

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

**ESTADOS LIMITES DE UTILIZAÇÃO DE PASSARELAS BIAPOIADAS DE MADEIRA LAMINADA
PROTENDIDA SUJEITAS A VIBRAÇÕES INDUZIDAS POR PEDESTRES**

EVERALDO PLETZ – Professor do Departamento de Estruturas da Universidade Estadual de Londrina - UEL – doutorando no SET – EESC –USP - Av. do Trabalhador São-Carlense, 400 – Centro Cx. Postal 668 - São Carlos - São Paulo - Brasil CEP 13560-970 SP –Brasil – pletz@sc.usp.br -0xx-16-273-9369

FRANCISCO ANTONIO ROCCO LAHR –Professor Titular do Departamento de Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo — Av. do Trabalhador São-Carlense, 400 – Centro Cx. Postal 668 - São Carlos - São Paulo - Brasil CEP 13560-970 SP –Brasil – frocco@sc.usp.br -0xx-16-273-9448

RESUMO: As particularidades das passarelas biapoiadas, bastante usuais na prática contemporânea da engenharia civil, ensejam o desenvolvimento de um procedimento simplificado para o pré-dimensionamento da altura efetiva da seção transversal de tabuleiros compostos apenas por placas de madeira laminada protendida. Por outro lado, a prática do projeto de passarelas tem demonstrado que a verificação do estado limite de utilização para vibração é o ponto crucial. Geralmente, as passarelas possuem frequência natural muito baixa, tanto vertical como transversal, a ponto de muitas vezes coincidirem com a frequência das vibrações induzidas por pedestres, andando ou correndo. Observa-se, ainda que, a utilização de madeira laminada protendida na construção de tabuleiros de passarelas tende a crescer devido a suas inegáveis vantagens, como facilidade construtiva, baixo custo, alta durabilidade e uso de madeira de reflorestamento. Considerando estes aspectos, este trabalho tem por objetivo apresentar um procedimento simplificado para pré-dimensionamento da altura da seção transversal do tabuleiro, observando os limites de vibração estabelecidos internacionalmente. Para isto, a definição da ação dos pedestres é feita segundo as mais recentes normas internacionais, não se restringindo à vibração vertical, mas incluindo a perigosa e quase sempre esquecida vibração no sentido transversal. Comparações entre os documentos normativos internacionais são feitas e apresentadas. Espera-se que as expressões simplificadas que relacionam a altura do tabuleiro com o próprio vão, venham a ser úteis para projetistas de passarelas, nas fases iniciais de projeto.

Palavras-chave: madeira, passarelas, placas de madeira laminada protendida, estado limite de utilização

**VIBRATION SERVICEABILITY AND THE ESTIMATION OF STRESS-LAMINATED
DECKS' HEIGHTS FOR BEAM-LIKE FOOTBRIDGES**

ABSTRACT: The characteristics of this particular case of beam-like footbridges, so common in practice, makes it possible to develop simplified approach to estimate the heights of their cross section. Meantime, the practice of footbridge design has revealed that the observance of vibration serviceability limits is its critical condition. Usually, footbridges have low natural frequency in both lateral and vertical direction. The coincidence of these two frequencies with their respective walking or running frequencies is rather common. Stiffness of pedestrian bridges in the lateral direction is normally small, because of their usual reduced lateral dimensions, when compared to bridges. On the other hand, the use of stress-laminated decks in the construction of footbridge is likely to increase very much due to its undeniable advantages: ease of construction, low cost, high durability and possibility of use of forestation species. Taking into account these aspects, this paper aims at presenting a simplified procedure to estimate the cross-sectional height of footbridge stress-laminated decks, observing the limits of pedestrian induced vibration serviceability, established in some current international codes. The problem of assessing the human induced vibration is addressed according to the suggested approaches of these same codes. Not only the vertical direction vibration is considered, but also the almost always forgotten but not less harmful, lateral direction. The unavoidable comparison among proposed criteria is presented. A practical relation between span length and deck height is developed. It is expected the simplified proposed procedure to be helpful when put in practice by timber bridge architects and engineers, during the first phases of designing footbridges.

Keywords: timber, footbridges, stress-laminated decks, serviceability

1. INTRODUÇÃO

A construção de passarelas biapoiadas tem se tornado muito freqüente na construção civil contemporânea. A utilização de tabuleiros de madeira laminada protendida tem se intensificado porque permite eliminar longarinas e transversinas, reduzindo o sistema estrutural a uma placa, situação que o prof. Finsterwalder recomendou pela primeira vez em 1967, como ideal pela minimização do número de mecanismos de transferência de esforços, conforme esclarece PLETZ (2001). Destaca-se também que esta opção é muito agradável esteticamente, conferindo leveza e beleza ao conjunto. Por outro lado o projeto de passarela, segundo diversos autores, apresenta como ponto crítico, a verificação do conforto do usuário sujeito às vibrações que ele próprio induz à estrutura, ao atravessá-la.

Propõe-se neste trabalho analisar, comparativamente, os diversos instrumentos normativos internacionais que se pronunciam a respeito do tema. Uma vez que estas normas adotam expressões muito diferentes entre si, impedindo uma análise comparativa imediata, e considerando a importância acima destacada do caso das passarelas biapoiadas de tabuleiro composto por placa de madeira laminada protendida, optou-se por questões práticas pela comparação da aplicação das diversas normas e propostas internacionais a este caso de passarela.

2. PROCEDIMENTOS DE PROJETO PARA VERIFICAÇÃO DOS ESTADOS LÍMITES DE UTILIZAÇÃO

2.1. Norma Britânica BS5400

A norma inglesa BS5400-(1978), apresenta uma expressão simplificada para a determinação da aceleração máxima, que para o caso simplesmente apoiado é dada por:

$$a_{max} = 4p^2 f_0^2 y_s y_d \quad (1)$$

onde a freqüência natural f_0 é expressa em Hz, a flecha estática no centro do vão, provocada por um pedestre de peso igual a 700 N, y_s é expressa em metros, e o fator de resposta dinâmica y_d , que é função do comprimento do vão e do amortecimento da passarela, é obtido de um gráfico apresentado no próprio texto da norma. Em seu texto a referida norma afirma que passarelas que apresentarem acelerações provocadas pela passagem de um único pedestre, inferiores ao limite a seguir apresentado, são passarelas de utilização normal pelos seus pedestres.

$$a_{max} \leq 0.5 \ddot{f}_0 \quad \text{em } m/s^2 \quad (2)$$

Desenvolvendo as duas expressões anteriores para o caso particular de uma seção retangular de medidas em metros “b” e “h”, para um material de Módulo de Elasticidade “E” em N/m^2 e de massa específica dada por ρ em kg/m^3 , e considerando uma razão de amortecimento crítico δ igual a 0.07, chega-se à seguinte equação para a determinação da altura necessária para a seção:

$$h \geq 261.086 * (y_d/b)^{2/3} / (E^{1/6} * \rho^{1/2}) \quad (3)$$

A partir desta equação foram construídos dois gráficos, apresentados nas Figuras 01 e 02. O primeiro revela a variação da altura “h” em função do comprimento “L” do vão, da largura