

APLICAÇÃO DO MÉTODO DOS ELEMENTOS DE CONTORNO EM ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE MADEIRA LAMINADA COLADA

AN APPLICATION OF BOUNDARY ELEMENT METHOD ON TIMBER STRUCTURAL BARS

Maximiliano dos Anjos AZAMBUJA ¹; Luttgardes de OLIVEIRA NETO ²;

RESUMO - Este trabalho visa fazer uma aplicação original de formulação do Método dos Elementos de Contorno (MEC) na análise de elementos estruturais em madeira laminada colada. Tanto barras de madeira original quanto as compostas de lâminas coladas têm propriedades mecânicas anisotrópicas. A modelagem numérica deve levar em consideração esta característica como também um comportamento físico não-linear próximo da ruptura. A proposição de modelagem numérica por uma formulação do MEC é apresentada originalmente neste trabalho, procurando avaliar a distribuição de tensões e sua evolução em modelos físicos de dimensão estrutural e os resultados numéricos são comparados com os obtidos nestes ensaios. A formulação considera a anisotropia do meio de um tensor elástico residual, realiza a homogeneização das propriedades elásticas dos elementos estruturais para se obterem os parâmetros do modelo numérico de dano utilizado. Os resultados experimentais para avaliar a qualidade da colagem de lâminas de madeira por meio de ensaios de flexão, tração paralela às fibras da madeira (f_{t0}) em lâminas de madeira com e sem emendas dentadas, modo de ruptura conforme ASTM D4688 foram extraídas de publicações científicas. No presente trabalho iniciaram-se as simulações preliminares visando estabelecer os parâmetros numéricos balizados com os dados de ensaios, obtendo-se uma razoável concordância entre si.

Palavras-chave: método dos elementos de contorno; modelos de dano; madeira laminada colada; anisotropia.

ABSTRACT - This work presents an original application of a boundary element method formulation to analyse of glued laminated timber without finger joint of structural dimension. The numerical simulation must consider the anisotropy of the elastic properties na the non-linear behaviour near rupture stresses. The preseted formulation considers the anisipropy by an elastic tensor through a residual, performs the homogenization of elastic properties to obtain the numerical parameters of the damage model. Numerical modeling to evaluate the stress distribution and its evolution in the tested physical models and numerical results are compared with those obtained in test. The experimental results to evaluate the quality of gluing of glued laminated timber by means of bending tests, strength (f_{t0}) in lamina of wood with and without finger joint, failure mode according to ASTM D4688 were extracted from scientific publications. The results of numerical models were compared with literature. In this study began the preliminary simulations to establish the numerical parameters set with test data, obtaining a reasonable agreement between the data.

Keywords: boundary element method; numerical damage model; lamina wood; adhesives; anisotropy.

¹ Prof. Dr., Departamento de Engenharia Civil, UNESP, campus Bauru, maximilianoazam@feb.unesp.br

² Prof. Dr., Departamento de Engenharia Civil, UNESP, campus Bauru, lutt@feb.unesp.br

INTRODUÇÃO

O Método dos Elementos de Contorno apresenta essencialmente duas alternativas de formulação de análise linear em meio homogêneo anisotrópico: solução fundamental anisotrópica e solução fundamental isotrópica.

Conforme já citado por Oliveira Neto e Calderón (2008) e Oliveira Neto et al (2011), Brebbia e Dominguez (1989) apresentaram procedimento alternativo de análise de meios homogêneos anisotrópicos utilizando solução fundamental isotrópica, porém não implementada. Nos trabalhos de Schlar (1994) e Perez & Wrobel (1996) encontram-se propostas de implementação deste procedimento, os primeiros utilizando o Método da Reciprocidade Dual e os últimos utilizando células para aproximação das variáveis de domínio, ambos reescrevendo a equação integral para pontos internos, levando em conta a diferença entre o tensor de constantes elásticas anisotrópicas e isotrópicas.

Este trabalho apresenta o estudo teórico-experimental de vigas de madeira laminada colada, utilizando-se o procedimento de Perez & Wrobel (1996), por se adequar à formulação não-linear física com modelos de dano que vem sendo implementada pelo primeiro autor em estágio pós-doutoral atual.

MADEIRA LAMINADA COLADA

Madeira

A madeira *Pinus caribea hondurensis* utilizada na pesquisa de Azambuja (2006) possui as seguintes características apresentadas na Tabela 1, especificadas pela norma ABNT NBR 7190/1997.

Tabela 1 - Valores médios das propriedades de rigidez e resistência da espécie Pinus

Nome comum (coníferas)	Nome científico	$\rho_{ap} (12\%)$ ¹⁾ kg/m ³	f_{c0} ²⁾ MPa	f_{t0} ³⁾ MPa	f_{t90} ⁴⁾ MPa	f_v ⁵⁾ MPa	E_{c0} ⁶⁾ MPa	n ⁷⁾
Pinus hondurensis	<i>Pinus caribea</i> var. <i>hondurensis</i>	535	42,3	50,3	2,6	7,8	9.868	99

Fonte: ABNT NBR 7190:1997 - Projeto de Estruturas de Madeira.

Montagem das vigas

De acordo com Azambuja (2006) para a confecção das vigas de MLC, foram utilizadas lâminas com dimensões nominais iguais a 3,5 x 5,5 x 200 cm, com teor de umidade em torno de 12%.

As vigas retas de madeira laminada colada foram confeccionadas com dimensão nominal de 5,5 x 30 x 200 cm (8 lâminas de 3,5 x 5,5 cm). As vigas de MLC foram confeccionadas com as lâminas sendo dispostas de maneira seletiva: as de módulo de elasticidade mais elevados na parte externa da viga e a de menor módulo no centro da seção transversal.

As vigas de madeira laminada colada (MLC) apresentam uma baixa relação vão/altura, inferior às relações utilizadas correntemente, com o intuito de que o estado limite último atingido fosse o de cisalhamento na cola. Foram obtidos experimentalmente a rigidez à flexão das vigas e a força de ruptura, para avaliar a eficiência da colagem.

Foi utilizada a pressão de colagem igual a 0,4 MPa, aplicada por intermédio da prensa específica para colagem de MLC do LaMEM, e controlada com o auxílio de um torquímetro