméricos possuem as propriedades necessárias para determinada aplicação. Quando empregamos um determinado tipo de polímero em produtos que solicitam uma maior resistência mecânica, surge a necessidade da incorporação de reforços na matriz polimérica. Desta forma, o presente estudo tem como objetivo determinar o teor de fibra mais adequado, em termos de desempenho mecânico, para desenvolver um material compósito utilizando como matriz polimérica o polietileno de alta densidade pós-consumo (PEADpc), fibras de curauá (FC) como reforço e PE-g-AM como agente de acoplamento. Para tal, foram produzidas quatro formulações com diferentes teores de fibras de curauá (20, 25, 30 e 35%) e os corpos de prova foram confeccionados através de moldagem por injeção. As amostras foram caracterizadas por meio de ensaio de tração, flexão e impacto Izod. Os resultados obtidos indicaram que o PEADpc pode substituir o PEAD virgem, sem que ocorra prejuízos significativos em relação a perdas de propriedades. E, por sua vez, a utilização da fibra de curauá como reforço na matriz polimérica melhora significativamente as propriedades mecânicas do material compósito. Quando comparado com a matriz polimérica (PEADpc), o PEADpc/30FC apresentou um aumento de 198,05% no módulo de elasticidade à tração, 125,67% de resistência à tração na ruptura, 183,06% no módulo de elasticidade à flexão e 76,37% de resistência à flexão. Ademais, apresentou uma diminuição de 83,78% na resistência ao impacto, confirmando a maior rigidez destes materiais compósitos e maior desempenho mecânico para determinadas aplicações.

Palavras-chave: *desempenho mecânico; polietileno de alta densidade pós-consumo; fibra de curauá; moldagem por injeção; compósito termoplástico.*

INTRODUÇÃO

Com menos de um século de uso em larga escala, os materiais poliméricos estão cada vez mais presentes em nossas vidas. Seu sucesso ocorreu em função de oferecer soluções baratas para problemas tecnológicos e sociais relevantes, que beneficia tanto quem produz quanto quem consome essas novas tecnologias. Porém, nem sempre os polímeros possuem as propriedades necessárias para determinada aplicação. Quando empregamos um determinado tipo de polímero em produtos que solicitam uma maior resistência mecânica, surge a necessidade da incorporação de reforços. ⁽¹⁾ Segundo Callister e Rethwisch ⁽²⁾, muitas das tecnologias modernas exigem materiais com combinações atípicas de propriedades que não podem ser atendidas por

materiais comuns. As combinações e as faixas das propriedades dos materiais foram, e ainda estão sendo, ampliadas através do desenvolvimento de materiais compósitos.

Diante das novas necessidades do mercado, e da preocupação com o meio-ambiente, toda a concepção de produtos tem sido analisada. ⁽³⁾ Embora muitas vezes não percebemos, boa parte dos artefatos vendidos, principalmente embalagens e bens não duráveis, tornam-se resíduos em menos de um ano ou após um único uso. Logo, é relevante a busca por inovações que considerem o conceito de sustentabilidade em seus princípios. Considerando esse cenário, a reutilização de polietileno de alta densidade pós-consumo (PEADpc) apresenta-se como uma boa alternativa para oferecer um destino mais nobre a diversas embalagens descartadas, evitando uma destinação indevida pelo consumidor. Além da visão ambiental, ressalta-se a face econômica deste processo, visto que os materiais poliméricos possuem alto valor agregado, e descartá-los no meio ambiente retrata uma utilização menos eficiente dos recursos empregados em sua cadeia produtiva.

Embora os polímeros termorrígidos sejam responsáveis pela maior demanda de matrizes para compósitos estruturais, os polímeros termoplásticos têm se mantido como uma alternativa, em razão da maior tenacidade à fratura, maior resistência ao impacto e maior tolerância a danos em relação aos termorrígidos. ⁽⁴⁾ Ademais, temos a possibilidade de substituir as fibras sintéticas comumente utilizadas, como as fibras de vidro, por fibras naturais. Sendo assim, uma alternativa econômica, salubre e ecologicamente adequada.

Além disso, o Brasil possui um grande potencial produtivo de diversas espécies de recursos renováveis, onde as fibras de curauá (*Ananas erectifolius*) vêm ganhando notoriedade devido suas excelentes propriedades. ⁽⁵⁾ O interesse pelo curauá, uma planta amazônica da família do abacaxi, originou-se da observação do uso desse material pelos índios na fabricação de cordas, redes de dormir e linhas de pesca, produtos que atestam as qualidades de resistência e leveza. Dessa forma, o objetivo do presente estudo é desenvolver um material compósito através de moldagem por injeção, visando analisar o efeito da incorporação das fibras de curauá (FC) na matriz polimérica de polietileno de alta densidade pós-consumo (PEADpc), em termos de desempenho mecânico.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a formulação dos compósitos foi selecionado o polietileno de alta densidade pós-consumo (PEADpc) como matriz polimérica, proveniente de potes/embalagens de manipulados; a fibra de curauá (FC) como reforço e o polietileno graftizado com anidrido maleico (PE-g-AM) como agente de acoplamento. A fim de determinar a formulação mais adequada para a obtenção do material compósito com melhor desempenho mecânico, foram produzidas formulações com diferentes teores de fibras de curauá, conforme especificado na Tabela 1.

Tabela 1: Composições mássicas das amostras.

Amostras	PEADpc (%)	FC (%)	PE-g-AM (%)
PEADpc	100	-	-
PEADpc/20FC	77	20	3
PEADpc/25FC	72	25	3
PEADpc/30FC	67	30	3
PEADpc/35FC	62	35	3

Seguidamente, os materiais foram misturados e homogeneizados na câmara *HAAKE Rheomix OS PolyLab*, para a obtenção do material compósito. Esta mistura passou por um processo de redução de granulometria e, posteriormente, os corpos de prova foram confeccionados pelo processo de moldagem por injeção em uma injetora de pistão modelo *Mini-Jet II*.

Métodos de Caracterização

Para determinar a resistência e o módulo de elasticidade à tração foi realizado ensaio de tração, de acordo com a norma ASTM D638, utilizando a máquina de ensaios universal *Instron* EMIC 23-5D com uma célula de carga de 5 kN sob velocidade constante de 2 mm/min. A fim de determinar a resistência e o módulo de elasticidade à flexão foi realizado ensaio de flexão, de acordo com a norma ASTM D790, utilizando a máquina de ensaios universal *Instron* EMIC 23-5D com uma célula de carga de 5 kN sob velocidade constante de 2mm/min, até atingir 5% de deformação. E, por fim, foi realizado ensaio de impacto, de acordo com a norma ASTM D4812, utilizando o equipamento *CEAST IMPACTOR II* com martelo de 2,75 J.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Desempenho Mecânico à Tração

A fim de analisar as propriedades de tração da matriz polimérica e do material compósito com diferentes teores de fibra de curauá, foi realizado o ensaio de tração. Através do gráfico de tensão *versus* deformação das amostras analisadas, apresentada na Figura 1, pode-se observar as relações entre a força aplicada e as deformações ocorridas durante o ensaio. E, os valores do módulo de elasticidade (E), resistência à tração máxima ($\sigma_{\text{máx.}}$), resistência à tração na ruptura (σ) e alongamento na ruptura, ou deformação (ϵ), estão especificados na Tabela 2.

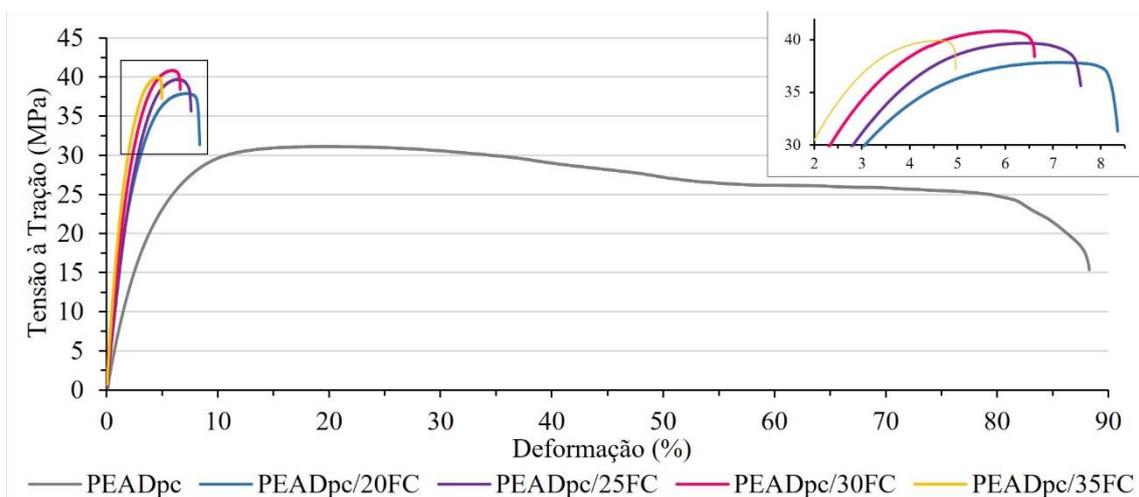


Figura 1: Curvas das amostras analisadas através do ensaio de tração.

Tabela 2: Propriedades mecânicas das amostras analisadas através do ensaio de tração.

Amostras	E (MPa)	$\sigma_{\text{máx}}$ (MPa)	σ (MPa)	ϵ (%)
PEADpc	443,15 ± 7,72	32,13 ± 0,73	17,45 ± 1,01	88,28 ± 3,84
PEADpc/20FC	1012,56 ± 93,34	38,50 ± 0,85	35,75 ± 1,20	8,31 ± 0,32
PEADpc/25FC	1063,35 ± 57,92	39,45 ± 1,10	36,27 ± 1,11	7,95 ± 0,41
PEADpc/30FC	1320,81 ± 95,32	40,74 ± 1,31	39,38 ± 1,26	6,51 ± 0,13
PEADpc/35FC	1383,65 ± 55,79	39,29 ± 0,62	38,06 ± 0,86	4,86 ± 0,89

Através dos resultados obtidos no ensaio de tração, verifica-se que o PEADpc possui excelente tenacidade mesmo após o reprocessamento, sendo capaz de sofrer uma maior deformação antes de romper. Porém, como todo termoplástico, apresenta baixa resistência à tração e baixo módulo de elasticidade. Nota-se, também, que à medida que se acrescenta a fibra, diminui-se a deformação do polímero, aumenta-se o módulo de elasticidade e a resistência à tração. Esse

aumento na resistência mecânica do material compósito é atribuído ao efeito de reforço que as fibras proporcionam. Entretanto, com teores acima de 30% FC o material compósito começa a perder resistência à tração, corroborando com outros estudos presentes na literatura. ⁽⁶⁻⁷⁾ Apesar do PEADpc/35FC apresentar um maior módulo de elasticidade, a incorporação de uma grande quantidade de fibras diminui a resistência à tração do material. Essa redução das propriedades mecânicas em compósitos termoplásticos com teores de fibra mais elevados pode ser devido a uma má adesão fibra-matriz, o que promove a formação de microfissuras na interface, bem como a transferência de tensão não-uniforme devido a aglomeração de fibras dentro da matriz. ⁽⁷⁾ E, segundo Fornari Jr. ⁽⁸⁾, a aglomeração das fibras é um fator negativo para as propriedades mecânicas do compósito.

Desempenho Mecânico à Flexão

Para avaliar o comportamento do material de resistir à força de dobramento aplicada perpendicularmente ao seu eixo longitudinal, foi realizado ensaio de flexão de três pontos. A partir das curvas de tensão à flexão *versus* deformação das amostras analisadas, apresentadas na Figura 2, foi obtido os valores do módulo de elasticidade (E) e resistência à flexão em 5% de deformação (σ), especificados na Tabela 3.

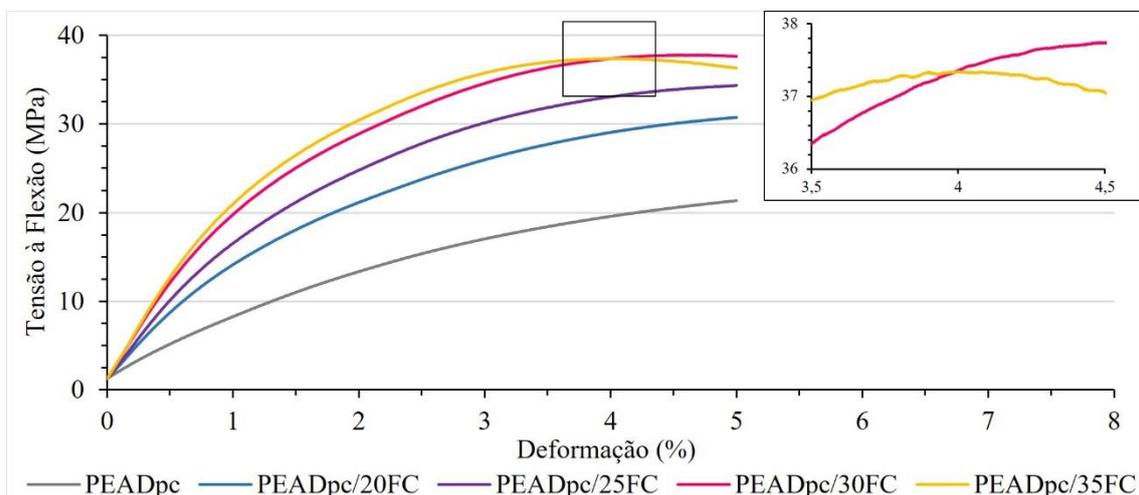


Figura 2: Curvas das amostras analisadas através do ensaio de flexão.

Tabela 3: Propriedades mecânicas das amostras analisadas através do ensaio de flexão.

Amostras	E (MPa)	σ (MPa)
PEADpc	716,01 \pm 9,71	21,33 \pm 0,39
PEADpc/20FC	1368,88 \pm 20,35	30,73 \pm 0,27
PEADpc/25FC	1635,33 \pm 32,90	34,35 \pm 0,51
PEADpc/30FC	2026,75 \pm 71,45	37,62 \pm 0,40
PEADpc/35FC	2230,11 \pm 46,13	36,27 \pm 0,47

Através das análises, observa-se que houve um aumento de resistência à flexão e módulo de elasticidade à medida que se acrescenta a fibra à matriz polimérica. Entretanto, na amostra de PEADpc/35FC, nota-se uma queda de resistência após 4% de deformação do material compósito. Reafirmando os resultados do ensaio de tração onde, apesar do constante aumento de módulo, houve uma diminuição de resistência nas amostras com 35% FC.

Porém, para as amostras de PEADpc/30FC, é apresentado um aumento de 183,06% no módulo de elasticidade à flexão e 76,37% de resistência, quando comparado com a matriz polimérica,

PEADpc. Indicando, mais uma vez, que o reforço das fibras foi efetivo no aumento de resistência dos materiais compósitos até um limite de 30% de reforço vegetal.

Outro fator que confirma a eficácia da transferência de tensões no material compósito é o alto valor encontrado para o módulo de elasticidade. Segundo Levy Neto e Pardini ⁽⁴⁾, o valor do módulo de elasticidade quantifica a rigidez. Ou seja, quanto maior é o seu valor, maior será o esforço a ser feito para deformar um material.

Resistência ao Impacto

A fim de avaliar a resistência ao impacto dos materiais compósitos com diferentes teores de fibra de curauá, foi realizado o ensaio de impacto Izod. A Figura 3 apresenta o resultado das médias de resistência ao impacto das amostras analisadas.

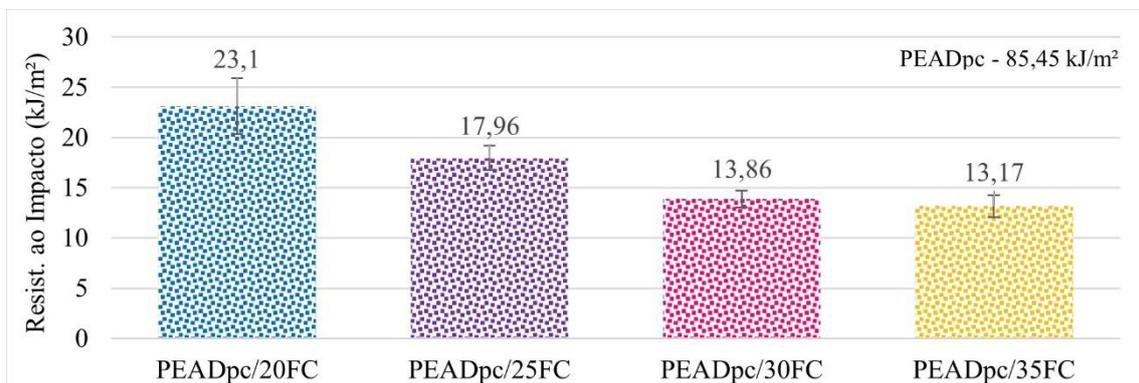


Figura 3: Resistência ao impacto das amostras analisadas.

Ao analisar os resultados, observa-se uma diminuição na resistência ao impacto do material compósito à medida que se aumenta o teor de fibra, apesar de que, a partir do teor de 30% essa diminuição é reduzida. De acordo com Pereira ⁽⁹⁾, essa diminuição na resistência ao impacto do material compósito ocorre devido ao fato de que o reforço promove uma redução da ductilidade do material. Isto, faz com que o caráter frágil dos compósitos seja maior. Ademais, pode-se justificar a redução da resistência ao impacto pela diminuição da tenacidade dos materiais compósitos.

Estes resultados podem ser correlacionados com o ensaio de tração, onde, à medida que se acrescenta a fibra, diminui-se a deformação do material e aumenta-se o módulo de elasticidade. Pois, a ductilidade corresponde à elongação do material, devido à deformação plástica. Sugerindo que, quanto menor o alongamento da fratura, mais rígido será o material.

CONCLUSÕES

Através dos resultados obtidos foi possível verificar que a utilização da fibra de curauá como reforço na matriz polimérica melhora significativamente as propriedades mecânicas do material compósito. Além disso, conclui-se que, a formulação contendo 30% FC promoveu o melhor desempenho mecânico entre as demais formulações estudadas. Pois, quando comparado com a matriz polimérica (PEADpc), o PEADpc/30FC apresentou um aumento de 198,05% no módulo de elasticidade à tração, 125,67% de resistência à tração na ruptura, 183,06% no módulo de elasticidade à flexão e 76,37% de resistência à flexão. E, apesar do PEADpc/35FC apresentar um maior módulo de elasticidade, a incorporação de uma grande quantidade de fibras diminui a resistência à tração, flexão e a resistência ao impacto do material compósito.

REFERÊNCIAS

1. CORDEBELLO, F. S. Polímeros do futuro: tendências e oportunidades. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 13, n. 1, p. 4-43, 2003.
2. CALLISTER Jr., W. D.; RETHWISCH, D. G. *Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução*. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
3. ASHBY, M.; JOHNSON, K. *Materiais e Design: Arte e ciência da seleção de materiais no design de produto*. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.
4. LEVY NETO, F.; PARDINI, L. C. *Compósitos Estruturais: Ciência e Tecnologia*. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2018.
5. SILVA, R.V.; AQUINO, E. M. F. Curaua Fiber: A New Alternative to Polymeric Composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, v. 27, n. 1, p. 103-112, 2008.
6. ROBIN, J. J.; BRETON, Y. Reinforcement of recycled polyethylene with wood fibers heat treated. *Journal Reinforced Plastics and Composites*, v. 20, n. 14, p. 1253-1262, 2001.
7. MOHANTY, S.; NAYAK, S. K. Interfacial, Dynamic Mechanical, and Thermal Fiber Reinforced Behavior of MAPE Treated Sisal Fiber Reinforced HDPE Composites. *Journal of Applied Polymer Science*, v. 102, p. 3306-3315, 2006.
8. FORNARI Jr., C. C. M. *Fibras vegetais para compósitos poliméricos*. Ilhéus: Editus, 2017.
9. PEREIRA, G. B. *et al.* Caracterização de compósitos de Poliestireno de Alto Impacto (HIPS), reforçados com fibras de coco verde para eventual aplicação na indústria automobilística. *Cadernos UniFOA, Volta Redonda*, n. 34, p. 15-22, 2017.

EFFECT OF CURAUUA FIBER CONTENT ON THE MECHANICAL PERFORMANCE OF POST CONSUMPTION HDPE COMPOSITES

ABSTRACT

With less than a century of large-scale use, polymeric materials are increasingly present in our lives. However, polymeric materials do not always have the properties required for a given application. When we use a certain type of polymer in products that require greater mechanical strength, the need arises to incorporate reinforcements in the polymer matrix. Thus, the present study aims to determine the most suitable fiber content, in terms of mechanical performance, to develop a composite material using post-consumer high-density polyethylene (HDPEpc) as a polymer matrix, curaua fibers (FC) as reinforcement and PE-g-MA as a coupling agent. For this, four formulations were produced with different contents of curaua fibers (20, 25, 30 and 35%) and the specimens were made by injection molding. The samples were characterized by means of tensile, bending and Izod impact tests. The results obtained indicates that HDPEpc can replace virgin HDPE, without significant losses in terms of properties. And, in turn, the use of curaua fiber as a reinforcement in the polymer matrix significantly improves the mechanical properties of the composite material. When compared with the polymer matrix (HDPEpc), HDPEpc/30FC showed an increase of 198.05% in the tensile modulus of elasticity, 125.67% in tensile strength at break, 183.06% in the flexural modulus of elasticity and 76.37% flexural strength. Furthermore, it showed an 83.78% decrease in impact resistance, confirming the greater rigidity of these composite materials and greater mechanical performance for certain applications.

Keywords: *mechanical performance; post-consumer high-density polyethylene; curaua fiber; injection molding; thermoplastic composite.*