

SIMULAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE UM PP COMERCIAL REFORÇADO COM FIBRAS NATURAIS DE COCO

G.A. Costa; D.D.S. Diniz; D.P.A. Peña; D.S. Medeiros; I.O. Fernandes;

⁽¹⁾Universidade Federal Rural do Semi-árido, Caraúbas, RN - Brasil.

Rua: Albani Salustino, 634, Bairro: Manoel Salustino, Currais Novo/RN – 59380-000
guilhermealves.engmec@gmail.com

RESUMO

O advento da tecnologia moderna trouxe aumento do uso de reservas naturais, isso tem consequências deletérias ao planeta. Compreendendo isso, acentuou-se a busca por materiais ecologicamente amigáveis. Estima-se uma produção anual de coco de 1,5 bilhões de frutos em uma área cultivada de 2,7 milhões de hectares no território brasileiro. Esse artigo tem intenção de caracterizar compósitos poliméricos com fibras de coco e matriz polimérica de PP. O polipropileno é um termoplástico com elevada rigidez e é reciclável. O reforço tem variação entre 20-40% da fração volumétrica. O programa escolhido para efetuar as simulações foi o Ansys, que utiliza o Método dos Elementos Finitos (MEF) e permite caracterizar os efeitos e fenômenos apresentados no meio da análise de compósitos. Os resultados obtidos foram satisfatórios e permitiram a caracterização das propriedades mecânicas, validando as hipóteses adotadas no problema.

Palavras-chave: Materiais Compósitos; Fibras de Coco; Propriedades Mecânicas; Matriz PP.

INTRODUÇÃO

Com o crescente desenvolvimento do mundo moderno, o consumo de materiais foi se elevando cada vez mais, com o passar dos anos. Diante desse crescimento, muitos materiais se tornaram obsoletos para algumas atividades, já que requer materiais com combinações bem peculiares de propriedades que não podem ser atendidas por ligas metálicas, cerâmicas e materiais poliméricos. Para tais aplicações desenvolveu-se uma nova classe de materiais, os materiais compostos ou compósitos. Aplicação dos materiais compósitos vai desde a indústria aeroespacial até piscinas e carcaças de carros.

Os materiais compósitos mais utilizados atualmente têm seus reforços fibras sintéticas, como: aramida, vidro e carbono. Entretanto, vem crescendo os estudos para a substituição total o parcial de destas fibras por fibras naturais. As fibras naturais são provenientes de fontes renováveis, ecológicas e ambientalmente amigáveis, desta forma os compósitos produzidos são biodegradáveis, podem ser facilmente reciclados e apresentam baixo custo energético em sua produção. Além dessas vantagens, as fibras naturais têm características relevantes em relação a outros materiais, por exemplo, alta rigidez e baixa densidade e abrasividade, baixo custo, facilidade no processamento e o principal que pode ser proveniente de práticas agrícolas.

No entanto, algumas desvantagens geram receio na sua utilização das fibras naturais em compósitos, tais como elevada absorção de umidade, baixa temperatura de decomposição e fraca adesão superficial entre a fibra e a matriz. Apesar dessas desvantagens, o uso dessas fibras vem crescendo devido a possibilidade de contornar esses problemas.

O mundo moderno está acostumado a viver com a facilidade e a versatilidade que as elevadas formas de consumo oferecem. Tendo em vista que essa globalização leva a um alto grau de consumo, e conseqüentemente gera interesses. Diante disso os materiais compostos relacionam dois fatores de interesse: o econômico e performance.

O fator econômico vem do fato do material composto ser muito mais leve que materiais metálicos, o custo de fabricação pode ser menor se comparado aos materiais metálicos. O fator performance está ligado a procura por um melhor desempenho de componentes estruturais, sobretudo o que diz respeito às características mecânicas

MODELO COMPOSTO

O Método por Elementos Finitos (MEF) é utilizado para modelar o comportamento de um material no nível micromecânico. Diante disto, nessa secção será modelado cada elemento com uma propriedade ortotrópica. Como as dimensões do modelo são pequenas, foi utilizada uma malha fina de elementos. Este modelo pode ser usado para vários propósitos, mas um fator que foi importante neste trabalho foi que o carregamento foi aplicado com aumento gradativo de

tensão, para que assim fosse feito parâmetros de comparação entre compósitos que variam o teor da fibra.

Modelagem MEF

Um arranjo tridimensional retangular foi utilizado para descrever o comportamento do compósito. O composto contém fibras longas alinhadas organizadas em camadas (lamina). Foi modelada como uma disposição uniforme regular de fibra numa matriz, divididas em cinco camadas.

Este modelo assume que a fibra era um cilindro perfeito de comprimento L , e o diâmetro ($d = 0,20$ mm) numa matriz de PP.

Considerando que segue a teoria do desempenho eficaz, a tensão de tração média do modelo, foi calculada por tração uniforme de carregamento, o comportamento de tensão-deformação do compósito pode ser modelado por MEF e apresentado em gráficos, com diferentes parâmetros micro-estruturais considerados em MEF.

O modelo mais simples para os micromecânica de compósitos de fibra que é de Cox (11), é usado numa análise onde a teoria exigia que simplificações sejam feitas, então foram feitos os seguintes pressupostos:

1. A interface entre os dois componentes é perfeita;
2. A fibra e matriz elástica permanecem nas suas respostas mecânicas;

Fração volumétrica de fibra

Segundo (15), a fração volumétrica é o cálculo do conteúdo de fibras e matriz nos materiais compósitos, e é um dos fatores mais importantes para avaliar o quanto essa quantidade afeta as nas propriedades dos compósitos. Propriedades mecânicas utilizadas nestas simulações foram de fibra de coco e matriz PP. Contudo o reforço afeta o nível de estresse e distribuição de tensão nas fibras e matriz. O modelo aplicado nesse trabalho segue o princípio que as fibras estão variando de 20 a 40% da fração volumétrica.

$$V_x = \frac{\text{Volume do componente } x \text{ no compósito}(cm^3)}{\text{Volume total do compósito}(cm^3)} \quad (A)$$

Sendo que o componente x pode ser o volume de fibra ou de matriz de acordo com o interesse.

Modelos de material

Inicialmente, o reforço foi constituído de por laminas unidirecionais de fibra de coco em uma matriz PP, com frações volumétricas variando de 20 a 40%. O laminado foi desenhado conforme as dimensões especificadas pela ATM D3039/D3039M-95a para realização das simulações de tração. As propriedades elásticas e os valores de resistência mecânica foram obtidos com base em outros trabalhos apresentados na literatura, e os valores para o compósito foram obtidos pela Regra das misturas. Os valores utilizados na simulação estão representados nas Tabelas 1 e 2.

As propriedades da fibra de coco são ortotrópicas, enquanto que a matriz PP é considerada isotrópica.

Tabela 1 - Propriedades da fibra de coco.

Propriedades	Valores
Densidade (kg/m ³)	1600
E_1 (Gpa)	12,6
E_2 (Gpa)	4,032
E_3 (Gpa)	4,032
ν_{12}	0,32
ν_{23}	0,34
ν_{13}	0,32
G_{12} (Gpa)	2,33
G_{23} (Gpa)	2,14
G_{13} (Gpa)	2,33

Adaptado: Savastano Jr (1992); Toledo Filho (1997), Guimarães (1987).

Tabela 2 - Propriedades do PP

Propriedades	Valores
Densidade (kg/m ³)	905
E (Gpa)	2,0
ν	0,3
G (Gpa)	0,769

Fonte: Catálogo Braskem; SANTOS et al., (2006)

CRITÉRIO DE FALHA

Nas últimas décadas as indústrias estão avaliando com maior rigor aspectos relacionados à eficiência estrutural e o fator de segurança que está sendo aplicado a materiais compósitos. Dessa forma busca-se um componente estrutural que não apresente falha catastrófica e ao mesmo tempo possua uma alta resistência específica. Com isso, os compósitos poliméricos reforçados (CPR) estão apresentando uma crescente utilização, justificado porque atende aos requisitos exigidos anteriormente. O amortecimento da matriz polimérica associado ao fraturamento progressivo das fibras (ausência de falha catastrófica) será representado na Figura 1 :

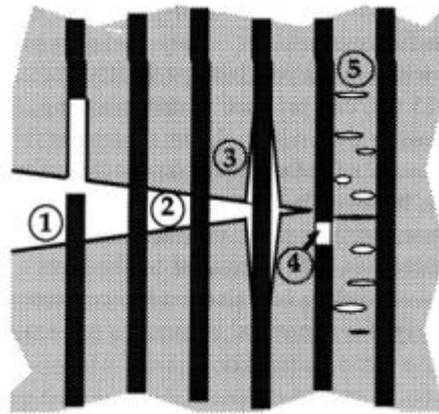


Figura 1 – Mecanismos de falha em CPR
Fonte: Anderson, 1995.

O modo de falha do CPR é complexo, pois envolve vários mecanismos que evoluem simultaneamente. A Figura 1 mostra 5 mecanismos, tais como: arrancamento da fibra da matriz (1), *fiber bridging* (2), deslocamento entre fibra e matriz (3), fratura da fibra (4), falha da matriz (5). Verifica-se que os CPR apresentam inicialmente micro-falhas que ao evoluírem ocasionam macro-falhas. Conseqüentemente, existem inúmeros critérios de falha para representar o comportamento mecânico desses materiais, que podem avaliar desde uma abordagem micromecânica até uma micromecânica.

Em 1965, Tsai propôs um critério de Hill modificado, que tinha com base quantificar a desigualdade em tração e compressão em materiais ortótropos ao qual foi denominado Critério de Tsai-Hill. Posteriormente Tsai-Wu (1971) apresentaram outro critério com vantagens sobre o critério Tsai-Hill, pois o tensor de resistência

era invariante sob a rotação dos eixos de coordenadas e as transformações ocorriam de acordo com as leis tensoriais conhecidas. Mediante a essas vantagens o Critério de Tsai-Wu passou a ser o critério mais utilizado.

É possível perceber que a escolha do critério é complexa, pois é necessário analisar vários fatores para que o mesmo seja capaz de representar fielmente e de forma consistente os fenômenos físicos envolvidos. Para que isso seja possível é necessária uma ferramenta computacional que possa auxiliar na análise de falhas em compósitos. Sendo assim, nesse trabalho foi utilizada uma análise estrutural baseada no Método de Elementos Finitos, feita no programa ANSYS, onde se avaliou as propriedades do compósito com matriz de PP e reforço de fibra de coco.

Critério de falha para materiais compósitos

Quando os compósitos são reforçados unidirecionalmente possuem uma anisotropia intrínseca e três planos de simetria ortogonais em cada ponto (ortótropia). Na escala macroscópica o material composto é considerado um material ortotrópico quase homogêneo nas direções longitudinais e transversais. Este trabalho se detém a aplicabilidade de várias teorias de falhas investigadas, tais como: critério da máxima tensão e critério de Tsai-Wu.

Critério de falha da máxima tensão

Esse critério consiste em cinco sub-critérios, cada um com seu correspondente modo de falha fundamental (falha por tração na direção longitudinal ou transversal; falha por cisalhamento; falha por compressão na direção transversal ou longitudinal). Caso um desses critérios seja excedido pela tensão nos eixos principais do material, ocasionará falha. Portanto, se qualquer uma dessas desigualdades forem desfeitas, ocorrerá falha.

$$\sigma_1 \geq \hat{\sigma}_{1T} \text{ ou } \sigma_1 \leq \hat{\sigma}_{1C} \text{ ou } \sigma_2 \geq \hat{\sigma}_{2T} \text{ ou } \sigma_2 \leq \hat{\sigma}_{2C} \text{ ou } \tau_{12} \geq \hat{\tau}_{12S} \quad (\text{B})$$

Onde $\hat{\sigma}_{1T}$ é a resistência da lâmina à tração na direção 1, $\hat{\sigma}_{2T}$ é a resistência da lâmina à tração na direção 2, $\hat{\sigma}_{1C}$ é a resistência da lâmina à compressão na direção 1, $\hat{\sigma}_{2C}$ é a resistência da lâmina à compressão na direção 2 e $\hat{\tau}_{12S}$ é a resistência ao cisalhamento.

Cr terio de falha de tsai-wu

Sabendo que esse cr terio tem uma boa precisão e confiabilidade, para compósitos de fibras finas em estado plano de tensões na lâmina, pode-se utilizar a equa o do cr terio será dada por:

$$F_1\sigma_1 + F_2\sigma_2 + F_{11}\sigma_1^2 + F_{22}\sigma_2^2 + F_{66}\tau_{12}^2 - \sqrt{F_{11}F_{22}}\sigma_1\sigma_2 = 1 \quad (C)$$

Onde F_i e F_{ii} são coeficientes denominados com base em ensaios experimentais:

$$F_1 = \frac{1}{\hat{\sigma}_{1T}} + \frac{1}{\hat{\sigma}_{1C}}, F_{11} = -\frac{1}{\hat{\sigma}_{1T}\hat{\sigma}_{1C}}, F_2 = \frac{1}{\hat{\sigma}_{2T}} + \frac{1}{\hat{\sigma}_{2C}}, F_{22} = -\frac{1}{\hat{\sigma}_{2T}\hat{\sigma}_{2C}} \text{ e } F_{66} = \left(\frac{1}{\hat{\tau}_{12S}}\right)^2 \quad (D)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Varia o do teor da fibra

O aumento no teor de fibra resulta numa distribui o de tensões mais uniforme entre as fibras e matriz. Assim, as fibras recebem boa parte da tensão aplicada. No entanto, para o compósito com baixo teor de fibra a matriz recebe uma parcela significativa da tensão aplicada. Na Tabela 3 estão expostos os valores do compósito com seus respectivos teores volumétricos:

Fibra de coco e PP

Tabela 3 - Valores para teor de fibra 20%,30% e 40%.

Propriedades	20%	30%	40%
Densidade (kg/m ³)	959,4	986,6	1014
E_{11} (GPa)	2,8	3,2	3,6
E_{22} (GPa)	2,248	2,378	2,515
G_{12} (GPa)	0,8271	0,8577	0,8895
G_{23} (GPa)	0,8248	0,8547	0,8860
ν_{12}	0,30	0,30	0,31
ν_{23}	0,36	0,39	0,41
Fra�es			
Volumétrica (fibra)	20%	30%	40%
Mássica (fibra)	24,54%	35,79%	46,44%
Volumétrica (matriz)	80%	70%	60%
Mássica (matriz)	75,46%	64,21%	53,56%

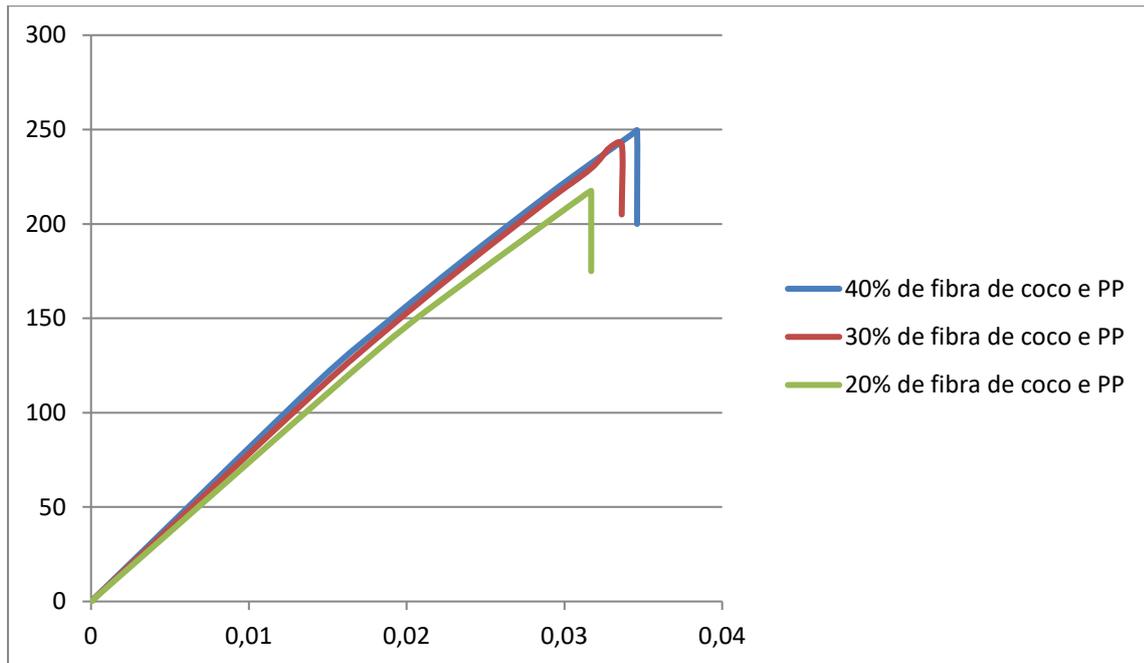


Figura 2 – Gráfico Tensão X Deformação do compósito fibra de coco e PP.

Mediante a Figura 2, foi possível perceber que o compósito com 40% de fibra resistiu a uma maior tensão, que tem magnitude igual 249 MPa. Por sua vez o compósito de 30% de fibra resistiu a 242 MPa, ficando próximo ao ponto ótimo do gráfico. O composto com 20% de fibra ficou na marca de 217 MPa.

CONCLUSÕES

Os resultados mostram o potencial de utilização da fibra de coco como reforço em compósitos. É possível perceber também que a mesma se apresenta como uma alternativa viável para aplicações com demanda técnica, como por exemplo: indústria automobilística, podendo substituir fibras sintéticas para algumas aplicações que demandam baixo custo e facilidade na fabricação.

Com a adição nas proporções de 20% a 40% de fibra de coco na matriz de polipropileno, foi observado um acréscimo na resistência à tração, que foi o foco deste trabalho.

Os resultados obtidos tanto em gráficos, como nas tabelas mostraram-se de forma qualitativa bastante consistente, com isso permitiram a caracterização das propriedades mecânicas e a avaliação da integridade estrutural dos compósitos reforçados com fibra de coco.

Por fim, um projeto com estruturas feitas com fibras naturais pode ser desenvolvido com ótima qualidade, desde que haja o entendimento dos mecanismos

de falha. Assim uma abordagem numérica pode ser capaz de fornecer diretrizes para análises do comportamento mecânico de componentes fabricados a partir de CPR.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) AGOPYAN, V.; SAVASTANO JR., H. **Uso de materiais alternativos e base de fibras vegetais na construção civil: experiência brasileira.** In: Seminário Iberoamericano 1997 de Materiales Fibrorreforzados, 1. Y Reunión Projecto PIP VII. 5 Cytel, 3., Cali, 1997. Memorias, Universidade Del Valle, 1997 p.23-40.
- (2) ANDERSON, T.L. (1995). *Fracture mechanics: fundamentals and applications*. 2.ed. Boca Raton: CRC Press.
- (3) ASTM D3039/D3039m-95a, 1995, “ Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials”, Philadelphia.
- (4) BLEDZKI, A. K., GASSAN, J. “**Composites reinforced with cellulose based fibers**”. *Progress in Polymer Science*, v. 24, p. 221-274, 1999.
- (5) FONTENELE, Raimundo Eduardo Silveira. CULTURA DO COCO NO BRASIL: CARACTERIZAÇÃO DO MERCADO ATUAL E PERSPECTIVAS FUTURAS. In: CONGRESSO DA SOBER, 43., 2005, Ribeirão Preto. Fortaleza: Congresso Da Sober, 2005. p. 1 - 20. Disponível em: <http://www.sober.org.br/palestra/2/168.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2015.
- (6) GUIMARÃES, S. S. **Some experiments in vegetable fiber-cement composites.** Informe Técnico do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento-CEPED. [S.1.]: CEPED, ano 2, n. 30, set. 1987.
- (7) HASHIN, Z., 1980, “Failure Criteria for Unidirectional Fiber Composites, *Journal of Applied Mechanics*, Vol.47, p. 329-334.
- (8) HOLBERY, J.; HOUSTON D. 2006. Natural-Fiber-Reinforced Polymer Composites in Automotive Applications. **Low-Cost Composites In Vehicle Manufacture**, p.80-86.
- (9) HOUSHYAR, S., SHANKS R. A., HODZIC A.: Influence of different woven geometry in poly(propylene) woven composites. *Macromolecular Materials and Engineering*, 290, 45-52 (2005).
- (10) ISHIZAKI, M. H.; VISCONTE, L. L. Y.; FURTADO, C. R. G.; LEITE, M. C. A. M; LEBLANC, J. L. Caracterização mecânica e morfológica de compósitos de polipropileno e fibras de coco verde: influência do teor de fibra e das condições de mistura. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 16,nº3, p. 182-186, 2006.

- (11) KRENCHER H.: Fiber reinforcement. Akademisk Forlag, Copenhagen (1964).
- (12) LEVY NETO, F. AL-QUERESHI, H. A., “Aplicação do Critério de Tsai-Hill numa Estrutura Não-Simétrica de Material Conjugado”, 7º CBECIMAT 1986, UFSC, Florianópolis, SC.
- (13) MARINELLI, Alessandra L. et al. Desenvolvimento de Compósitos Poliméricos com Fibras Vegetais Naturais da Biodiversidade: Uma Contribuição para a Sustentabilidade Amazônica. **Revista Polímeros**, São Carlos, v.18, n2, p.92-99, 10 out. 2007.
- (14) SALAZAR, V. Estudos sobre biodegradação e reciclagem de peças automotivas baseadas em fibras naturais. 2001. 20f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrônômicas) – Universidade Estadual paulista Julio de Mesquita Filho, Botucatu, 2003.
- (15) SANTANA, Fransérgio de Alcântara. **Estudo do processamento de compósitos termoplásticos a partir de pré-impregnados PEEK/ Fibra de carbono por moldagem por compressão a quente**. 2010. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2010.
- (16) SANTOS, Alexandre Maneira dos. **Estudo de compósitos híbridos polipropileno/fibras de vidro e coco para a aplicação em engenharia**. 2006. 90 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.
- (17) SAVASTANO JÚNIOR, H. **Zona de transição entre fibras e pasta de cimento Portland: caracterização e inter-relação com as propriedades mecânicas dos compósitos**. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.
- (18) TOLEDO FILHO, R. D.; ENGLAND, G. L.; GHAVAMI, K. **Comportamento em compressão de argamassas reforçadas com fibras naturais – i. Relação tensão deformação experimental e processo de fratura**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental, Campina Grande, v. 1, p.79-88, 1997.

BEHAVIOR SIMULATION OF A MECHANIC PP INCREASED TRADE WITH FIBER NATURAL

ABSTRACT

The advent of modern technology has brought increased use of natural resources, it has deleterious consequences to the planet. Understanding this, accentuated the search for environmentally friendly materials. The estimated annual production of 1.5 billion fruit coconut in a cultivated area of 2.7 million hectares in Brazil This article is intended to characterize polymer composites with coconut fiber and polymer matrix of PP. Polypropylene is a thermoplastic with high rigidity and is recyclable. The reinforcement is variation between 20-40% of the volume fraction. The program chosen to perform the simulations was the Ansys, which uses the Finite Element Method (FEM) and to characterize the effects and phenomena presented in the middle of the composite analysis. The results were satisfactory and allowed the characterization of the mechanical properties, validating the assumptions made in issue.

Key-words: Composite materials; Coconut fibers; Mechanical properties; PP matrix.