

**VIII ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA
UBERLÂNDIA – JULHO DE 2002**

**APLICAÇÃO DO MODELO DE KUENZI PARA O CÁLCULO DA RIGIDEZ DE LIGAÇÕES DE
PEÇAS DE MADEIRA COM PINOS METÁLICOS**

Ricardo de Carvalho Alvim¹ (ralvim@usp.br), **Pedro Afonso de Oliveira Almeida** (palmeida@usp.br), **Luís Augusto Conte Mendes Veloso**² (lveloso@usp.br)

Laboratório de Estruturas e Materiais Estruturais da Escola Politécnica da USP

RESUMO: Neste trabalho empregou-se o modelo de Kuenzi para o cálculo da rigidez de ligações de peças de madeira com pinos metálicos. Inicialmente, os princípios básicos de funcionamento do modelo de Kuenzi foram apresentados para, em seguida, serem aplicados a diferentes arranjos de ligações. Os valores de rigidez das ligações foram calculados em função dos diâmetros dos pinos e do módulo de elasticidade da madeira para as diferentes classes de resistência da NBR 7190/97. Além disso, foram apresentadas algumas das possíveis aplicações desse modelo e propostas de modificação que poderiam ser implementadas de modo a obter melhores resultados. Finalmente, foi empregado o modelo do Eurocode 5 para o cálculo da rigidez das ligações dos diferentes arranjos estudados. Os resultados encontrados foram comparados com aqueles obtidos pelo modelo de Kuenzi. Então, foi possível concluir que o modelo de Kuenzi apresentou resultados aproximadamente iguais aos fornecidos pela norma européia.

Palavras-chave: ligações, rigidez, peças compostas.

**APPLICATION OF THE KUENZI'S MODEL FOR THE STIFFNESS EVALUATION OF JOINTS
WITH DOWEL-TYPE FASTENERS**

ABSTRACT: In this paper the Kuenzi's beam on elastic foundation model was used to calculate the slip module of timber joints with dowel-type fasteners. Firstly, the basic fundamentals of the Kuenzi's model were presented and then applied in different joint arrangements. The joint stiffness values were calculated based on the dowel diameter and the wood elastic modulus for different NBR 7190 wood strength classes. Furthermore, it was presented some possible applications of this model and modification proposals that could be introduced in order to achieve better results. Lastly, it was the Eurocode 5 model was used for the evaluation of the joint stiffness for the different studied arrangements. The results were compared with those from Kuenzi's model. Therefore, it was possible to conclude that Kuenzi's model results had an excellent agreement with those from the European code.

Keywords: timber joints, stiffness, composed wood members

¹ Bolsista do CNPq, processo número 141908/1997-1

² Bolsista da FAPESP, processo número 99/03051-6

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento da rigidez das ligações é um dos aspectos de fundamental importância na investigação do comportamento das peças compostas. Isto se deve principalmente a deformabilidade dos meios de união usualmente empregados nas estruturas de madeira. Em geral, a rigidez é determinada em função da curva carga-deslocamento das ligações conforme o tipo de meio de união empregado (cola, pinos e conectores metálicos). Para isso, são utilizados modelos analíticos de representação do comportamento das ligações junto com experimentações físicas para determinação da curva carga-deslocamento em função de características geométricas das ligações como, por exemplo, espessura das camadas interligadas e o diâmetro dos pinos metálicos empregados.

Um desses modelos teóricos faz analogia da ligação com uma viga sobre fundação elástica. Esse conceito foi inicialmente proposto por WINKLER (1867). Na primeira metade do século 20, HETENYI (1946) formulou várias soluções para vigas de comprimento finito sob diferentes condições de carregamento. Contudo, foi KUENZI em 1955 que desenvolveu de fato a analogia de viga sobre fundação elástica, pelo que ganhou notoriedade internacional.

A partir da aplicação de equações que representam a deformação dos pinos na madeira foi possível estabelecer relações entre a rigidez das ligações e as propriedades dos materiais. Por se tratar de um modelo simplista de análise seu emprego foi restrito aos casos também mais simples. Com o advento do Método dos Elementos Finitos (por volta da década de 60), novas técnicas de análise foram introduzidas. Esta metodologia é a mais empregada em nossos dias, embora sua utilização dependa de um esforço computacional muito maior. Nos casos mais simples de projeto, costuma-se empregar equações simplificadas normalizadas como as do EUROCODE 5 ou o próprio modelo de KUENZI.

Neste trabalho, tendo em vista as situações usuais de projeto, foram desenvolvidas algumas aplicações do modelo de KUENZI e os resultados encontrados foram comparados com o EUROCODE 5 de modo a avaliar a extensão e validade dessa técnica.

2. O MODELO DE KUENZI

Em seu trabalho, KUENZI (1955) aplicou o conceito de analogia de uma viga sobre fundação elástica, Figura 1, e desenvolveu uma teoria para estimar a resistência e a rigidez de ligações pregadas e parafusadas. Em seu modelo, KUENZI considerou que o atrito entre os elementos de madeira deve ser desprezado e a profundidade efetiva da fundação é igual a uma polegada. O módulo elástico da fundação é definido por KUENZI como:

$$\bar{k} = \frac{d \cdot E_{c0} \text{ ou } E_{c90}}{D_e} \quad (1)$$

onde $\bar{k}$ é módulo elástico da fundação em N/mm^2 , E_{c0} ou E_{c90} é o módulo de elasticidade da madeira paralelo ou perpendicular às fibras em N/mm^2 , d é o diâmetro dos pregos ou parafusos em mm e D_e é a profundidade efetiva da fundação assumida com valor convencional igual a 1 polegada.