PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO

Fábio Jorge Dias Machado

Análise e Controle Passivo das Vibrações de Placas Retangulares

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio.

Orientador: Paulo Batista Gonçalves

Rio de Janeiro, julho de 2007

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO

Fábio Jorge Dias Machado

Análise e Controle Passivo das Vibrações de Placas Retangulares

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Paulo Batista Gonçalves
Presidente/Orientador
Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio

Raul Rosas e Silva
Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio

Giuseppe Barbosa Guimarães
Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio

Deane de Mesquita Roehl
Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio

Carlos Magluta
COPPE/UFRJ

José Eugênio Leal
Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 04 de julho de 2007

Fábio Jorge Dias Machado

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná em fevereiro de 2005.

Ficha Catalográfica

MACHADO, Fábio Jorge Dias

Análise e Controle Passivo das Vibrações de Placas Retangulares / Fábio Jorge Dias Machado; orientador: Paulo Batista Gonçalves – Rio de Janeiro: PUC, Departamento de Engenharia Civil, 2007.

v. 97f.:il; 29,7cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil.

Inclui referências bibliográficas.

1. Instabilidade de Placas. 2. Dinâmica de Placas. 3. Vibração em Placas. 4. Controle Passivo. 5. Controle Estrutural. I. Gonçalves, Paulo Batista II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. III. Título.

CDD: 624

Aos meus pais, Reni e Célio,
e à minha querida Tamara,
pelo apoio e confiança.

Agradecimentos

A Deus por ter dado forças para o cumprimento desta meta.

Ao meu orientador Professor Paulo Batista Gonçalves pelo estímulo e parceria para a realização deste trabalho.

À FAPERJ, ao CNPq, à CAPES e à PUC-Rio, pelos auxílios concedidos, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

Aos meus pais, pela educação, atenção e carinho de todas as horas.

Aos meus irmãos, pelo carinho e estímulo.

À minha querida Tamara pelo apoio e dedicação.

Aos meus amigos e colegas da PUC-Rio, em especial à Marianna, Antônio, Leonardo Erik, Johan, Paola, Diego, Frederico e Renata.

Aos professores que participaram da Comissão examinadora.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio pelos ensinamentos e pela ajuda.

A todos os amigos e familiares que de uma forma ou de outra me estimularam ou me ajudaram.

Resumo

MACHADO, Fábio Jorge Dias. Gonçalves, Paulo B. **Análise e Controle Passivo das Vibrações de Placas Retangulares.** Rio de Janeiro, 2007. 97p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Neste trabalho é apresentado um método numérico de resolução para a equação diferencial de placas: o método de Galerkin Iterativo. O método é utilizado para obtenção das cargas críticas de flambagem e das freqüências naturais para placas retangulares com condições de contorno arbitrárias. São determinados ainda os modos de vibração de placas para diversas condições de contorno. É também apresentada uma análise do comportamento estático e dinâmico de placas planas retangulares. Utilizando-se dos resultados obtidos nesta análise e do método de Galerkin Iterativo, analisa-se a influência dos carregamentos axiais sobre as propriedades de vibração de uma placa com diversas condições de contorno, como proposta de um meio de controle passivo de vibrações em placas retangulares. Realiza-se uma análise linear para o carregamento no plano médio da placa e outra não-linear no caso de placas submetidas a carregamentos excêntricos, ou seja, fora do plano médio da placa. Mostra-se que o método de Galerkin Iterativo permite a obtenção de modos de vibração ortogonais possibilitando a resolução de problemas dinâmicos através do método de superposição de modos. Além disso, mostra-se que o método de controle passivo de vibrações em placas, através da aplicação de forças de compressão no plano, reduz a amplitude da resposta na região de ressonância.

Palavras-chave

Instabilidade de Placas; Dinâmica de Placas; Vibração em Placas; Controle Passivo; Controle Estrutural.

Abstract

MACHADO, Fábio Jorge Dias. Gonçalves, Paulo B. (advisor). **Vibration Analysis and Passive Control of Rectangular Plates.** Rio de Janeiro, 2007. 97p. MSc. Dissertation - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The aim of this work is to present a procedure for the solution of differential equations for plates: the Iterative Galerkin method. With the aid of this method, the buckling loads and natural frequencies of plates are obtained for plates with arbitrary sets of boundary conditions. The vibration modes of plates with various boundary conditions are obtained and compared with results found in literature. An analysis of the static and dynamic behavior of unloaded and in-plane loaded rectangular plates is presented. The use of in-plane loads as a passive vibration control technique for rectangular plates is investigated using the results obtained by the Iterative Galerkin's method. A linear analysis is conducted for loads applied on the plate mid-surface and a non-linear one for plates with in-plane eccentric loads. Moreover, it is shown that the Iterative Galerkin method leads to a set of orthogonal vibration modes allowing the use of superposition methods in the solution of dynamic problems. Furthermore, the results show that the proposed passive vibration control through the use of in-plane compression loads, decrease the response in the resonance region.

Keywords

Buckling of Plates; Dynamic Analysis of Plates; Vibration of Plates; Passive Control; Structural Control.

Sumário

Lista de figuras

Lista de tabelas

Lista de Símbolos

Romanos

a, b	Dimensões da placa nas direções x e y respectivamente
h	Altura da placa na direção z
p	Carga aplicada transversalmente ao plano da placa
x, y, z	Eixos cartesianos
N_x, N_y	Forças normais no plano da placa
N_{cr}	Carga crítica de flambagem
N_{xy}, N_{yx}	Forças cisalhantes no plano da placa
Q_x, Q_y	Forças cisalhantes transversais ao plano da placa
M_x, M_y	Momentos fletores
M_{xy}, M_{yx}	Momentos torsores
$\bar{u}$, $\bar{v}$, $\bar{w}$	Componentes de deslocamento em qualquer ponto da espessura da placa nas direções x, y e z respectivamente
u, v, w	Componentes de deslocamento no plano médio da placa nas direções x, y e z respectivamente
u_1, v_1, w_1	Incrementos de deslocamento nas direções x, y e z respectivamente
u_0, v_0, w_0	Deslocamentos iniciais nas direções x, y e z respectivamente
E	Módulo de elasticidade longitudinal
C	Rigidez extensional
D	Rigidez a flexão
f	Função de tensão de Airy
P_x	Força distribuída uniformemente nas extremidades da placa
c_1, c_2,... C_1, C_2,...	Constantes numéricas
m, n, j, k	Inteiros positivos
I	Momento de inércia

k_c	Coeficiente de flambagem
$W(x,y)$, $w(x,y)$	Funções de deslocamento em z
$X(x)$, $Y(y)$	Funções de deslocamento em z nas direções x e y respectivamente
t	Tempo
$\bar{m}$	Massa por unidade de área
p_z^*	Força de inércia
$p(x)$	Função peso para o método de Galerkin Iterativo
k	Coeficiente de rigidez
c , c_{cr}	Coeficiente de amortecimento
F	Força
$Z_{mn}(\omega)$	Impedância mecânica
e	Excentricidade
c_w	Amplitude do modo de vibração
A_1 , A_2	Constantes

Gregos

α	Ângulo
$\bar{\sigma}_x$, $\bar{\sigma}_y$	Componente de tensão normal em qualquer ponto da espessura da placa
σ_x , σ_y	Componente de tensão normal no plano médio da placa na direção x
$\bar{\tau}_{xy}$, $\bar{\tau}_{yx}$, $\bar{\tau}_{xz}$, $\bar{\tau}_{yz}$	Componente de tensão cisalhante em qualquer ponto da espessura da placa
τ_{xy} , τ_{yx} , τ_{xz} , τ_{yz}	Componentes de tensão cisalhante no plano médio da placa
β_x , β_y	Rotações relativas
$\bar{\varepsilon}_x$, $\bar{\varepsilon}_y$, $\bar{\gamma}_{xy}$	Deformações específicas em qualquer ponto da placa
ν	Coeficiente de Poisson
∇^4	$\nabla^2 \cdot \nabla^2$ onde ∇^2 corresponde ao operador Laplaciano
λ , λ_1 , λ_2	Parâmetro de freqüência e autovalores das funções características

$\theta(t)$	Função deslocamento no tempo
ω	Freqüência natural
Ω	Freqüência natural normalizada
ξ	Taxa de amortecimento
μ	Amplitude da deformação no centro da placa
ζ	Amplitude do modo de vibração

If human life were long enough to find the ultimate theory, everything would have been solved by previous generations. Nothing would be left to be discovered

Stephen Hawking