

LEVANTAMENTO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE COMPÓSITOS DE MATRIZ TERMOPLÁSTICA REFORÇADOS COM FIBRAS LONGAS DE BAMBU PELA ANÁLISE DE DISTRIBUIÇÃO ESTADÍSTICA DE WEIBULL*

Roberto Abreu Alencar¹
Santino Loruan Silvestre de Melo²
Renardir Peixoto Maciel Junior³
Enio Pontes de Deus⁴

Resumo

Nos dias atuais há uma busca por materiais que sejam ecologicamente responsáveis portanto, tenham um baixo custo, boa resistência mecânica e usem uma matéria-prima biodegradável e renovável. Os compósitos reforçados com fibras naturais são uma saída para esta problemática. As fibras de bambu são altamente resistentes a tração e podem ser extraídas como fibras longas, como as fibras de sisal. O que as torna ideais para reforços naturais para compósitos. Em uma maneira clara este artigo apresenta uma forma estatística de obter as propriedades mecânicas de materiais, sendo estas propriedades não muito constantes dentro do material, o que é o caso. Usamos uma ferramenta estatística chamada de distribuição de Weibull, pois esta distribuição prevê muito bem a falha de vários sistemas físicos, no qual a fratura frágil se encontra. Aplicar-se-á este método nos resultados obtidos em ensaios de tração uniaxial de compósitos, reforçados com fibras de bambu para levantamento das propriedades mecânicas, realizados de acordo com a norma ASTM D3039 neste trabalho foram utilizados polipropileno virgem e reciclado para a confecção dos compósitos. Como observado em muitos outros trabalhos a distribuição de Weibull conseguiu prever muito bem uma média para as propriedades mecânicas do material compósito.

Palavras-chave: Fibras naturais; Propriedades mecânicas; Distribuição de Weibull.

SURVEY OF MECHANICAL PROPERTIES OF THERMOPLASTIC MATRIX COMPOSITE REINFORCED WITH LONG BAMBOO FIBERS FOR DISTRIBUTION OF WEIBULL STATISTICAL ANALYSIS

Abstract

In the present days there are a search for materials that are environmentally responsible therefore have a low cost, good mechanical strength and use a raw material biodegradable and renewable. The composites reinforced with natural fibers are a way out of this problem. Bamboo fibers are highly resistant to traction and can be drawn as long fibers, such as sisal fibers. What makes them ideal for natural reinforcements for composites. This article presents a statistical way to get the mechanical properties of materials, which are not very constant properties within the material, which is the case. We use a statistical tool called Weibull distribution, this distribution as well failure provides multiple physical systems, in which brittle fracture is located. Applying it to this method on the results of uni-axial tensile tests of composites reinforced with bamboo fibers to survey the mechanical properties, performed in accordance with ASTM D3039 in this work were used virgin and recycled polypropylene for the manufacture of composites. As observed in many other works the Weibull distribution very well could provide an average for the mechanical properties of the composite material.

Keywords: Natural fibers; Mechanical properties; Weibull distribution.

¹ Engenharia metalúrgica/graduando, bolsista de iniciação científica, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil.

² Físico/bacharelado, bacharel, Bolsista de mestrado, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil.

³ Engenharia metalúrgica/graduando, bolsista de iniciação científica, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil.

⁴ Engenharia Civil, Doutorado, Professor orientador, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Na manufatura de compósitos reforçados, podemos analisar os reforços a serem introduzidos na matriz, temos que levar em conta as propriedades do reforço e o que o mesmo mudará quando inserido no compósito. As modificações das propriedades do material quando inserida as fibras, sendo de origem natural ou não, dependem do seu comprimento, espessura, modulo de elasticidade e outros fatores que introduzem vantagens e desvantagens.[1]

No entanto revelou-se que as fibras de bambu tem propriedades bem heterogêneas, de forma que, para que tenhamos uma melhor ideia de suas propriedades mecânicas temos que fazer uma análise de distribuição para obtermos uma boa media de suas propriedades. E uma boa analise estatística dos dados de tensao de ruptura dos feixes de fibras de bambu é a distribuição de Weibull.

A distribuição de Weibull se mostra adequada para a análise de falhas, resistência a fratura frágil e comportamentos em fadiga, sendo sua utilização observada em muitas áreas das ciências [2]. Como esta distribuição é comprovadamente eficiente para análise de resistência a fratura frágil, tipo de fratura que ocorreu durante os ensaios, então será esta a ferramenta a ser utilizada para o levantamento das propriedades mecânicas medias dos compósitos de matriz termoplástica.

Os compósitos foram ensaiados de acordo com a norma ASTM D3039 em uma máquina de testes de tração universal EMIC localizada no Laboratório de Ensaios Mecânicos da Universidade Federal do Ceará. No caso para uma comparação também foram ensaiados os materiais poliméricos se a adição do reforço de fibras de bambu para um caráter de comparação com o material compósito.

1.1 Fibras Naturais Vegetais

O atual interesse em fibras naturais como fase dispersa em compósitos deve-se aos benefícios ecológicos e suas propriedades mecânicas são muito boas em relação ao seu baixo peso específico. Sendo que suas aplicações são limitadas aos compósitos de matriz polimérica devido as suas propriedades físicas e químicas. Sendo seus componentes basicamente microfibrilas de celulose dispersas em uma matriz amorfa de lignina e hemicelulose [3]. As fibras são tipicamente filamentosas e possuem o diâmetro muito menor que o seu comprimento longitudinal. As fibras possuem elevada tensao máxima de ruptura e modulo de elasticidade elevados, no sentido de sua orientação, fazendo que sirvam de reforço quando envolvidas por uma matriz. As fibras unitárias são de difícil obtenção, pois tem um diâmetro muito pequeno, por isso o uso de feixes de fibras que são mais facilmente manipuladas e manuseadas. O interesse em fibras naturais se deve à sua obtenção por produção agrícola, sendo assim uma fonte quase inesgotável de matéria prima, além de ser uma fonte de matéria prima ecologicamente correta, pois a planta do bambu não necessita de uma grande área para se desenvolver e é uma grande absorvedora de CO₂, assim sendo um tipo de material ecologicamente correto.

1.2 Distribuição de Weibull

A análise estatística de resultados é aplicada em diversos sistemas em que se destaca uma ou mais variáveis aleatórias. Proposta por Ernest Weibull em 1951, a distribuição que leva seu mesmo nome, pode ser aplicada na maior parte das ciências. O interesse neste trabalho, do uso da distribuição de Weibull, vem do

conjunto de dados obtidos dos ensaios, constituindo um conjunto de medidas que não representam um valor exato. Visto que nossos dados retornam nulos para variáveis negativas, como é o caso da tensão máxima por ruptura, a escolha da distribuição deve satisfazer o critério de ter probabilidade zero para todos os valores negativos, já que a variável aleatória da resistência é não negativa. Como a distribuição de Weibull satisfaz esses critérios se mostrando eficaz na análise estatística dos dados.

1.3 Material Polimérico (Polipropileno)

O polipropileno é um de material polimérico termoplástico muito comum no mercado. Porém é um polímero sintético não renovável e não biodegradável o que o torna um grande vilão em relação a questão ecológica. Pois sua degradação demanda muita energia ou tempo que além de não serem viáveis, introduzem gases tóxicos no meio ambiente.

Quando esses não passam por uma reciclagem ou degradação completa, são introduzidos na natureza gerando grande impacto ambiental. O Polipropileno, pertence ao grupo das poliofilenas, de fórmula geral C_nH_{2n} , sendo o mesmo utilizado como matriz desse trabalho ele é totalmente proveniente do petróleo, matéria-prima em constante declínio.

Este é um dos termoplásticos de menor peso específico, entre $0,91 \text{ g/cm}^3$ e $0,92 \text{ g/cm}^3$, elevada resistência química, atóxico e com boa resistência ao impacto, razões que pesaram na hora da escolha do polímero como matriz do compósito reforçado com fibras longas de bambu.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais Usados

A matéria-prima utilizada neste trabalho foram os feixes de fibras de bambu da espécie *Bambusa vulgaris*, o bambu utilizado neste trabalho foi retirado de touceiras controladas da Universidade Federal do Ceará (UFC), com cerca de 3 anos de idade, 4 metros de altura em média e cerca de 15 centímetros de diâmetro. O colmo, parte principal para a obtenção das fibras foi serrado dos entrenós na Oficina do Departamento de Física da Universidade Federal do Ceará (UFC) para posteriormente serem descascadas e desfibradas no Laboratório de Mecânica da Fratura e Fadiga (LAMEFF-UFC). Os materiais poliméricos foram cedidos pela empresa PLASTSAM, sendo compostos de polipropileno isotático virgem e reciclado que foram utilizados como a matriz polimérica. O polipropileno virgem apresenta uma coloração branca semitranslúcida e o reciclado uma coloração branca opaca. As propriedades físicas do polipropileno virgem e reciclado foram obtidas por meio de ensaios de tração uniaxial realizados no Laboratório de Ensaios Mecânicos da Universidade Federal do Ceará.

2.2 Corpos de Prova

Os corpos de prova de polímeros foram feitos de acordo com a norma D638 e foram feitos cinco corpos de prova de polipropileno reciclado e cinco corpos de prova de polipropileno virgem. Estes corpos de prova foram confeccionados sendo como do tipo IV presente na norma D 639.

Os corpos de prova dos compósitos seguiram a norma D 3039 para confecção dos corpos de prova para compósitos. Foram fabricados cinco corpos de prova de polipropileno virgem reforçado com fibras de bambu e outros cinco corpos de prova de polipropileno reciclado. As fibras do compósito foram arranjadas de forma unidirecional.



Figura 1. Forma que as fibras foram dispostas no compósito.



Figura 2 . Placa do compósito já fabricada

Todos os corpos de prova foram fabricados em um molde próprio para a fabricação de pequenas chapas do polímero que posteriormente foram usinadas para chegar a forma necessária para atender as normas.

2.3 Distribuição de Weibull

A análise estatística de dados é aplicada em diversos sistemas e que se destaca uma variável aleatória. O interesse na utilização deste método neste trabalho vem do fato que o conjunto de dados obtidos com os ensaios podem ser encarados como uma variável aleatória não negativa, portanto como a distribuição de Weibull é comprovadamente eficiente na análise de resistência a fratura frágil em diversos materiais. A distribuição de Weibull será apresentada da seguinte forma:

Temos a função de distribuição acumulada da equação de Weibull.

$$F(X; m, \sigma_0) = 1 - e^{-\left(\frac{\sigma}{\sigma_0}\right)^m} \quad (1)$$

Onde $F(X; m, \sigma_0)$ é a probabilidade do evento analisado ocorrer, no nosso caso a fratura, σ a variável aleatória, sendo estendida, no nosso caso para a tensão máxima na ruptura, σ_0 a constante de normalização e m o parâmetro de Weibull, que determina a forma da função de distribuição. Linearizando a expressão 1 obtemos:

$$\ln\left(\ln\left(\frac{1}{1-F_j}\right)\right) = m \cdot \ln(\sigma_j) - m \cdot \ln(\sigma_0) \quad (2)$$

com $j=1 \rightarrow N$, até a j -ésima tensão, ordenados em ordem crescente, com $F_j = (j-0,5)/N$ [4]. Onde daí temos uma equação da forma $y=Ax+b$ onde y é a parte esquerda da equação (2) e $x=\ln \sigma$, a partir daí podemos extrair do gráfico $y \times x$ os valores de m e σ_0 para serem lançados nas equações da média, variância e da distribuição, aplicadas com as seguintes equações:

$$\sigma_{50} = \sigma_0 \Gamma\left(1 + \frac{1}{m}\right) \quad (3)$$

$$Var_{50} = \sigma_0^2 \left(\Gamma\left(1 + \frac{2}{m}\right) - \Gamma\left(1 + \frac{1}{m}\right)^2 \right) \quad (4)$$

onde σ_s representa o valor médio da variável aleatória e Var_s representa a variância.

2.4 Testes de Tração

Os testes de tração foram realizados no Laboratório de Ensaios Mecânicos da Universidade Federal do Ceará. A máquina de testes tração universal do modelo EMIC com a célula de carga Trd 28.



Figura 3. Teste de tração sendo realizado

Os ensaios com os compósitos foram feitos de acordo com a norma ASTM D3039 e os polímeros foram ensaiados de acordo com a norma D639. Todos os ensaios foram feitos com velocidade de ensaio de 2 mm/minuto e os corpos de prova foram ensaiados na direção coincidente com a direção das fibras naturais, portanto na sua direção de maior resistência.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Resultados dos Ensaios de Tração

Os resultados dos ensaios podem ser vistos na tabela abaixo, sendo que o resultado mais importante destes ensaios é o resultado da tensão de ruptura dos compósitos.

Tabela 1. Resultados de tensão de ruptura proveniente dos ensaios de tração

CP's	Tensão ruptura (MPa) Comp. PP virgem	Tensão ruptura (MPa) Comp. PP reciclado	Tensão ruptura (MPa) PP virgem	Tensão ruptura (MPa) PP reciclado
1	56	41	33	11
2	55	38	30	11
3	50	31	28	9
4	47	27	26	6
5	38	23	24	6
Media	50	31	28	9

Observando a tabela 1 já podemos perceber a melhora média da propriedade de tensão de ruptura nos compósitos com reforço de fibras longas de bambu, porém o compósito apresentou uma fratura do tipo frágil apesar de suas matrizes puras, polipropileno virgem e reciclado, apresentarem um comportamento elástico na maioria de suas composições. Pelo fato deste comportamento frágil do compósito podemos relacionar as suas propriedades aos parâmetros da distribuição de Weibull. O procedimento a ser seguido será, após a ordenação das tensões de ruptura em ordem crescente é feita a determinação das probabilidades de fratura acumulada pelo fator determinado por $F_j = (j - 0,5) / N$ sendo N o número de amostras e j variando de 1 até N. Aplicando este fator na equação 2 temos resultados suficientes para determinar os parâmetros m e σ_0 que foram usados para a determinação da resistência média a ruptura e a variância dos resultados.

A tabela abaixo mostra os resultados obtidos seguindo os passos descritos no parágrafo anterior.

Tabela 2. Resultados da aplicação da distribuição de Weibull

Tipo de corpo de prova	Parâmetro m	Resistência média	Variância
Compósito virgem	6	52	7,3
Compósito reciclado	9	36	7,5

Como se pode observar vemos que a elevação do parâmetro m de Weibull ocasionou uma diminuição na resistência média do compósito portanto as variâncias ficaram muito próximas o que pode evidenciar a homogeneidade dos ensaios

mesmo o que pode dizer que as fibras usadas tinham propriedades com certa identidade. Apesar de não ter encontrado literatura que comente as propriedades físicas dos compósitos reforçados com fibras longas de bambu, pois este ramo de pesquisa ainda está em um momento inicial devido não existir um método eficiente de se extrair fibras longas do bambu.

4 CONCLUSÃO

Com a crescente demanda por materiais ecologicamente corretos se vê a necessidade de um método que possa mensurar suas propriedades mecânicas com certa certeza, pois a cada dia se descobrem novos materiais, principalmente no que se diz a respeito dos materiais compósitos, pois os mesmos unem propriedades altamente desejáveis de diferentes classes de materiais como neste caso os polímeros e as fibras naturais. Neste compósito o polipropileno tem uma grande resistência a impactos enquanto a fibra de bambu tem uma grande resistência a tração, portanto um material com a união de tais propriedades torna-se altamente desejável, pois seu baixo custo, alta resistência mecânica e baixa agressão a natureza o coloca em bons olhos para a indústria de materiais verdes.

Com este trabalho pode-se ver que a distribuição de Weibull garante uma boa precisão na predição de comportamentos mecânicos deste material compósito, então ela se torna mais uma grande ferramenta matemática a ser usada futuramente na pesquisa destes compósitos reforçados com fibras longas de bambu.

Agradecimentos

Agradecemos ao CNPQ pela concessão da bolsa de pesquisa, ao LAMEFF pelo apoio as atividades experimentais e ao professor-orientador Prof. Dr. Ênio Pontes de Deus.

REFERÊNCIAS

- 1 Ghavami, K. Bambu: Um Material Alternativo na Engenharia. Revista do Instituto de Engenharia, n.492, 1992
- 2 Berezowski, Luiz Ricardo, Carlos M. Neto, Francisco Cristovam L. de Melo, Avaliação da resistência mecânica de cerâmicas a base de Carbetto de Silício, Artigos e Resumos do ITA (Instituto Tecnológico da Aeronáutica), disponível em www.bibl.ita.br/viiiencita, Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos, São Paulo, 2014.
- 3 Mallick, P.K., Fiber-reinforced composites : materials, manufacturing, and design, 3rd ed., CRC Press. 2008.