

ÍNDICE

	Págs.
CAPÍTULO I — DESCRIÇÃO DAS ESTRUTURAS CORRENTES	
1.1 — Generalidades	11
1.2 — As estruturas comuns de edifícios	11
1.3 — Projeto-pilôto N.º 1.....	14
1.4 — Regras para a escolha da estrutura de um edifício	19
1.5 — Escolha da estrutura do pavimento do tipo Projeto-pilôto N.º 1	21
1.6 — Determinação dos vãos da estrutura.....	22
1.7 — Detalhes construtivos	24
1.8 — Estrutura do pavimento em pilotis do Projeto-pilôto N.º 1....	27
CAPÍTULO II — CÁLCULO DOS ESFORÇOS NAS LAJES	
2.1 — Classificação das lajes	29
2.2 — Carga por metro quadrado	29
Exercício N.º 2.1	34
2.3 — Carga das lajes armadas em uma direção	36
2.4 — Carga das lajes armadas em cruz	37
2. 4.1 — Caso das lajes isoladas	37
2. 4.2 — Caso das lajes contínuas	40
2.5 — Generalidades sobre os esforços nas lajes — Vãos teóricos.....	41
2.6 — Momentos nas lajes armadas em uma direção	44
2. 6.1 — Lajes isoladas	44
2. 6.2 — Lajes contínuas.....	44
Exercício N.º 2.2.....	46
2. 6.3 — Lajes em balanço.....	49
2.7 — Momentos nas lajes armadas em cruz pela teoria das grelhas..	50
2. 7.1 — Generalidades	50
2. 7.2 — Lajes isoladas	50
2. 7.3 — Lajes contínuas.....	51
2.8 — Momentos nas lajes armadas em cruz pelo processo de Marcus.	52
2. 8.1 — Caso das lajes isoladas	52
Exercício N.º 2.3	57
2. 8.2 — Caso das lajes contínuas armadas em cruz	58
Exercício N.º 2.4	65
2.9 — Cálculo das lajes por meio de tabelas baseadas na Teoria da Elasticidade	66
2.10 — Cálculo das lajes contínuas com painéis de vãos muito diferentes ou dotados de balanço	69
2.10.1 — Generalidades.....	69
2.10.2 — Tabela de momentos no centro para momento aplicado em um lado.....	69
2.10.3 — Caso de lajes contínuas com vãos muito diferentes..	70
Exercício N.º 2.6	71
2.10.4 — Lajes dotadas de balanço.....	73
Exercício N.º 2.7	73

2.10.5	— Lajes com um bordo livre	74
	Exercício N.º 2.8	75
2.10.6	— Reações e momentos de torção nas lajes sobre 3 apoios	77
	Exercício N.º 2.9	78
2.11	— Considerações práticas sobre o funcionamento das lajes em um	
	piso de edifícios	80
2.12	— Roteiro prático para cálculo dos momentos nas lajes contínuas.	81
2.13	— Cálculo dos momentos nas lajes do pavimento-tipo do Projeto-	
	pilôto N.º 1, pelo processo elástico	82
2.13.1	— Escolha dos tipos de apoio das lajes	82
2.13.2	— Vãos teóricos	83
2.13.3	— Escolha da espessura da laje	83
2.13.4	— Carga por metro quadrado	84
2.13.5	— Cálculo dos momentos	85
2.13.6	— Considerações complementares sobre o cálculo dos mo-	
	mentos pela teoria corrente	89
2.14	— Cálculo dos momentos nas lajes do Projeto-pilôto N.º 1 pelas	
	tabelas de Czerny	94
2.15	— Cálculo das lajes baseado no regime de rotura	94
2.15.1	— Generalidades	94
2.15.2	— Lajes simplesmente apoiadas com armadura constante	
	Exercício N.º 2.10	100
2.15.3	— Lajes simplesmente apoiadas com armadura variável	
	Exercício N.º 2.11	101
	Exercício N.º 2.11	102
2.15.4	— Lajes contínuas — Generalidades	102
2.15.5	— Roteiro para cálculo de uma laje contínua pelo método	
	de rotura	104
	Exercício N.º 2.12	106
	Exercício N.º 2.13	107
2.15.6	— Lajes com grandes sobrecargas e vãos muito diferentes	
	Exercício N.º 2.14	108
	Exercício N.º 2.14	109
2.15.7	— Outros casos de lajes retangulares em que o processo	
	de rotura se aplica com vantagem	111
2.15.8	— Cálculo das lajes do pavimento-tipo do Projeto-pilôto	
	N.º 1 pelo método das linhas de rotura	112

CAPÍTULO III — FLEXÃO SIMPLES DE SEÇÕES RETANGULARES DE CONCRETO ARMADO COM ARMADURA SIMPLES

3.1	— Definições	116
3.1.1	— Propriedades do concreto armado	116
3.1.2	— As tensões	117
3.1.3	— Descrição e generalidades sobre os estádios no con-	
	creto armado	118
3.2	— Cálculo no estádio II	
3.2.1	— Generalidades	121
3.2.2	— Fórmulas gerais para seção retangular com arma-	
	dura simples	124
3.2.3	— Tabelas para cálculo das tensões no estádio II	126
	Exercício N.º 3.1	127
	Exercício N.º 3.2	128
3.3	— Cálculo no estádio III	129
3.3.1	— Generalidades	129
3.3.2	— Propriedades do aço	132
3.3.3	— Propriedades do concreto	135

3. 3. 4 —	Tipos de rotura	137
3. 3. 5 —	Descrição dos tipos de rotura.....	138
3. 3. 6 —	Fórmulas gerais para o cálculo das seções retangulares com armadura simples no estádio III	141
	Exercício 3.3	145
	Exercício 3.4	146
	Exercício 3.5	146
	Exercício 3.6	147
3. 3. 7 —	Limites máximos de h e A_s	148
3. 3. 8 —	Armadura mínima de tração.....	148
	Exercício 3.7	150
	Exercício 3.8	150
3. 3. 9 —	Cálculo no estádio III entrando com o momento de serviço.....	151
	Exercício 3.9	152
	Exercício 3.10	153
3. 3.10 —	Tabela sintética para o dimensionamento de seções retangulares	153
	Exercício 3.11	154
3.4 —	Cálculo no estádio I	155
	Exercício 3.12	158
	Exercício 3.13	159

CAPÍTULO IV — DIMENSIONAMENTO E DETALHES DAS LAJES DE EDIFÍCIOS

4.1 —	Introdução	160
4.1 —	Verificação da altura	160
	Exercício N.º 4.1	160
4.3 —	Cálculo das armaduras	161
	Exercício N.º 4.2	162
4.4 —	Emprêgo das tabelas que dão diretamente a armadura nas lajes correntes.....	164
4.5 —	Desenho dos detalhes de execução	164
4. 5.1 —	Generalidades	164
4. 5.2 —	Sistemas de detalhes mais usados na prática	163
4. 5.3 —	Comprimento dos ferros	167
4. 5.4 —	Espaçamento dos ferros	169
4. 5.5 —	Quantidade dos ferros	171
4. 5.6 —	Indicações complementares	171
4. 5.7 —	Quadro de ferros	173
4. 5.8 —	Convenções para distinguir os tipos de ferro empregados	174
4. 5.9 —	Detalhes do Projeto-piloto N.º 1	174

CAPÍTULO V — CÁLCULO DAS CARGAS NAS VIGAS

5. —	Generalidades	179
5.2 —	Cargas transmitidas pelas lajes	179
5. 2.1 —	Processo dos quinhões.....	179
5. 2.2 —	Processo da NB-1	180
5. 2.3 —	Tabelas de Czerny	188
5. 2.4 —	Nota sobre os processos de cálculo das cargas de lajes sobre vigas.....	192
5.3 —	Cargas de paredes	193
5.4 —	Peso próprio	194

5.5	— Observações sobre as alturas das paredes a considerar no cálculo da carga na viga	195
5.6	— Roteiro numérico para o cálculo das cargas sobre as vigas	196
5.7	— Cálculo das cargas nas vigas do Projeto-piloto N.º 1	197
5.7.1	— Considerações preliminares.....	197
5.7.2	— Cálculo da carga por metro quadrado.....	198
5.7.3	— Quinhões de carga	198
5.7.4	— Cálculo das cargas das lajes sobre as vigas	199
5.7.5	— Cargas nas vigas provenientes das paredes e do peso próprio	203

CAPÍTULO VI — CÁLCULO DOS ESFORÇOS NAS VIGAS ISOSTÁTICAS

6.1	— Generalidades	206
6.2	— Estudo dos apoios	206
6.3	— Classificação das vigas isostáticas	207
6.4	— Vigas em 2 apoios simples	207
6.4.1	— Cargas concentradas	207
	Exercício N.º 6.1	209
6.4.2	— Carga uniformemente distribuída	210
6.4.3	— Carga triangular.....	213
6.4.4	— Conjunto de cargas distribuídas e concentradas.....	214
6.4.5	— Casos particulares	217
6.5	— Vigas em balanço.....	218
6.6	— Vigas em 2 apoios simples com extremos em balanço	219
6.7	— Determinação analítica das forças cortantes e momentos flectores máximos	220
	Exercício N.º 6.2	222
6.8	— Cálculo dos esforços nas vigas isostáticas do Projeto-piloto N.º 1	223

CAPÍTULO VII — DIMENSIONAMENTO E VERIFICAÇÃO DE SEÇÕES RETANGULARES COM ARMADURA DUPLA

7.1	— Generalidades	226
7.2	— Cálculo das tensões no estágio II	227
7.3	— Dimensionamento de seções retangulares com armadura dupla	229
7.3.1	— Generalidades	229
	Exercício 7.1	231
	Exercício 7.2	232
7.3.2	— Caso em que se entra com o momento de cálculo	232
	Exercício 7.3	235
7.3.3	— Caso em que se entra com o momento de serviço.....	236
	Exercício 7.4	236
	Exercício 7.5	237
7.4	— Dimensionamento livre	238
	Exercício 7.6	239
7.5	— Verificação da estabilidade	241
7.5.1	— Caso geral	241
7.5.2	— Armadura simples	243
	Exercício 7.7	244
	Exercício 7.8	245
	Exercício 7.9	246
7.5.3	— Armadura dupla	247

7. 5.4	— Resumo das fórmulas de verificação da estabilidade	250
	Exercício 7.10	251
	Exercício 7.11	252
	Exercício 7.12	253
	Exercício 7.13	254
7. 5.5	— Processo simplificado de verificação da estabilidade no caso de peças superarmadas	255
7.6	— Prescrições regulamentares	257
7. 6.1	— Vigas	257
	a) Porcentagem mínima da armadura	257
	b) Diâmetro das armaduras	258
	c) Espaçamento das armaduras	258
	d) Cobrimento das armaduras	258
7. 6.2	— Armadura na região dos apoios das vigas	260
7. 6.3	— Lajes	260
7. 6.4	— Número de camadas	261
	Exercício 7.14	261
	Exercício 7.15	262

CAPÍTULO VIII — SEÇÕES COM LARGURA VARIÁVEL

8.1	— Introdução	263
8. 1.1	— Viga em T ou L	263
8. 1.2	— Influência da mesa	263
8. 1.3	— Cálculo das tensões de viga T sem levar em conta a compressão na nervura	265
8. 1.4	— Cálculo das tensões levando-se em conta a compressão na nervura	266
8.2	— Largura da mesa das vigas T	267
8. 2.1	— Cálculo segundo o CEB	267
	Exercício 8.1	268
8. 2.2	— Cálculo de acordo com a nova norma NB-1	269
	Exercício 8.2	270
8.3	— Dimensionamento da viga T com armadura simples	270
8. 3.1	— Fórmulas práticas no caso em que se despreza a compressão na nervura	270
	Exercício 8.3	272
8. 3.2	— Dimensionamento levando em conta a compressão na nervura	273
	Exercício 8.4	274
8.4	— Dimensionamento da viga T com armadura dupla	275
	Exercício 8.5	276
8.5	— Dimensionamento de vigas T com várias mesas	277
	Exercício 8.6	280
8.6	— Verificação da estabilidade de vigas T	282
8. 6.1	— Caso de seção subarmada com armadura simples	282
	Exercício 8.7	283
8. 6.2	— Seção superarmada com armadura simples	284
	Exercício 8.8	285
8. 6.3	— Seção superarmada com armadura dupla	286
8. 6.4	— Síntese das fórmulas para o cálculo da distância x para as vigas T fletidas para efeito de verificação de estabilidade	288

9.18.2	— Espaçamento das armaduras dobradas	327
9.18.3	— Porcentagens mínimas	327
9.13.4	— Armadura de pele	328
	Exercício 9.9	328

CAPÍTULO X — DIMENSIONAMENTO E DETALHES DAS VIGAS DE EDIFÍCIOS

10.1	— Generalidades	330
10.2	— Escolha da altura	330
	Exercício N.º 10.1	331
10.3	— Cálculo das seções de ferro	332
10.3.1	— Processo teórico	332
10.3.2	— Processo prático	333
10.3.3	— Tabelas diretas	334
	Exercício 10.2	335
10.4	— Distribuição das armaduras	335
10.4.1	— Generalidades	335
10.4.2	— Distribuição longitudinal das armaduras	336
10.5	— Ancoragem	339
10.5.1	—	339
10.5.2	— Zonas de má aderência	339
10.5.3	— Comprimento de ancoragem reta	340
	Exercício 10.3	342
10.5.4	— Influência dos ganchos	343
10.5.5	— Cálculo mais exato da influência dos ganhos e do- bra das armaduras	343
	Exercício 10.4	344
10.5.6	— Caso em que a tensão na armadura é menor que a de escoamento	345
10.5.7	— Comprimento de ancoragem das armaduras longitu- dinais tracionadas	345
10.5.8	— Comprimento de ancoragem das armaduras compri- midas	346
	Exercício 10.5	346
10.5.9	— Ancoragem das armaduras dobradas	348
10.5.10	— Ancoragem dos feixes de barras	349
	Exercício 10.6	349
10.5.11	— Armadura nos apoios	349
	Exercício 10.7	350
10.6	— Emendas	351
10.6.1	— Definições	352
10.6.2	— Número de emendas numa mesma seção	352
10.6.1	— Comprimento de traspasse	354
10.6.4	— Armadura de fretagem das emendas	355
	Exercício 10.7	356
10.7	— Outras prescrições das normas	358
10.7.1	— Introdução	358
10.7.2	— Raios de curvatura mínimos	358
10.8	— Fissuração	359
10.8.1	— Abertura máxima das fissuras	359

Exercício 8.9	289
8. 6.5 — Processo simplificado	291
Exercício 8.10	291
8.7 — Dimensionamento e verificação de seções fletidas no caso mais geral de seções de forma qualquer	292
8. 7.1 — Dimensionamento	292
8. 7.2 — Verificação da estabilidade	295

CAPÍTULO IX — ESTUDO DO CISALHAMENTO

9.1 — Generalidades sobre o regime elástico	297
9.2 — Distribuição das tensões de cisalhamento numa seção transversal	298
9.3 — Tensões resultantes	299
9.4 — Estado de tensões em torno de um ponto	300
9.5 — Tensão máxima no regime elástico	302
9.6 — Generalidades sobre o cisalhamento na rotura	303
9.7 — Tensão de cisalhamento convencional	304
9.8 — Limite máximo da tensão de cisalhamento convencional	305
9.9 — Limite máximo para dispensar o cálculo das armaduras de com- bate ao cisalhamento	305
Exercício 9.1	306
9. 9.1 — Caso das vigas	306
9. 9.2 — Caso das lajes	306
Exercício 9.2	307
9.10 — Peças com altura variável	308
Exercício 9.3	308
9.11 — Fórmulas para cálculo das armaduras de cisalhamento	309
9.11.1 — Fórmula baseada na teoria da rotura	309
9.11.2 — Casos particulares	311
9.11.3 — Fórmula das armaduras de cisalhamento em função da força cortante	311
9.12 — Roteiro prático para cálculo das armaduras de cisalhamento em função da força cortante	312
Exercício 9.4	313
9.13 — Cálculo da armadura de cisalhamento em função do diagrama dos momentos fletores	314
Exercício 9.5	315
9.14 — Teoria da treliça de Mörch	316
9.15 — Distribuição das armaduras de cisalhamento	318
9.15.1 — Separação das armaduras de cisalhamento por trechos	318
9.15.2 — Detalhe da armadura de cisalhamento em função do diagrama de força cortante	319
9.15.3 — Detalhes de armadura de cisalhamento em função do diagrama do momento fletor	320
9.16 — Cálculo do cisalhamento levando em conta a influência da com- pressão no concreto	322
Exercício 9.6	324
9.17 — Cisalhamento nas proximidades dos apoios	324
Exercício 9.7	325
9.18 — Prescrições regulamentares	326
9.18.1 — Espaçamento máximo dos estribos	326
Exercício 9.8	326

10.9	— Sistemas de detalhamento	362
10.9.1	— Introdução	362
10.9.2	— Sistema simplificado de detalhamento	362
10.9.3	— Sistema rigoroso de detalhamento	365
10.10	— Roteiro para o detalhamento	366
10.10.1	— Roteiro para o sistema simplificado	366
10.10.2	— Roteiro do sistema rigoroso	367
10.11	— Recomendações especiais	368
10.11.1	— Estribos de suspensão	368
10.11.2	— Regra de costura	369

CAPÍTULO XI — VIGAS HIPERESTÁTICAS

11.1	— Cálculo dos momentos de inércia	371
11.1.1	— Generalidades	371
11.1.2	— Fórmulas práticas	371
11.2	— Recordações de ESTÁTICA das construções	373
11.2.1	— Grau de indeterminação estática	373
11.2.2	— Esforços seccionais e ligações	375
11.2.3	— Sistemas principais	377
11.2.4	— Transformação do sistema principal no sistema dado	378
11.2.5	— Equações gerais para o cálculo dos hiperestáticos	378
11.2.6	— Exemplo elucidativo de formação das equações para cálculo dos hiperestáticos	380
11.2.7	— Deformações das peças fletidas	382
11.2.8	— Teoria de MOHR	383
11.2.9	— Cálculo dos ângulos de rotação nas extremidades de uma viga simplesmente apoiada	384
	Exercício N.º 11.1	385
	Exercício N.º 11.2	386
11.3	— Vigas com um engaste e um apoio simples	387
11.3.1	— Caso geral	387
11.3.2	— Caso de carga uniformemente distribuída	389
11.4	— Vigas duplamente engastadas	389
	Exercício N.º 11.3	391
11.5	— Vigas contínuas — processos analíticos	392
11.5.1	— Equações gerais	392
	Exercício N.º 11.4	399
	Exercício N.º 11.5	400
11.5.2	— Resolução das equações realizadas em quadro	403
	Exercício N.º 11.6	405
11.5.3	— Resolução das equações realizadas na própria estrutura	406
11.5.4	— Novo processo numérico de cálculo das vigas contínuas	407
	Exercício N.º 11.7	409
11.5.5	— Cálculo das vigas contínuas pelos processos de iteração	410
	Exercício N.º 11.8	414
11.5.6	— Resolução das vigas contínuas por meio de tabelas	416
	Exercício N.º 11.9	417
	Exercício 11.10	418
11.5.7	— Cálculo das forças cortantes e momentos flectores máximos	420
	Exercício N.º 11.11	421
	Exercício N.º 11.12	422

11.6 — Vigas contínuas — Processo gráfico	421
11.6.1 — Determinação gráfica dos pontos fixos no caso de secção constante	423
11.6.2 — Pontos fixos no caso de secção variando de vão em vão	427
11.6.3 — Determinação analítica dos pontos fixos	428
11.6.4 — Determinação dos momentos nos apoios	428
Exercício N.º 11.13	432
11.6.5 — Influência de balanços nos extremos	434
Exercício N.º 11.14	434
11.6.6 — Influência do engastamento elástico da viga nos pi- lares extremos	436
Exercício N.º 11.15	438
11.6.7 — Determinação gráfica das linhas cruzadas	439
11.7 — Traçado do diagrama final de momentos	440
11.8 — Situação mais desfavorável da carga accidental	442
11.8.1 — Generalidades	442
11.8.2 — Cálculo analítico	443
Exercício N.º 11.16	444
11.8.3 — Processo gráfico	447
11.9 — Processo gráfico para obtenção do diagrama de fôrças cortantes em função do diagrama de momentos fletores	449
11.10 — Dimensionamento e detalhe das vigas hiperestáticas	451
11.11 — Detalhe das armaduras sem o traçado do diagrama de momentos fletores	452
11.12 — Cálculo e detalhe das vigas do pavimento-tipo do projeto-piloto N.º 1	454

