

## IDENTIFICAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DO MATERIAL COMPOSTO DE UM TREM DE POUSO DE UM AEROMODELO

**Luciana C. C. D. Alves, Marcio dos S. Trombin, Jucélio T. Pereira, Marco A. Luersen**

Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Av. Sete de Setembro, 3165 – Rebouças – Curitiba – PR – CEP: 80230-901

luciana.caminski@gmail.com, mtrombin@gmail.com, jucelio@utfpr.edu.br, luersen@utfpr.edu.br

### 1. INTRODUÇÃO

Este trabalho tem por objetivo determinar o módulo de elasticidade das lâminas do material composto, feito de tecido de fibra de vidro bidirecional, utilizado no trem de pouso do aeromodelo da equipe da UTFPR para o concurso SAE Brasil Aerodesign 2007. Esta caracterização do material servirá para conhecer com maior acurácia as propriedades elásticas do trem de pouso e com isso melhor prever seu desempenho em serviço. O trem de pouso foi analisado numericamente via elementos finitos, sob carregamento estático para três casos de cargas diferentes, e medições de deformação com extensômetros foram realizadas em um protótipo. O módulo de elasticidade das lâminas na direção das fibras foi obtido alterando-o no modelo numérico de forma que os resultados de deformação no ponto correspondente às medições fossem coincidentes aos valores obtidos experimentalmente.

### 2. CARACTERÍSTICAS DO PROTÓTIPO

O protótipo do trem de pouso foi fabricado de lâminas de tecido de fibra de vidro bidirecional com gramatura 200g/cm<sup>2</sup> e resina epoxy, através da técnica de laminação manual, com molde e contra-molde. Foram utilizadas 30 lâminas com fibras orientadas em relação ao eixo x (ver Figura 1) a 12° e 102° nas lâminas ímpares, e a -12° e 78° nas lâminas pares. A porcentagem de fibras em volume ( $V_f$ ) foi de aproximadamente 55% e a espessura média do laminado de 4 mm. O trem de pouso é bipartido, e a Figura 1 apresenta uma de suas partes com as dimensões geométricas.

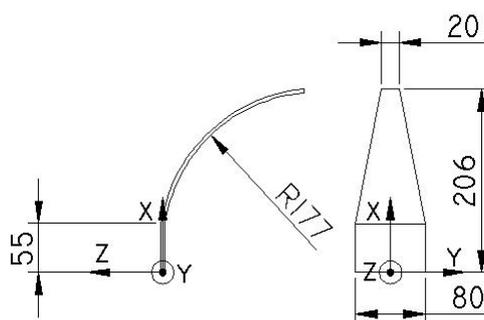


Figura 1: Dimensões principais do trem de pouso (em mm).

### 3. IDENTIFICAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE, RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a leitura das deformações foi utilizado o sistema de aquisição de sinais *Spider8* e o software *Catman*, ambos da HBM. Foram colados dois extensômetros para leitura em meia ponte, um superior (lâmina 30), e outro inferior (lâmina 1). A Figura 2(a) apresenta a montagem de um ensaio e a Figura 2(b) o extensômetro superior colado no trem de pouso. As massas utilizadas para aplicação das cargas foram de 2,134; 4,081 e 5,083 kg (Figura 2(c)), sendo realizados três ensaios

para cada carga. Os valores de deformação utilizados foram aqueles medidos no instante inicial de atuação da carga total, desta forma desconsidera-se as influências da viscoelasticidade do material e do aumento de temperatura dos extensômetros. Como utilizou-se uma meia ponte de Wheatstone, o resultado de deformação medido corresponde à soma das deformações dos dois extensômetros. Os resultados médios medidos, da menor para a maior carga foram: 0,824; 1,590 e 2,304 mm/mm, sendo os respectivos desvios padrões: 0,005; 0,035 e 0,017.

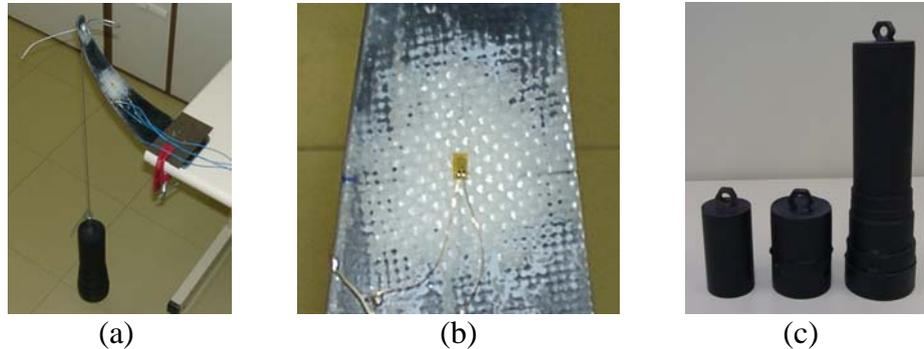


Figura 2: Montagem do ensaio (a), detalhe do extensômetro superior (b) e massas utilizadas (c).

Na análise numérica foram utilizados elementos finitos de casca de 8 nós, formulados com a teoria de primeira ordem para materiais laminados (Reddy, 2004). A malha ficou constituída de 3020 nós e 947 elementos (ver Figura 3). As propriedades elásticas de uma lâmina, adotadas inicialmente, foram obtidas de Gay (1997) para um tecido de fibra de vidro  $V_f$  de 50%, sendo  $E_1 = E_2 = 20$  GPa,  $G_{12} = G_{13} = G_{23} = 2,85$  GPa,  $\nu_{12} = \nu_{13} = \nu_{23} = 0,13$ , onde  $E$  representa o módulo de elasticidade longitudinal,  $G$  o módulo de elasticidade transversal e  $\nu$  o coeficiente de Poisson. As coordenadas 1 e 2 representam as direções longitudinal e transversal em relação às fibras da lâmina, e a coordenada 3 a direção perpendicular à superfície da lâmina. Note que, como o tecido é bidirecional, as propriedades nas direções 1 e 2 são iguais. Foram assim variados os módulos  $E_1$  e  $E_2$ , obedecendo a relação  $E_1 = E_2$ . Além disso, os valores dos módulos  $G_{ij}$  foram alterados por proporcionalidade em relação ao módulo longitudinal  $E_1$ , e os coeficientes de Poisson  $\nu_{ij}$  deixados constantes. Com os três ensaios chegou-se aos seguintes valores de módulos de elasticidade  $E_1$ : 24,62; 25,09 e 25,26 GPa. A média sendo 24,99 GPa, o desvio padrão 0,332 GPa, e a diferença da média em relação ao valor adotado inicialmente de 24,95%. Esta última é atribuída ao diferente  $V_f$  utilizado (55% em relação à 50%), ao processo de fabricação e à procedência das matérias-primas do protótipo. Assim, com uma baixa dispersão encontrada nos testes experimentais, conseguiu-se levantar as propriedades elásticas do material a serem utilizadas nas diferentes análises do projeto estrutural do trem de pouso e do aeromodelo.

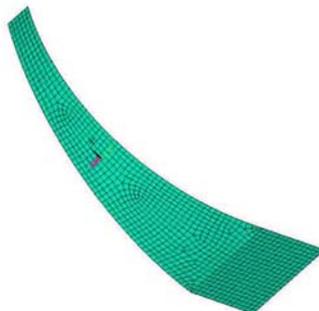


Figura 3: Malha de elementos finitos com elementos de casca para materiais laminados.

#### 4. REFERÊNCIAS

- Gay, D., 1997, “Matériaux Composites”, 4ª Ed., Hermes, Paris.  
 Reddy, J.N., 2004, “Mechanics of Laminated Composite Plates and Shells: Theory and Analysis”, CRC Press, Boca Raton, FL, Second Edition.