

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES ELÁSTICAS EM COMPÓSITOS EPOXÍDICOS REFORÇADOS COM FIBRAS DE COCO VERDE*

Fernanda Santos da Luz¹
Sergio Neves Monteiro²

Resumo

Compósitos reforçados com fibras naturais lignocelulósicas apresentam elevada dispersão em suas propriedades devido as suas heterogeneidades, as quais dependem de uma série de fatores tais como, idade da planta, local de retirada da planta e as condições da plantação. Assim, a estimativa das propriedades elásticas por testes padrões (destrutivos) podem não reproduzir os resultados reais do compósito. No presente trabalho, as propriedades elásticas foram avaliadas por meio da técnica de excitação por impulso, a qual é um teste não-destrutivo. Foram analisadas a homogeneidade dos módulos elásticos ao longo de todo o compósito e a influência das diferentes frações volumétricas de fibra de coco usada como reforço no compósito. Além disso, para verificar a sensibilidade do método dinâmico, amostras foram testadas por testes mecânicos destrutivos. Com base nos resultados foi observado que as propriedades obtidas pelo teste dinâmico apresentaram pequenas variações diferentemente dos resultados obtidos no teste destrutivo que apresentaram elevada dispersão justificada pela natureza heterogênea das fibras lignocelulósicas.

Palavras-chave: Propriedades elásticas; Compósitos; Fibra de coco; Teste dinâmico.

EVALUATION OF ELASTIC PROPERTIES IN EPOXY COMPOSITES REINFORCED WITH COIR FIBER

Abstract

Composites reinforced with lignocellulosic fibers may show high dispersion in their properties due to their heterogeneity, which depends on several factors such as plant age, where the fibers were taken from the plant and planting conditions. Hence, the estimative of the elastic properties by standard tests (destructive) may not reproduce the real results of the composite. In the present work the elastic properties were evaluated by Impulse Excitation Technique, which is a non-destructive testing. The elastic modulus homogeneity was analyzed throughout the composites length as well as the influence of different volume fractions of coir fibers used as reinforcement in composite. Moreover, samples were tested by destructive mechanical tests to verify the sensitivity of the dynamic method. Based on the results it was observed that the properties obtained by dynamic method showed small variations, unlike the results of the destructive tests that presented high dispersion justified by the heterogeneous nature of lignocellulosic fibers.

Keywords: Elastic properties; Composites; Coir fiber; Dynamic test.

¹ Engenheira de Materiais, M.C, Doutoranda em Ciência dos Materiais, Seção de Engenharia Mecânica e de Materiais, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. fsl.santos@gmail.com

² Engenheiro Metalurgista, Ph.D, Professor Titular, Seção de Engenharia Mecânica e de Materiais, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil..

1 INTRODUÇÃO

As propriedades elásticas são parâmetros críticos para a engenharia e aplicação dos materiais, pois essas estão relacionadas com outras propriedades mecânicas tais como, tensão de escoamento, tensão de ruptura, entre outras. As propriedades elásticas são intrínsecas do material que descrevem a correlação entre tensão e deformação no regime elástico, as quais dependem da composição química do material, da microestrutura e defeitos tais como, poros e trincas [1-5].

Essas propriedades podem ser determinadas por métodos quasi-estáticos ou dinâmicos. Um exemplo de método quasi-estático é o ensaio de tração, no qual as propriedades mecânicas são determinadas de modo destrutivo, isto é, as amostras são inutilizadas após o ensaio. Esse teste segue a norma ASTM D638 e consiste basicamente na aplicação de uma carga de tração lentamente induzindo a deformação do corpo de prova. Nesse método obtém-se um gráfico de tensão *versus* deformação, a partir do qual é possível calcular o módulo de elasticidade dividindo a variação de tensão ($\Delta\sigma$) pela correspondente variação de deformação ($\Delta\varepsilon$), na região linear [6], como mostra a Equação 1:

$$E = \Delta\sigma / \Delta\varepsilon \quad (1)$$

No caso do método dinâmico, as propriedades elásticas são determinadas pela frequência de vibração natural da amostra com a amplitude mínima de vibração. Os modos de vibração são determinados pelas condições de contorno impostas na caracterização, podendo ocorrer de forma longitudinal, transversal ou flexional e torcional. Esses diferentes modos de vibração do material produzem frequências fundamentais características, sendo o módulo de elasticidade e o módulo de cisalhamento determinados pelos dois primeiros modos e o coeficiente de Poisson dado pelo modo torcional [7-10].

Os valores obtidos pelo método dinâmico são superiores aos obtidos pelo ensaio estático, com uma percentagem de 0,5% para os metais. Para outros materiais, a diferença pode ser maior dependendo dos efeitos anelásticos [1,7]. Nesta técnica, por serem aplicadas tensões muito pequenas, não há a indução de microtrincas, por esta razão, pode-se considerar que o módulo dinâmico está associado a fenômenos puramente elásticos [8]. A norma ASTM E1876 [7] descreve as principais metodologias para a caracterização dos módulos elásticos dinâmicos. Essa norma prevê a caracterização da frequência natural de vibração do corpo e, juntamente com a massa e as dimensões, realiza-se o cálculo do módulo de elasticidade. Como a excitação do corpo de prova se dá por impacto, este método é denominado como Técnica de Excitação por Impulso [7]. Esse método tem as vantagens de ser um ensaio não-destrutivo e rápido, o qual possibilita o controle das propriedades do material e a aplicação de baixas cargas.

No presente trabalho, foram avaliadas as propriedades elásticas obtidas tanto por ensaio de tração quanto pela técnica de excitação por impulso dos compósitos de epóxi reforçados com diferentes frações volumétricas de fibra de coco verde. O objetivo desse estudo foi analisar a homogeneidade dos compósitos, a influência das diferentes frações volumétricas de reforço e comparar as diferentes técnicas para obtenção dos módulos elásticos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a fabricação dos compósitos foi utilizado como matriz polimérica o sistema epoxídico constituído pelo diglicidil éter do bisfenol-A e o endurecedor trietilenotetramina misturados na razão phr 13, ambos fabricados pela Dow Chemical do Brasil. Como reforços desses compósitos foram utilizadas fibras de coco extraídas do mesocarpo do coco verde (*Cocos nucifera* L.), nas frações volumétricas de 10, 20 e 30%. Também foram produzidas amostras de epóxi puro como referência.

Para a avaliação dos módulos elásticos, os compósitos foram testados aplicando tanto a técnica de excitação por impulso (não-destrutivo) quanto o ensaio de tração (destrutivo).

O princípio da técnica de excitação por impulso é medir as propriedades elásticas por meio da frequência natural de vibração das amostras e seus parâmetros geométricos [7,11,12]. Essa técnica consiste basicamente na aplicação de impacto na amostra gerando vibrações mecânicas sem danificá-lo e o transdutor, que captura a resposta acústica, transforma em um sinal elétrico que é processado pelo software permitindo a determinação das propriedades elásticas do material [7]. Para a realização dos testes foi utilizado o equipamento Sonelastic®, modelo SB-AP, seguindo ASTM E1876-15 [7].

As dimensões e massas das amostras foram medidas com um paquímetro digital Mitutoyo, modelo Absolute AOS 500-197-30B, com resolução de 0,01 mm, e uma balança analítica Gehaka, modelo BK300, respectivamente.

Os ensaios de tração foram conduzidos em uma máquina universal Instron, modelo 5582, conforme a norma ASTM D638-14 [6]. Todos os resultados obtidos foram analisados estatisticamente pelo método de Weibull.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta a resposta acústica do compósito de epóxi reforçado com 30% em volume de fibra de coco. Através dessa resposta foram calculados os módulos a partir das frequências naturais de vibração [7], destacadas em vermelho na Figura 2. Para essa amostra obteve-se um módulo de elasticidade igual a $10,03 \pm 0,04$ GPa.

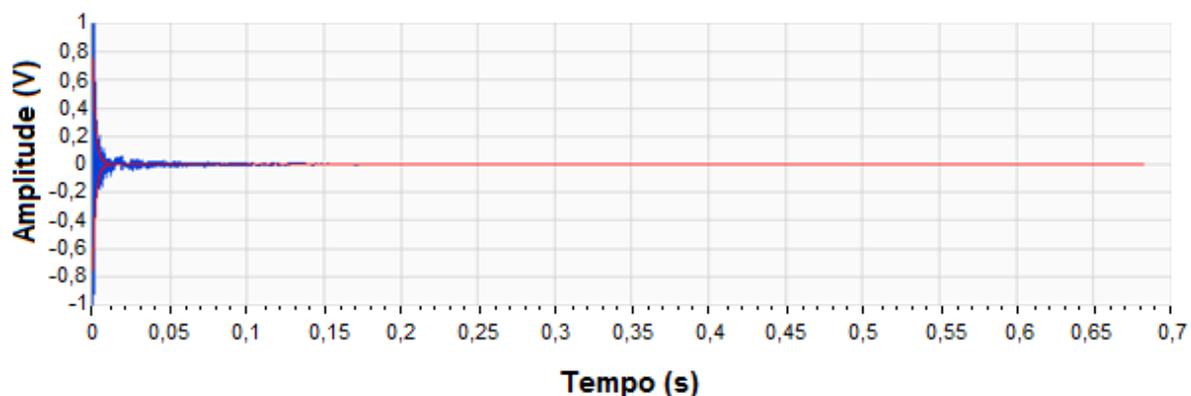


Figura 1. Resposta acústica do compósito de epóxi com 30% vol. de fibra de coco.



Figura 2. Frequências naturais de vibração para o compósito de epóxi com 30% vol. de fibra de coco.

A variação do módulo de elasticidade em função da fração volumétrica das fibras de coco utilizadas como reforços nos compósitos epoxídicos, obtida pela técnica de excitação por impulso, é mostrada na Figura 3. Conforme esses resultados observou-se uma pequena dispersão entre os valores de módulo de elasticidade para uma mesma porcentagem de fibra, porém, obteve-se uma diferença estatisticamente significativa para as incorporações acima de 10% de fibra de coco. Além disso, para os compósitos com 10% de fibras não houve um reforço efetivo, pois apresentaram valores de módulo de elasticidade similares aos do epóxi puro (~3 GPa). Esse mesmo comportamento foi observado para as amostras testadas pelo ensaio de tração.

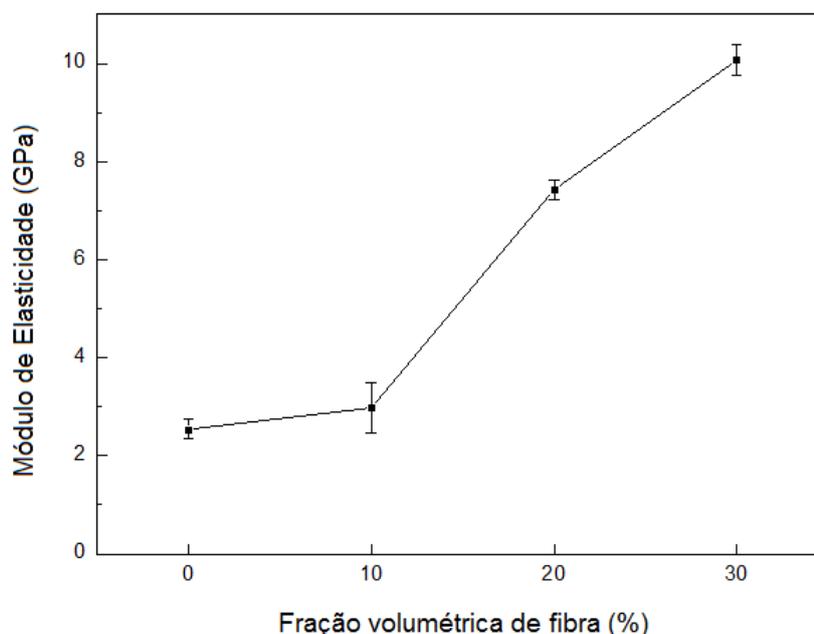


Figura 3. Variação do módulo de elasticidade em função da fração volumétrica de fibra de coco no compósito epoxídico obtido pela técnica de excitação por impulso.

A Figura 4 mostra um gráfico típico de tensão *versus* deformação, obtido em um ensaio de tração [6] para um compósito de matriz de epóxi reforçado com 10% em volume de fibras de coco. Nesta figura observa-se uma reta que corresponde ao comportamento elástico do compósito e termina com uma ruptura abrupta em 0,013 mm de deformação, caracterizando um comportamento frágil do material, com uma tensão máxima em torno de 39 MPa. A partir dessas curvas foram calculados os módulos de elasticidade para cada compósito aplicando a Equação 1.

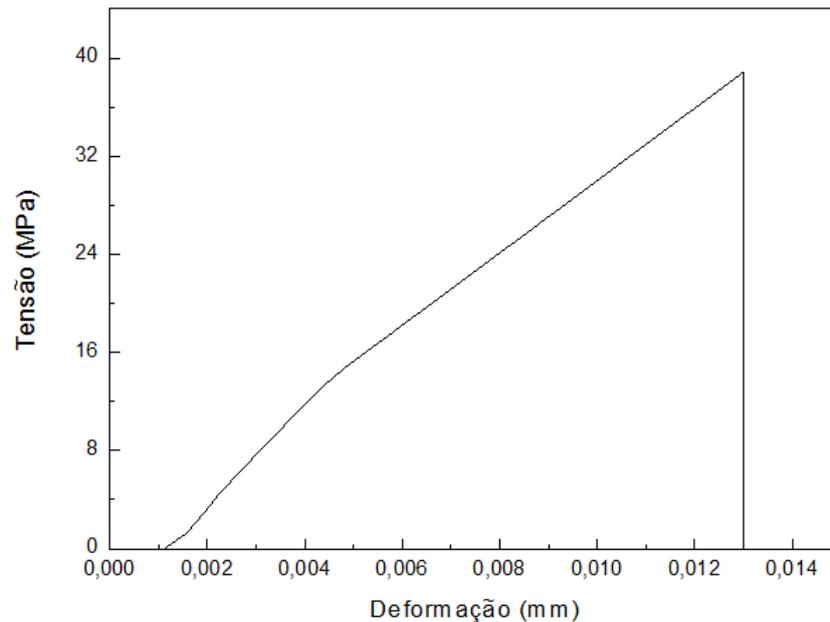


Figura 4. Gráfico de tensão *versus* deformação para o compósito de epóxi com 10% vol. de fibra de coco.

Através da análise estatística dos valores calculados de módulo de elasticidade, obtiveram-se os valores médios e seus respectivos desvios para os diferentes compósitos, os quais são mostrados na Figura 5.

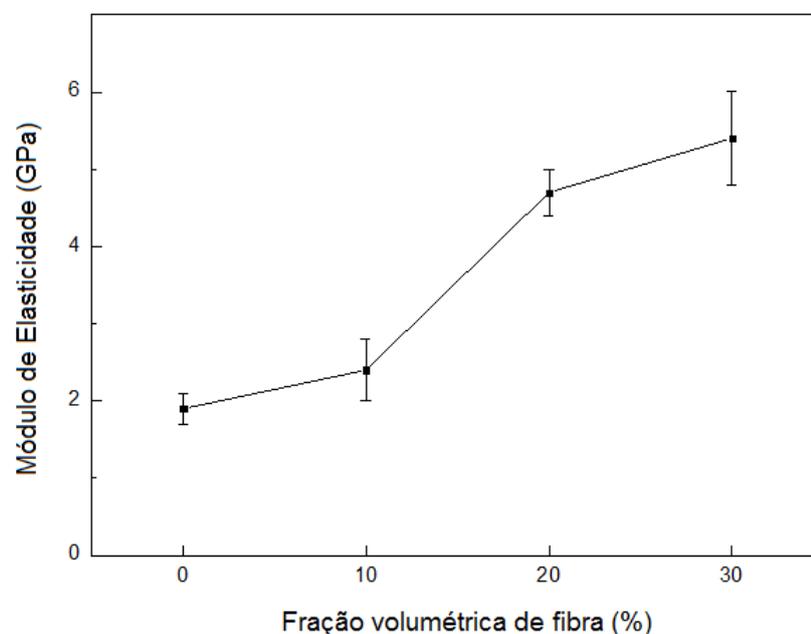


Figura 5. Variação do módulo de elasticidade em função da fração volumétrica de fibra de coco no compósito epoxídico obtido pelo ensaio de tração.

A Tabela 1 apresenta os valores dos módulos de elasticidade obtidos tanto pelo ensaio de tração quanto pela técnica de excitação por impulso para os compósitos com diferentes frações volumétricas de fibra coco.

Tabela 1. Propriedades elásticas obtidas por Ensaio de Tração e pela Técnica de Excitação por Impulso.

Fração volumétrica de fibra de coco	Técnica de Excitação por Impulso		Ensaio de Tração	
	Módulo de elasticidade	Desvio padrão	Módulo de elasticidade	Desvio padrão
	GPa	GPa	GPa	GPa
0	2,54	0,2	1,9	0,2
10	2,98	0,3	2,4	0,4
20	7,43	0,2	4,7	0,3
30	10,07	0,3	5,4	0,6

Com base nos resultados apresentados nessa tabela, nota-se uma diferença estatisticamente significativa entre os valores obtidos pelos diferentes métodos para as respectivas amostras. Tais diferenças podem ser explicadas pela acuracidade de cada método influenciadas pelos defeitos internos presentes nos compósitos. Os resultados do ensaio de tração mostraram uma incerteza de medição de até 16%, enquanto que a técnica de excitação por impulso foi inferior a 7%. Além disso, foi observado que as diferentes frações volumétricas de fibra de coco usadas como reforço influenciaram nas propriedades elásticas dos compósitos, apresentando maiores valores de módulo de elasticidade para maiores frações de fibra.

No entanto, é possível afirmar que houve um bom acordo entre os dois testes de caracterização. O teste não-destrutivo é altamente apreciado porque permite controlar as propriedades do material. Além disso, muitos materiais quando submetidos ao controle de qualidade precisam retornar intactos para seus locais de trabalho após a inspeção. Na indústria mecânica, é muito comum a necessidade de inspecionar as peças durante sua vida útil. Nesses casos, não é possível danificar a peça ou componente a ser testado, pois deve ser substituído no sistema original. Portanto, o método deve ser selecionado de acordo com as necessidades e condições de trabalho.

4 CONCLUSÃO

- Os valores de módulo de elasticidade obtidos pelas duas técnicas apresentaram uma diferença significativa para os volumes de fibra de 20% e 30%;
- Porém, para os compósitos com 10% de fibras de coco, essas fibras agiram apenas como carga, pois apresentaram valores de módulo de elasticidade estatisticamente similares aos do epóxi puro.
- Para a técnica de excitação por impulso observou-se pequena dispersão entre os valores de módulo de elasticidade, sendo essa inferior a 7%. Já para o ensaio de tração obteve-se uma incerteza de medição de até 16%;
- A técnica de excitação por impulso não é destrutiva e fornece resultados mais precisos do que aqueles obtidos pelo ensaio de tração e permite a verificação repetitiva do material e rápida aquisição de resultado;
- O ensaio de tração é destrutivo, o que o torna desvantajoso na medida em que muitos dos materiais testados devem voltar ao funcionamento normal após o ensaio;

- Além disso, a menor acuracidade das medidas é um fator que deve ser levado em consideração para a seleção do método mais adequado, a qual deve ser feita de acordo com as necessidades e condições de trabalho.

Agradecimentos

Os autores deste trabalho agradecem ao CNPq, à FAPERJ e à CAPES por meio do PDS pelo financiamento da pesquisa, através do programa 31007015006P4.

REFERÊNCIAS

- 1 Callister Jr WD. Materials Science and Engineering. 7th ed. New York: John Wiley & Sons, Inc, 2007.
- 2 Hayden W, Moffatt WG, Wulff J. Mechanical Behavior, vol. 3. New York: John Wiley & Sons, 1965, 61-96.
- 3 Garcia A, Spim JA, Santos CA. Ensaio dos Materiais. Rio de Janeiro: LTC, 2000.
- 4 Zanotto ED, Migliore Jr AR. Propriedades Mecânicas de Materiais Cerâmicos: Uma Introdução. Cerâmicas. 1991; 37(247): 7-16.
- 5 Hasselman DPH. Unified Theory of Thermal Shock Fracture Initiation and Crack Propagation in Brittle Ceramics. Journal of the American Ceramic Society. 1969; 82(11): 600-604.
- 6 American Society for Testing and Materials. ASTM D 638: Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. West Conshohocken: ASTM International, 2014.
- 7 American Society for Testing and Materials. ASTM E 1876: Standard Test Method for Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus, and Poisson's Ratio by Impulse Excitation of Vibration. West Conshohocken: ASTM International, 2015.
- 8 Neville AM, Brooks JJ. Tecnologia do concreto. Porto Alegre: Bookman. 2013.
- 9 Otani LB, Segundinho PGA, Morales EAM, Pereira AHA. Caracterização dos módulos elásticos de madeiras e derivados utilizando a Técnica de Excitação por Impulso. Informativo técnico-científico ITC-05 /ATCP. 2015 [acesso em 17 mai. 2017]; 1-35. Disponível em: <http://www.atcp.com.br/imagens/produtos/sonelastic/artigos/ITC-05-IET-MOE-Madeiras.pdf>
- 10 Heyliger P, Ugander P, Ledbetter H. Anisotropic Elastic Constants: Measurement by Impact Resonance. Journal of Materials in Civil Engineering. 2001; 1(5): 356-363.
- 11 Pickett G. Equations for Computing Elastic Constants from Flexional and Torsional Resonant Frequencies of Vibration of Prisms and Cylinders. Am. Soc. Test. Mater. 1945; 45: 846-865.
- 12 Kaneko T. Relation Between Flexional Resonant Frequency Equations for the Flexional Vibration of Cylindrical Rods. J. Res. Natl. Bur. Stand. 1960; 64B: 237.