

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

**ESTIMATIVATIVA DO PERCENTIL 5% UTILIZANDO INTERVALOS DE
CONFIANÇAS DA RESPOSTA MÉDIA CONSIDERANDO VARIÁVEIS
INDEPENDENTES**

Julio César Pigozzo (jcpigozzo@bs2.com.br)

Universidade Estadual de Maringá – Departamento de Engenharia Civil, Maringá, Paraná.

Mariano Martínez Espinosa (marianom@sc.usp.br),

Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos.

Carlito Calil Jr. (calil@sc.usp.br)

Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos.

RESUMO: O planejamento estatístico de experimentos é uma ferramenta indispensável ao pesquisador frente a situações multivariáveis. Seja qual for o planejamento estatístico adotado ou simplesmente respostas de variáveis aleatórias, a técnica de regressão múltipla para situações com distribuição normal, pode ser utilizada para determinar ou desenvolver o modelo estatístico mais adequado. Este modelo permite inferir sobre os dados experimentais. Estimativas da resposta média deste modelo são bastante utilizadas em aplicações reais de projeto, porém nas aplicações estruturais é necessária a estimativa da resposta no percentil inferior 5%, denominado valor característico da resposta. Neste trabalho, obteve-se por meio de um experimento a resistência de ancoragem de barras de aço, coladas na madeira, na direção 45° em relação às fibras. Estimou-se a resistência média por meio de análise de regressão múltipla, obteve-se o intervalo de confiança com 90% da resposta média e a resistência característica de ancoragem correspondendo ao o percentil inferior 5%. As variáveis independentes utilizadas foram: área de ancoragem da barra de aço, umidade no instante da colagem e densidade da madeira. Todas as combinações de variáveis utilizadas apresentaram-se com seis replicações. A madeira utilizada foi o *Eucalyptus citriodora*, seco ao ar, tratado com CCA; aço CA-50, galvanizado por imersão e resina epóxi Compound Adesivo Gel. Apresenta-se os resultados do experimento, a resposta média da análise de regressão múltipla, a determinação do intervalo de confiança e a estimativa dos valores característicos para as variáveis, nas margens e dentro do intervalo do experimento.

Palavras-Chaves: regressão múltipla, percentis, resistência de ancoragem, barras de aço coladas

**ESTIMATION OF THE 5% PERCENTILE USING CONFIDENCE INTERVALS OF
THE MEAN RESPONSE CONSIDERING INDEPENDENT VARIABLES**

ABSTRACT: The statistical experiment design is an indispensable tool to the searching front the multichangeable situations. whichever the design statistical adopted or simply response of random variables, the technique of multiple regression for situations with normal distribution, can be used to determine or to develop more adequate the statistical model. This model allows to infer on the experimental data. The estimates of the mean response of this model sufficiently are used in real applications of project, however in the structural applications the estimate of the response in the 5% down percentile is necessary, called characteristic value of the response. In this work, present the experimental strength results of bonded-in steel rods in timber in angle 45° between the rod and the direction of grain, the estimates of the mean strength by analysis of multiple regression, the confidence interval of 90% and the characterisits response. The independent variables were used: anchorage area of steel bar surface, humidity in the instant of the glue and wood density. All combination of variables presented were six replicate. The wood used was *Eucalyptus citriodora*, dry to the air, with CCA treatment; were used galvanized threaded steel bars CA-50 and Compound Adesivo Gel epóxi resin. This paper results in the average anchorage force, response of the analysis of multiple regression, the determination of the confidence interval and the estimate of the characteristic values for the variables combination, in the edges and inside of the interval of the experiment.

Keywords: multiple regression, percentile, anchorage strength, bonded-in steel rods.

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVO

A técnica de regressão linear múltipla para observações com distribuição normal pode ser utilizada para determinar ou desenvolver modelos estatísticos mais adequados, frente a situações multivariáveis, que permitem inferir sobre os dados experimentais. Com o planejamento estatístico de experimentos, ferramenta indispensável ao pesquisador, consegue-se inicialmente, com número reduzido de observações, entender a tendência do comportamento das variáveis e na sequência, acrescentar informações complementares sem prejuízo do trabalho anteriormente executado. Seja qual for o planejamento estatístico adotado, o modelo estatístico obtido permitirá inferir uma resposta média para cada combinação de variáveis. Estas respostas médias tem aplicações em projetos, porém nas aplicações estruturais são necessárias as estimativas das respostas no percentil inferior 5% denominadas, valores característicos das respostas.

Neste trabalho, apresentam-se resultados do estudo preliminar da resistência de ancoragem de barras de aço coladas em peças estruturais roliças de Eucalipto citriodora tratados com CCA (*Eucalyptus citriodora*), ($\rho_{12\%}$ 1000 kg/m³), que após tratamentos estatísticos, permitirão obter os valores característicos para qualquer combinação das variáveis independentes assumindo valores, dentro e nas margens, do intervalo do experimento.

A utilização de barras de aço coladas em peças estruturais de madeira iniciou com a necessidade de se fixar parafusos, que poderiam receber carregamentos axiais, laterais ou combinados, em determinadas posições das estruturas de madeira. Esse tipo de conexão recebeu atenção e reconhecimento por apresentar excelente desempenho quando bem projetada e executada, pela aparência estética e baixo custo. Suas principais vantagens são: as conexões com barras coladas permitem maiores níveis de transferências de esforços do que as conexões convencionais; resistem a grandes momentos fletores; os furos utilizados não enfraquecem as peças estruturais como acontece com as ligações parafusadas; as peças estruturais ficam mais estéticas evitando conectores aparentes como chapas dentadas ou parafusos; são facilmente protegidas contra o fogo; são potencialmente mais baratas do que o sistema “finger-joint” uma vez que não necessitam de máquinas especiais para a execução; apresenta menos material e menor custo de produção quando comparadas as conexões parafusadas.

BAINBRIDGE e METTEM (1999) relatam que ainda não existem normas técnicas gerais regulamentando o uso de barras de aço coladas em estruturas de madeiras, embora tenham sido usadas, a mais de vinte anos em alguns países Escandinavos e na Alemanha, entretanto as exigências de desempenho e regulamentos de projetos diferem entre eles. Devido as incertezas do comportamento desses conectores e a falta de métodos gerais de cálculos, confiáveis, eles ainda não foram introduzidos na parte principal da norma européia. Atualmente consta no EUROCODE 5/93, recomendações de uso, em seu Anexo.

As resinas sintéticas estruturais mais utilizadas em estruturas de madeira são classificadas em três grupos: os fenol-resorcinol formoldeídos (PRF), os poliuretanos (PUR) e os epóxís (EP) que vêm sofrendo contínuos desenvolvimentos, apresentando cada vez melhores propriedades e menos defeitos, ao longo do tempo. Muitas informações e resultados obtidos há alguns anos atrás não mais se aplicam às novas resinas existentes. Conclusões obtidas por GARDNER (1994), que testou vários adesivos no desenvolvimento de sistemas de reforços em estruturas de madeira laminada colada, apresentam algumas propriedades das resinas disponíveis na