

**IX ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA
CUIABÁ – JULHO DE 2004**

**MASTROS COMPOSTOS DE TUBOS DE BAMBU REFORÇADOS
COM CABOS DE AÇO**

Luis Eustáquio Moreira (luis@dees.ufmg.br), **Breno Soares Melo** (brenosmelo@yahoo.com.br)

Universidade Federal de Minas Gerais – Departamento de Engenharia de Estruturas.

José Luís Mendes Ripper (nair@mec.puc-rio.br)

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – Departamento de Artes e Desenho Industrial

RESUMO - Os tubos de bambu são muito sensíveis às imperfeições iniciais do eixo longitudinal. Por outro lado, a forma natural do eixo longitudinal dos bambus descreve diferentes geometrias individuais. Nossas últimas investigações de flambagem de bambus mostraram que o bambu flamba em um plano que segue a direção de mais alta imperfeição inicial. Quanto maiores as imperfeições iniciais, mais baixas são as cargas de colapso e maiores são os correspondentes deslocamentos laterais antes da ruptura. Tão logo a carga de compressão é aplicada, o arqueamento lateral é aumentado. Dois parâmetros básicos devem ser controlados no projeto pelos Estados Limites: máximo deslocamento lateral e máxima carga de segurança. Grandes deslocamentos laterais comprometem aspectos estéticos e conforto dos usuários. Eles provavelmente podem também induzir pequenas trincas invisíveis a olho nu. De qualquer modo, a carga de flambagem de Euler é um limite superior para a capacidade de carga dos bambus em compressão. Neste artigo é apresentado um estudo de mastros de bambu. Trata-se de um elemento híbrido, composto de um tubo de bambu e um reforço produzido por cabos que correm paralelamente e externamente ao bambu. As principais características deste elemento estrutural são resistência associada à leveza. Esta solução é então coerente para uso em estruturas leves, OTTO (1973), como, por exemplo, tendas e colunas de veleiros. Estes estudos compreendem o desenvolvimento dos mastros através de modelos estudados no LTDMP (Laboratório para Treinamento e Design de Modelos e Protótipos - UFMG) em colaboração com o LILD (Laboratório de Investigações em Living Design – PUC-Rio) e testes mecânicos de flambagem de um protótipo de 206 cm de comprimento, realizados no LAEES (Laboratório de Análise Experimental de Estruturas), do Depto de Engenharia de Estruturas da EEUFMG. Um modelo analítico é proposto para controle do fenômeno e uma comparação de desempenho mecânico entre o mastro e o bambu isolado é também apresentada.

Palavras-chave: Design, Mastros, Bambu, Flambagem

**MASTS COMPOSED OF REINFORCED TUBES OF BAMBOO
WITH CABLES OF STEEL**

ABSTRACT - Bamboo tubes under compression are very sensible to initial imperfections of longitudinal axis. The natural shape of longitudinal axis of bamboo describes different individual geometries. Our latest investigations of bamboo buckling showed that bamboo buckles in a plane that follows the direction of higher initial imperfections. The higher are the initial imperfections lower the failure loads and higher the correspondent lateral displacements previous the failure. As soon as the compression load is applied, the lateral arch is increased. Two basic parameters have to be controlled in Limit States Design: maximum lateral displacement and maximum safety load. Large lateral displacements compromise aesthetics aspects and users comfort. It can also probably induce small invisible cracks. Anyway the load capacity has a reduced value in comparison to the theoretical Euler load. In this article is presented a study of bamboo masts. This is a hybrid element composed of a bamboo tube and a reinforcement produced by cables that runs parallel and externally to the bamboo. The principal characteristics of this structural element are resistance associated to lightness. This solution is then coherent for use as tents, OTTO(1973) and sailing ships columns, for instance. These studies comprise mast development through small models studied in LTDMP (Laboratory of Training and Design of Models and Prototypes - UFMG) in collaboration with LILD (Laboratory of Investigations in Living Design – PUC – Rio) and buckling mechanical test of a 206 centimeters long prototype, done in LAEES (Laboratory of Structures Experimental Analysis) localized in the Structural Engineering Department of School of Engineering of Federal University of Minas Gerais. An analytical model is proposed to phenomenon control and a mechanical performance comparison among bamboo masts and single bamboos is also presented.

Keywords: Design, Masts, Bamboo, Buckling.

1. INTRODUÇÃO

Após o Primeiro Congresso Internacional do Bambu, realizado em Singapura, 1980, as investigações do bambu vêm aumentando nos países ocidentais, incluindo o Brasil, que tem terras em zonas tropicais e subtropicais, favoráveis ao seu cultivo. Por outro lado, o Brasil tem milhões de pessoas motivadas pela publicidade e bem ajustadas ao mercado de consumo, o que as torna aptas a usar estruturas de bambu.

Os bambus podem ser utilizados para fabricar diferentes tipos de estruturas, de forma a beneficiar diferentes categorias sociais. Conscientes destes pontos favoráveis, o comportamento mecânico e projeto de treliças de bambus têm sido nosso objeto de pesquisas desde 1989, MOREIRA (1991).

Entre os diferentes testes mecânicos e conexões em desenvolvimento, o fenômeno da flambagem é um dos mais importantes, MOREIRA (1998). O elemento de bambu tem um desempenho particular quando axialmente comprimido. De acordo com nossas investigações, a ruptura de elementos esbeltos ocorre simultaneamente ao esmagamento das fibras próximas ao centro dos elementos. No presente artigo, o bambu foi seco em chama de maçarico e em seguida, recebeu uma pintura de óleo diesel por meio de estopa.

Uma grande variedade de espécies de bambus tem pequenos diâmetros e, portanto, pequena capacidade de carga sob forças de compressão. Esta é uma das razões dessa investigação, que discute a flambagem de mastros de bambu. Quatro cabos de aço correm paralelamente ao tubo e um sistema de contraventamento, no centro do elemento, é usado para aumentar a resistência a flambagem.

O artigo compreende também o projeto de mastros através de modelos físicos, testes de flambagem do bambu e do mastro e também um modelo analítico para controlar a flambagem de mastros de bambu.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a constituição e entendimento do funcionamento de mastros de bambu e visando também a redução de custos de um modo geral, foram utilizados modelos físicos em escala reduzida, antes do protótipo final. Também foi feita uma pequena prensa para testes qualitativos desses modelos.

Os modelos têm um metro de comprimento e um sistema de contraventamento com 15 cm de comprimento. Os bambus utilizados têm 1 cm de diâmetro externo. Primeiramente foram utilizados cabos de algodão e sisal. Estes cabos foram amarrados às extremidades dos bambus através de dois furos de cada lado. Os deslocamentos laterais, destes primeiros modelos, ficaram reduzidos, em relação à compressão dos bambus isolados, mas de forma ainda não satisfatória.

Ficou evidente que todo deslocamento relativo entre bambus e cabos necessitava ser restringido para um perfeito funcionamento do mastro. Por outro lado, a relaxação dos cabos destrói totalmente o funcionamento do mastro.