

CONTEÚDO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	Objetivos.....	15
1.2	Aspectos conceituais e históricos.....	16
1.3	Resumo.....	20
1.4	Observação sobre a notação.....	20
2	MODELOS DE UM GRAU DE LIBERDADE.....	21
2.1	Introdução.....	21
2.2	Modelos de um grau de liberdade.....	21
2.2.1	Vibrações livres não amortecidas.....	23
2.2.2	Vibrações livres amortecidas.....	25
2.2.3	Carregamento harmônico.....	26
2.2.4	Carregamento de impacto.....	28
2.3	Exemplos.....	29
	Exemplo 2.1.....	29
	Exemplo 2.2.....	32
	Exemplo 2.3.....	33
	Exemplo 2.4.....	36
	Exemplo 2.5.....	37
	Exemplo 2.6. Associação de rigidezes em paralelo 1.....	41
	Exemplo 2.7. Associação de rigidezes em paralelo 2.....	43
	Exemplo 2.8. Associação de rigidezes em série.....	44
3	MODELOS COM VÁRIOS GRAUS DE LIBERDADE.....	47
3.1	Introdução ao Método dos Deslocamentos na Dinâmica.....	47
3.2	Exemplo de um edifício de três andares.....	51

3.2.1	Descrição do problema.....	51
3.2.2	Montagem das equações do movimento	52
3.3	Vibrações livres não amortecidas	54
3.4	Exemplo de análise modal	56
3.5	Ortogonalidade e equações desacopladas	57
3.6	Método da Superposição Modal.....	59
	Passo 1: equações do movimento	59
	Passo 2: determinação das frequências e modos de vibração livre .	59
	Passo 3: determinação das massas modais e carregamentos	
	modais.....	60
	Passo 4: escrever as equações do movimento desacopladas	60
	Passo 5: determinação da resposta em cada modo.....	60
	Passo 6: determinação da resposta nas coordenadas físicas	
	do problema.....	60
3.7	Exemplo utilizando o Método dos Elementos Finitos.....	61
	a) Matrizes de rigidez e de massa das barras	62
	b) Matrizes de rigidez e massa da estrutura	62
	c) Determinação das frequências de vibração	63
	d) Determinação dos modos de vibração	64
4	SUSPENSÕES DE EQUIPAMENTOS: TRANSMISSIBILIDADE	67
4.1	Introdução ao estudo de suspensões de equipamentos.....	67
4.2	Generalidades sobre o projeto de suspensões de equipamentos	68
	4.2.1 Critérios estruturais	68
	4.2.2 Efeitos e seus valores toleráveis.....	68
	4.2.3 Regras de projeto	69
4.3	Cargas dinâmicas dos vários tipos de máquinas	70
	4.3.1 Máquinas rotativas	71
	4.3.2 Máquinas com partes oscilantes	74
	4.3.3 Máquinas de impacto.....	75
4.4	Isolação de vibrações – Sistemas de 1 grau de liberdade	75
	4.4.1 Isolação de suspensões para carregamentos harmônicos....	75
	4.4.2 Isolação de equipamentos para movimentos harmônicos	
	de base.....	78
4.5	Controle de vibrações por meio de massas sintonizadas (TMD).....	81
5	FUNDAÇÕES DE MÁQUINAS ROTATIVAS	85
5.1	Escopo e campo de aplicação	85
5.2	Conceitos.....	85
	5.2.1 Ações e efeitos	86
	5.2.2 Modelo	86

5.2.3	Máquina	86
5.2.3.1	Frequência de serviço	86
5.2.3.2	Faixa de frequência de serviço	86
5.2.3.3	Frequência de excitação	86
5.2.3.4	Qualidade de balanceamento	86
5.2.3.5	Momento acionador	86
5.2.3.6	Momento de saída	87
5.2.3.7	Forças de vácuo	87
5.2.3.8	Curto-circuito terminal e perda de sincronização	87
5.2.4	Geometria	88
5.2.4.1	Tipos de fundações	88
5.2.4.2	Diretrizes para pré-dimensionamento	88
5.3	Materiais e solo	91
5.3.1	Estrutura de concreto armado	91
5.3.2	Estrutura metálica	91
5.3.3	Solo	91
5.4	Cargas	91
5.4.1	Equipamentos	91
5.4.1.1	Generalidades	91
5.4.1.2	Cargas estáticas	92
5.4.1.3	Cargas dinâmicas	93
5.4.2	Fundação	93
5.4.2.1	Cargas permanentes	93
5.4.2.2	Cargas impostas	93
5.4.2.3	Deformação lenta e retração do concreto armado ...	93
5.4.2.4	Efeitos de temperatura, vento e terremotos	93
5.5	Projeto	94
5.5.1	Generalidades	94
5.5.1.1	Objetivos	94
5.5.1.2	Análise estática	94
5.5.1.3	Análise dinâmica	94
5.5.2	Estudo do modelo	95
5.5.2.1	Princípios	95
5.5.2.2	Requisitos	95
5.5.2.3	Representação simplificada	96
5.5.3	Vibrações livres	96
5.5.3.1	Frequências e modos de vibração livre	96
5.5.3.2	Avaliação de vibrações com base em frequências e modos de vibração livre	96
5.5.4	Análise de vibrações devidas a desbalanceamento	97
5.5.4.1	Generalidades	97
5.5.4.2	Vibrações forçadas	98

5.5.4.3	Modos naturais de vibração.....	98
5.5.4.4	Método da Carga Equivalente	99
5.5.5	Análise de vibrações transientes	99
5.5.5.1	Generalidades	99
5.5.5.2	Curto-circuito	100
5.5.6	Cargas na fundação e no solo.....	100
5.6	Outros critérios de projeto	101
5.6.1	Combinações de carregamentos	101
5.6.2	Fundações de concreto armado.....	101
5.6.3	Estruturas de aço	102
5.6.4	Solo	102
5.7	Detalhamento	102
5.7.1	Fundações de concreto armado.....	102
5.7.1.1	Fundação em mesa	102
5.7.1.2	Fundações por molas	103
5.7.1.3	Fundações em blocos	104
5.7.1.4	Plataformas	104
5.7.2	Fundações de aço.....	104
5.7.2.1	Fundações em mesa	104
5.7.2.2	Fundações por molas	105
5.7.2.3	Fundações em plataforma.....	105
5.7.2.4	Proteção contra corrosão	105
5.8	CrITÉRIOS de avaliação de resposta dinâmica.....	105
5.9	Exemplo de dois graus de liberdade	110
5.9.1	Dados da máquina	110
5.9.2	Dados da estrutura.....	110
5.9.3	Equação matricial do movimento	111
5.9.4	Análise modal	111
5.9.5	Determinação das propriedades modais.....	112
5.9.6	Resposta modal	113
5.9.7	Resposta de cada modo r ($r = 1,2$).....	113
5.9.8	Resposta da estrutura	113
6	FUNDAÇÕES DE MÁQUINAS DE IMPACTO.....	115
6.1	Generalidades.....	115
6.2	Fundações de martelos	115
6.3	CrITÉRIOS de desempenho	117
6.3.1	Amplitudes de deslocamento.....	117
6.3.2	Recalques	118
6.3.3	Tensões	118
6.4	Pré-dimensionamento	118

6.5	Análise dinâmica	119
6.5.1	Representação das ações	119
6.5.2	Modelo matemático	122
6.5.3	Resposta de um sistema com dois graus de liberdade	122
6.6	Exemplo de dois graus de liberdade	125
6.6.1	Dados do sistema.....	125
6.6.2	Equação matricial do movimento	125
6.6.3	Análise modal	126
6.6.4	Determinação das propriedades modais.....	127
6.6.5	Resposta modal	127
6.6.6	Resposta da estrutura	128
7	O EFEITO DINÂMICO DO VENTO SOBRE ESTRUTURAS	131
7.1	Introdução	131
7.2	Cargas estáticas equivalentes da norma brasileira	132
7.2.1	Fatores que afetam a velocidade característica	134
7.2.2	Coefficientes de pressão, de forma e de arrasto.....	137
7.3	Cálculo dinâmico segundo a NBR 6123:1988	138
7.3.1	Generalidades.....	138
7.3.2	Modelo discreto	138
7.4	Verificação do conforto para os usuários.....	142
7.5	Exemplo de análise de uma torre de telecomunicação em concreto armado	146
7.6	Uma metodologia simplificada para a análise dinâmica.....	158
8	ANÁLISE DINÂMICA DE ESTRUTURAS SOB EXCITAÇÃO ALEATÓRIA DE VENTO: MÉTODO DO VENTO SINTÉTICO	163
8.1	Introdução	163
8.2	Caracterização do vento no método	165
8.3	O espectro do vento	166
8.4	Decomposição das pressões flutuantes	170
8.5	Correlação espacial de velocidades	172
8.6	Sistematização do método	174
8.7	Exemplo	177
8.7.1	Modelo estrutural adotado.....	177
8.7.2	Resposta estrutural	179
8.7.3	Comentários	180
9	EFEITOS DINÂMICOS DO MOVIMENTO DE PESSOAS SOBRE ESTRUTURAS.....	183
9.1	Introdução	183

9.2	Sintonização da estrutura	185
9.3	Cálculo da resposta às vibrações forçadas	187
9.4	Exemplo completo	188
9.5	Comentários sobre as normas existentes	192
10	EFEITO DE SISMOS SOBRE ESTRUTURAS.....	195
10.1	Introdução	195
10.2	Resposta de estruturas simples a terremotos	197
10.3	Modelos com vários graus de liberdade.....	203
10.4	Comentários sobre as normas latino-americanas de sismos.....	207
10.4.1	Parâmetros do local.....	208
10.4.1.1	Zoneamento dos países e aceleração característica	208
10.4.1.2	Classes de terrenos	216
10.4.2	Categoria de utilização (importância da obra).....	218
10.4.3	Coeficientes de modificação da resposta.....	221
10.4.4	Espectros de resposta elástica de projeto.....	224
10.4.5	Análise sísmica pelo Método das Forças Horizontais Equivalentes	227
10.4.6	Limitações de deslocamentos	230
10.4.7	Torção acidental	231
ANEXO A – Noções sobre o método dos elementos finitos em dinâmica de estruturas.....		233
A.1	Discretização	233
A.2	O Método dos Elementos Finitos (MEF)	235
A.3	Um breve resumo de Mecânica dos Sólidos em forma matricial	235
A.4	Aproximação das equações da Mecânica dos Sólidos pelo MEF	238
A.5	Equações de Lagrange, em um elemento.....	240
A.6	Exemplos.....	242
A.6.1	Barra de treliça plana, no sistema local de referência	242
A.6.2	Barra de viga inextensível fletida, no sistema local de referência.....	244
A.6.3	Elemento triangular de chapa com três nós no sistema local de referência.....	247
A.6.4	Outros elementos mais complexos	250
A.7	Transformação do sistema local para o sistema global da estrutura.....	250
A.7.1	Rotação	250
A.7.1.1	Elemento de barra de treliça plana	250
A.7.1.2	Elemento de pórtico plano	252

A.7.1.3 Elemento triangular de chapa de três nós	253
A.7.2 “Espalhamento”	253
A.8 Imposição das condições de contorno.....	254
ANEXO B – Principais métodos numéricos utilizados na dinâmica linear de estruturas.....	255
B.1 Introdução	255
B.2 Solução de Sistemas Lineares.....	255
B.3 Métodos de integração numérica no tempo de sistema de equações diferenciais ordinárias de primeira e segunda ordem.....	257
B.3.1 Introdução	257
B.3.2 Métodos Runge–Kutta de quarta e quinta ordem	257
B.3.3 Método de Newmark	258
ANEXO C – Decomposição de carregamentos pela análise de Fourier	261
C.1 Introdução	261
C.2 Séries de Fourier.....	262
C.3 As Transformadas de Fourier	263
C.4 A Transformada Discreta de Fourier (DFT)	264
C.5 A Transformada Rápida de Fourier (FFT).....	264
C.6 Exemplo da decomposição de uma onda quadrada em série de Fourier.....	265
BIBLIOGRAFIA	267