

DETERMINAÇÃO DO DIÂMETRO EQUIVALENTE PARA O CÁLCULO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE À FLEXÃO DE TORAS

DETERMINATION OF EQUIVALENT DIAMETER FOR THE CALCULATION OF BENDING MODULUS OF ELASTICITY OF LOGS

Marcelo Rodrigo CARREIRA¹; Pedro Gutemberg de A. SEGUNDINHO²;
Antonio Alves DIAS³

RESUMO – O objetivo deste trabalho foi determinar um diâmetro equivalente que resulte na estimativa mais acurada do módulo de elasticidade à flexão de vigas tronco-cônicas nos ensaios de flexão estática com as vigas em balanço e simplesmente apoiadas, e de vibração transversal com as vigas em suspensão livre. Para tanto, foram feitas análises estática e modal, por meio de elementos finitos, de 45 vigas tronco-cônicas com diferentes conicidades e a partir dos modelos analíticos dos ensaios estáticos e dinâmico foram definidas funções erro para o módulo de elasticidade sendo que o diâmetro equivalente para cada ensaio foi obtido pela minimização dessas funções. Verificou-se que para os ensaios de flexão estática com a base da tora engastada e de vibração transversal em suspensão livre o módulo de elasticidade deve ser calculado com os diâmetros medidos respectivamente a $0,70L$ e a $0,50L$ (sendo L o comprimento). Para o ensaio de flexão estática com a tora simplesmente apoiada, por questão de simplicidade, pode-se calcular o módulo de elasticidade com o diâmetro medido na metade do comprimento ($0,50L$).

Palavras-chave: Avaliação Não-Destrutiva, flexão estática, vibração transversal.

ABSTRACT – The aim of this study was to determine an equivalent diameter that results in more accurate estimate of the modulus of elasticity of truncated conical beams in static bending test with cantilever and simply supported beams and with transverse vibration test with beam in free suspension. We made static and modal analysis, using finite elements, of 45 truncated conical beams with different tapers. From the analytical models of static and dynamic testing error functions were defined for the elastic modulus and the diameter equivalent to each test was obtained by minimization of these functions. It was found that for the static bending tests with end bottom clamped and transverse vibration in free suspension the modulus of elasticity shall be calculated using the diameters measured, respectively, at $0.70 L$ and $0.50 L$ (where L is the length). For the static bending test with the log simply supported, for simplicity, we can calculate the elastic modulus with the diameter measured at half the length ($0.50 L$).

Keywords: Non-Destructive Evaluation, static bending, transverse vibration.

¹ Professor da UTFPR, Campus Campo Mourão, doutorando em Engenharia de Estruturas na EESC/USP, carreira@utfpr.edu.br

² Professor do Adjunto do Departamento de Engenharia Florestal, UFES, Campus Alegre, p_gutemberg2001@yahoo.com.br.

³ Professor Doutor do Departamento de Engenharia de Estruturas, EESC/USP, dias@sc.usp.br.

INTRODUÇÃO

A variação do diâmetro da tora deve ser levada em conta no modelo matemático dos testes estáticos ou dinâmicos com a finalidade de avaliar o módulo de elasticidade. Porém, a inclusão da variação do diâmetro ao longo do comprimento leva a um equacionamento de solução mais trabalhosa do que aquele deduzido para vigas prismáticas. No ensaio de vibração transversal, por exemplo, para a determinação do módulo de elasticidade é necessário resolver um determinante com funções de Bessel de 4ª e 5ª ordem (CHUI, 1999) o qual só pode ser solucionado por métodos numéricos.

Por esse motivo, as normas para ensaio de flexão estática em toras de madeira admitem as toras como sendo um cilindro com diâmetro calculado a partir de uma média geométrica ponderada entre os diâmetros medidos nas duas extremidades das toras.

Para simplificar a determinação do módulo de elasticidade ensaio nos ensaios de flexão estática e de vibração transversal pode-se admitir a tora como um cilindro com um “diâmetro equivalente” (D_{eq}) que resulte na melhor estimativa da rigidez à flexão.

O objetivo deste trabalho foi determinar um diâmetro equivalente que resulte na estimativa mais acurada do módulo de elasticidade à flexão de vigas tronco-cônicas nos ensaios de flexão estática com as vigas em balanço e simplesmente apoiadas, e de vibração transversal com as vigas em suspensão livre.

MÉTODOS

Foram feitas simulações numéricas no Abaqus 6.3, nas quais o ensaio de vibração transversal foi modelado com a condição de contorno livre-livre, e o ensaio de flexão estática foi modelado para duas condições: engastado-livre com carga concentrada na extremidade livre e simplesmente apoiada com carregamento concentrado na metade do comprimento. As vigas foram modeladas como sólidos tri-dimensionais com comprimento de 3 m e conicidades (C) de 0,2%, 0,6%, 1,0%, 1,4% e 1,8% (calculadas conforme Equação 1) e relação comprimento/diâmetro na metade do comprimento (L/D_{meio}) de 10 a 26 variando de 2 em 2, totalizando 45 vigas analisadas. A malha foi gerada usando o elemento *Hex* com dimensão máxima de 10 mm. Foram adotados os seguintes valores para as propriedades físicas do material das vigas: $E = 18,0$ GPa; $G = 1,125$ GPa, $\nu = 0,23$ e $\rho = 800$ kg/m³.

$$C(\%) = \frac{D_{base} - D_{topo}}{L} \cdot 100 \quad (1)$$

Sendo:

D_{base} = diâmetro da base da tora (m);

D_{topo} = diâmetro do topo da tora (m);

L = comprimento da tora (m).

Para o cálculo do módulo de elasticidade dinâmico levando em conta os efeitos da inércia à rotação e do esforço cortante foi utilizada a Equação 2, na qual o diâmetro equivalente adotado no cálculo fica em função de uma coordenada relativa x' conforme sistema de referência mostrado na Figura 1.