

ANÁLISE NÃO LINEAR DE ELEMENTO COM SEÇÃO VARIÁVEL SUBMETIDO À FLEXO COMPRESSÃO

Takashi Yojo¹ (yojos@ipt.br); **Cassiano Oliveira de Souza²** (cassianos@ipt.br);
Suelem Maurício Fontes Macena³ (sumacena@ipt.br)

^{1,2,3}Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, São Paulo –Brasil

Resumo

Este trabalho apresenta análise estrutural de elemento com seção transversal circular variável, engastado numa extremidade e livre na outra, resistindo ao esforço de flexão e de compressão sob não linearidade geométrica de segunda ordem. Este caso pode ocorrer em postes, moirões, colunas e pórticos engastados no solo. A fundamentação teórica foi baseada no princípio de Hamilton e em trabalho virtual. Para a formulação da equação de equilíbrio foi utilizada função de forma cossenoidal. Nesta análise foi adotada a equação da linha elástica com pequenas rotações e grandes deslocamentos. Para a avaliação deste modelo, os resultados foram comparados com os critérios estabelecidos pela Norma Eurocode 5, para verificar a resistência à compressão e flexão, bem como a estabilidade da madeira classe C30. Para a parcela de resistência relativa à flexão foi considerado o produto da tensão de ruptura pelo módulo resistente da seção transversal. Já para a parcela correspondente à compressão foi levada em consideração a resistência ao esmagamento e a capacidade limite da peça ao atingir a instabilidade devido à flambagem. Foram realizadas simulações para comparar o efeito de segunda ordem com relação à resistência a flexo compressão e a estabilidade. Concluiu-se que a resistência e a estabilidade de peças esbeltas sofrem influências significativas e que devem ser consideradas em normas internacionais.

Palavras-chave: Não linear. Seção variável. Flexão. Compressão. Madeira.

Abstract

This paper presents structural analysis of a circular variable cross-section element, crimped at one end and free at the other under bending and compression action taking into account the effect of second order geometric nonlinearity. This case can occur on poles, fence posts and columns that are set in the ground. The theoretical model was based on the Hamilton principle and on virtual work. Cosine shape function was used for the formulation of the equilibrium equation. In this analysis, the elastic equation with small rotations and large displacements was considered. For the evaluation of this model, the criteria established by the Eurocode Standard 5 were used to compare the compressive and flexural strength, as well as the stability of C30 class wood. The flexural strength was obtained by the product of the bending strength by the modulus of resistance of the cross section. For the compression, the crush strength and instability due to buckling were taken into account. Simulations were performed to compare the second order effect with respect to flexural strength and stability. It was concluded that the strength, stability of slender frames are significantly influenced and that they must be considered in international

standards.

Keywords: Non linear. Variable section. Flexure. Compression. Wood.

1 Introdução

Este trabalho apresenta análise estrutural de um elemento com seção transversal circular variável, engastado numa extremidade e livre na outra, resistindo ao esforço de flexão e de compressão sob não linearidade geométrica de segunda ordem. Esta situação ocorre em colunas e pórticos engastados no solo. A fundamentação teórica para a formulação da equação de equilíbrio foi baseada no princípio de Hamilton e em trabalho virtual. Foi considerada equação da linha elástica com pequenas rotações e grandes deslocamentos. Para a avaliação desta análise, os critérios de estabilidade estabelecidos pela Norma Eurocode 5 foram utilizados como base de comparação. Ao considerar esbeltez, o estado último pode ocorrer por esmagamento, no caso de peças curtas, ou por flambagem, no caso de peças longas. Para dedução do deslocamento não linear foi utilizada uma função de forma cossenoidal. A utilização da função de forma facilita a dedução da carga crítica e o deslocamento lateral de peças com seção variável. Foram realizadas simulações com madeira da classe C30 para comparar o efeito de segunda ordem com relação à resistência à flexo compressão e sua estabilidade. O objetivo deste estudo foi calcular a carga crítica bem como avaliar a importância do efeito da não linearidade geométrica na alteração do momento fletor em peças circulares com e sem conicidade.

2 Revisão de literatura

A fundamentação teórica para a formulação de equações de equilíbrio de peças com seção variável, sob não linearidade geométrica de segunda ordem, pode ser baseada em CLOUGH (1982, p. 11). O conceito variacional do princípio de Hamilton pode ser expresso por.

$$\int_{t_1}^{t_2} \delta(T - V) dt + \int_{t_1}^{t_2} \delta W_{nc} dt = 0 \quad (1)$$

Onde

T : energia cinética total do sistema;

V : energia potencial do sistema devido às forças externas conservativas;

W_{nc} : energia potencial do sistema devido às forças não conservativas;

δ : variação tomada durante intervalo de tempo indicado.

Para a solução da equação de equilíbrio, CLOUGH (1982) utiliza a função de forma para resolver numericamente a equação integral. Esta técnica será utilizada neste trabalho, porém ajustando para a situação aqui almejada, conforme será explicado na seção 3.

Diversas análises de barras sob não linearidade geométrica são realizadas em Timoshenko (1961) com solução analítica de diversos casos de flambagem.