

# CONTÉUDO

<b>1. VERIFICAÇÕES RELATIVAS À CAPACIDADE DE UTILIZAÇÃO</b> .....	1
1.1 NÍVEIS DE EXIGÊNCIA DO APROVEITAMENTO NO ESTADO DE UTILIZAÇÃO .....	1
1.2 VALORES-LIMITES DO COMPORTAMENTO DAS ESTRUTURAS .....	2
<b>2. LIMITAÇÃO DA FISSURAÇÃO, LIMITAÇÃO DA ABERTURA DAS FISSURAS</b> .....	5
2.1 INTRODUÇÃO .....	5
2.1.1 Formação das Fissuras e Finalidade da Limitação da Fissuração .....	5
2.1.2 Tipos de Fissuras .....	6
2.1.3 Sobre a Definição da Abertura de Fissura $w$ e seus Valores-Limites .....	9
2.2 PROCESSOS DE FORMAÇÃO DAS FISSURAS .....	10
2.2.1 Variação Brusca de Tensões no Aço e Destruição da Aderência com a 1ª Fissura .....	10
2.2.2 Distâncias entre Fissuras em Zonas Tracionadas Armadas – Grau de Formação de Fissuras .....	15
2.2.3 Distâncias entre Fissuras no Caso de Zonas Tracionadas Pequenas em Relação à Espessura da Laje .....	18
2.2.4 Zona Efetiva da Armadura $F_{bw}$ .....	18
2.3 DETERMINAÇÃO PRÁTICA DA DISTÂNCIA ENTRE FISSURAS .....	20
2.3.1 Introdução dos Coeficientes $k$ .....	20
2.4 DETERMINAÇÃO DA ABERTURA DAS FISSURAS .....	23
2.4.1 Desenvolvimento da Abertura da Fissura com o Primeiro Carregamento .....	23
2.4.2 Influência da Repetição e da Duração do Carregamento .....	28
2.4.3 A Abertura Crítica de Fissura $w_k = k_4 w_m$ .....	29
2.4.4 Fórmulas para a Abertura Crítica de Fissura .....	29
2.5 INFLUÊNCIA DO DESVIO DA DIREÇÃO DA ARMADURA EM RELAÇÃO À DIREÇÃO DAS TENSÕES SOBRE A ABERTURA DAS FISSURAS .....	31
2.6 LIMITAÇÃO DA ABERTURA DAS FISSURAS DE ACORDO COM A DIN 1045, EDIÇÃO DE 1972 ..	31
2.6.1 Dedução das Fórmulas .....	32
2.6.2 A Não-Verificação da Fissuração para $\mu_z \leq 0,3\%$ – Um Engano .....	33
2.7 APLICAÇÕES PRÁTICAS DOS CONHECIMENTOS SOBRE A LIMITAÇÃO DA FISSURAÇÃO NOS CASOS DE TRAÇÃO E FLEXÃO .....	33
2.7.1 Ábacos para a Limitação da Fissuração no Caso de Tração devido à Tensões de Coação ou a Tensões Produzidas pelas Cargas .....	34
2.7.2 Ábacos para os Casos de Flexão Simples e Composta (Tração e Compressão) .....	36
2.7.3 Influência da Retração e da Temperatura sobre a Abertura das Fissuras .....	40
2.7.4 Limitação da Fissuração em Vigas de Concreto Protendido com Protensão Limitada, Protensão Moderada e Protensão Parcial .....	41
2.8 LIMITAÇÃO DA ABERTURA DAS FISSURAS DE CISALHAMENTO .....	44
2.8.1 Abertura das Fissuras de Cisalhamento em Almas de Vigas .....	44
2.8.2 Abertura das Fissuras de Cisalhamento em Lajes ou em Almas Espessas .....	47
2.9 LIMITAÇÃO DA ABERTURA DAS FISSURAS DE TORÇÃO .....	47
2.9.1 Observação Preliminar .....	47
2.9.2 A Tensão Determinante no Aço $\sigma_{ew}$ .....	47

2.9.3	Cálculo da Abertura das Fissuras no Caso de Torção para Armadura a $(90^\circ + 0^\circ)$ . . . . .	48
2.9.4	Abertura das Fissuras no Caso de Torção para Armadura a $45^\circ$ . . . . .	50
2.10	LIMITAÇÃO DA ABERTURA DAS FISSURAS SUPERFICIAIS DEVIDO À TENSÕES INTRÍNSECAS . . . . .	51
2.11	LIMITAÇÃO DA ABERTURA DAS FISSURAS SEM EMPREGO DE ARMADURA . . . . .	51
2.12	EXEMPLOS DE APLICAÇÃO . . . . .	52
2.13	INDICAÇÕES PRÁTICAS, LIMITES PARA A VERIFICAÇÃO . . . . .	65
2.13.1	A Verificação da Fissuração não é Necessária . . . . .	65
2.13.2	Espaçamento das Barras da Armadura . . . . .	66
2.14	ARMADURAS MÍNIMAS . . . . .	66
3.	<b>DEFORMAÇÕES DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO – GENERALIDADES</b> . . . . .	71
3.1	FINALIDADE DO CÁLCULO DAS DEFORMAÇÕES . . . . .	71
3.1.1	Segurança em Relação à Capacidade de Utilização . . . . .	71
3.1.2	Segurança em Relação à Capacidade Resistente . . . . .	71
3.2	CAUSAS, TIPOS, VALORES DE CÁLCULO E DISPERSÃO DAS DEFORMAÇÕES . . . . .	71
3.2.1	Causas e Tipos . . . . .	71
3.2.2	Valores de Cálculo das Rigidezes . . . . .	72
3.2.2.1	Valores Característicos dos Materiais, $E_e$ e $E_b$ . . . . .	72
3.2.2.2	Valores Relativos à Seção Transversal . . . . .	75
3.2.3	Dispersão dos Valores das Rigidezes . . . . .	76
3.2.4	Coeficientes de Retração e de Deformação Lenta . . . . .	76
3.3	A COLABORAÇÃO DO CONCRETO ENTRE AS FISSURAS . . . . .	77
3.3.1	Influência do Tipo e da Intensidade da Solicitação sobre o Alongamento Médio de Barras Traçadas . . . . .	77
3.3.2	Hipóteses para a Determinação Analítica da Colaboração do Concreto entre as Fissuras . . . . .	81
3.4	HIPÓTESES SOBRE AS AMPLITUDES DE DISPERSÃO DAS RIGIDEZES . . . . .	83
3.5	HIPÓTESES SOBRE A CONSIDERAÇÃO DA REPETIÇÃO DA CARGA . . . . .	84
4.	<b>DEFORMAÇÕES DEVIDO À FORÇA NORMAL, RIGIDEZ À DEFORMAÇÃO LONGITUDINAL</b> . . . . .	85
4.1	ENCURTAMENTO DE PEÇAS COMPRIMIDAS NO CASO DE COMPRESSÃO CENTRADA, CARREGAMENTO DE CURTA E DE LONGA DURAÇÃO . . . . .	85
4.2	ALONGAMENTO DE PEÇAS TRACIONADAS NO CASO DE TRAÇÃO CENTRADA . . . . .	90
4.2.1	Estádio I para Carregamentos de Curta e de Longa Duração . . . . .	90
4.2.2	Estádio II para Carregamentos de Curta e de Longa Duração . . . . .	90
5.	<b>DEFORMAÇÕES DEVIDO À FLEXÃO, RIGIDEZ À FLEXÃO – SEM DEFORMAÇÃO POR CISALHAMENTO E SEM FORÇA NORMAL</b> . . . . .	97
5.1	PRINCÍPIOS BÁSICOS APRESENTADOS DE MANEIRA SIMPLES . . . . .	97
5.2	RIGIDEZ À FLEXÃO NO ESTÁDIO I . . . . .	100
5.3	RIGIDEZ À FLEXÃO NA REGIÃO DE FORMAÇÃO DE FISSURAS (COM SIGNIFICADO APENAS PARA $\mu < 0,7\%$ ) . . . . .	101

5.4 RIGIDEZ À FLEXÃO NO ESTÁDIO II, CONFIGURAÇÃO FISSURADA DEFINITIVA . . . . .	102
5.5 RIGIDEZ À FLEXÃO NO ESTÁDIO II PURO . . . . .	103
5.6 VARIAÇÃO DA RIGIDEZ À FLEXÃO NO CASO DE SOLICITAÇÃO À FLEXÃO CRESCENTE . . . . .	107
5.7 CÁLCULO DE FLECHAS $f_o$ PARA CARREGAMENTO INICIAL E CARREGAMENTO DE CURTA DURAÇÃO . . . . .	108
5.7.1 Diferentes Fatores de Dependência . . . . .	108
5.7.2 Determinação da Flecha Inicial $f_o$ . . . . .	110
5.7.3 Métodos Simplificados para a Determinação de $f_o$ . . . . .	110
5.7.4 Diminuição do Valor de $f_o$ Através da Armadura de Compressão . . . . .	113
5.8 CÁLCULO DA FLECHA PARA CARGA PERMANENTE (RETRAÇÃO E DEFORMAÇÃO LENTA) . . . . .	114
5.8.1 Flecha Devido à Deformação Lenta do Concreto e Influência da Armadura de Compressão . . . . .	114
5.8.2 Flecha Devido à Retração do Concreto no Estádio II . . . . .	117
5.9 OUTRAS INDICAÇÕES SOBRE O CÁLCULO DE FLECHAS . . . . .	118
5.9.1 Cálculo da Flecha no Caso de Flexão Composta e no Caso de Seções Transversais Especiais . . . . .	118
5.9.2 Algumas Indicações para Diversos Sistemas Estruturais e Tipos de Carregamento . . . . .	119
5.10 PREVENÇÃO DE DANOS CAUSADOS POR FLECHAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO E LIMITAÇÃO DAS FLECHAS . . . . .	121
5.10.1 Tipos Frequentes de Danos e Medidas Corretivas . . . . .	121
5.10.2 Prevenção de Danos . . . . .	124
5.10.3 Limitação das Flechas e das Esbeltezas $l/d$ . . . . .	124
<b>6. DEFORMAÇÕES DEVIDO À FORÇA CORTANTE, RIGIDEZ AO CISALHAMENTO . . . . .</b>	<b>125</b>
6.1 VISÃO GERAL E SIGNIFICADO PRÁTICO . . . . .	125
6.2 DEFORMAÇÕES POR CISALHAMENTO NO ESTÁDIO I (DESPREZÍVEIS NA PRÁTICA) . . . . .	126
6.3 DEFORMAÇÕES POR CISALHAMENTO NO ESTÁDIO II . . . . .	127
6.3.1 Observação Preliminar Importante . . . . .	127
6.3.2 Fórmulas Básicas da Rigidez ao Cisalhamento no Estádio II Puro com o Modelo da Treliça de Banzos Paralelos . . . . .	128
6.3.3 Adaptação Empírica das Fórmulas Básicas para o Estádio II às Condições Reais Através da Analogia da Treliça Generalizada . . . . .	131
6.4 DEFORMAÇÕES POSTERIORES POR CISALHAMENTO DEVIDO À DEFORMAÇÃO LENTA E À RETRAÇÃO DO CONCRETO NO ESTÁDIO II . . . . .	134
6.5 ALGUMAS INDICAÇÕES SOBRE A RIGIDEZ AO CISALHAMENTO . . . . .	135
6.5.1 Relação entre as Rigidezes ao Cisalhamento nos Estádios I e II . . . . .	136
6.5.2 Relação entre as Parcelas da Flecha devido à Flexão e ao Cisalhamento para a Fixação de um Critério sobre o Limite para a Consideração da Deformação por Cisalhamento . . . . .	137
<b>7. DEFORMAÇÕES DEVIDO À TORÇÃO, RIGIDEZ À TORÇÃO . . . . .</b>	<b>141</b>
7.1 VISÃO GERAL E SIGNIFICADO PRÁTICO . . . . .	141
7.2 RIGIDEZ À TORÇÃO NO ESTÁDIO I . . . . .	144
7.3 RIGIDEZ À TORÇÃO NO ESTÁDIO II, INCLUSIVE A REGIÃO DE FORMAÇÃO DE FISSURAS . . . . .	145
7.3.1 Delimitação da Região de Formação de Fissuras . . . . .	145

7.3.2	Fórmulas Básicas da Rigidez à Torção no Estádio II Puro .....	146
7.3.3	Adaptação Empírica das Fórmulas Básicas para o Estádio II na Região de Formação de Fissuras até $M_T$ adm .....	151
7.4	DEFORMAÇÕES POSTERIORES POR TORÇÃO DEVIDO À DEFORMAÇÃO LENTA E À RETRAÇÃO DO CONCRETO NO ESTÁDIO II .....	154
7.5	RELAÇÃO ENTRE RIGIDEZ À TORÇÃO E RIGIDEZ À FLEXÃO .....	156
7.6	RIGIDEZES À TORÇÃO E À FLEXÃO NO CASO DE TORÇÃO COM FLEXÃO E FORÇA CORTANTE .....	157
7.6.1	Observação Preliminar .....	157
7.6.2	Influências Recíprocas de T, M e Q. ....	159
7.6.3	Recomendações Provisórias para o Cálculo das Deformações Devido a T + M + Q .....	162
7.7	INFLUÊNCIA DA PROTENSÃO SOBRE AS DEFORMAÇÕES DEVIDO À TORÇÃO .....	163
8.	DEFORMAÇÕES NO REGIME PLÁSTICO (ESTÁDIO III) .....	165
8.1	OBJETIVO DA CONSIDERAÇÃO DO ESTÁDIO III .....	165
8.2	DEFORMAÇÕES POR FLEXÃO NO ESTÁDIO III .....	165
8.3	RÓTULAS PLÁSTICAS, ROTAÇÕES DAS RÓTULAS PLÁSTICAS .....	170
8.4	ROTAÇÃO NO CASO DE COMPRESSÃO EXCÊNTRICA (M e N) .....	177
8.5	REDISTRIBUIÇÃO DE MOMENTOS EM ESTRUTURAS HIPERESTÁTICAS .....	178
8.5.1	Distribuição de Momentos no Estádio II .....	178
8.5.2	Redistribuição de Momentos no Estádio III .....	182
8.5.3	Método Simplificado para a Redistribuição de Momentos .....	188
9.	TEORIA DAS LINHAS DE RUPTURA PARA ESTRUTURAS LAMINARES, ESPECIALMENTE LAJES ..	191
9.1	OBSERVAÇÃO PRELIMINAR .....	191
9.2	INTRODUÇÃO .....	192
9.3	AS LINHAS DE RUPTURA .....	193
9.4	OS ESFORÇOS SOLICITANTES .....	194
9.5	CONDIÇÕES ESPECIAIS EM CANTOS DE LAJES .....	198
9.6	DETERMINAÇÃO DA CARGA LIMITE DEFINIDA COMO MOMENTO DE RUPTURA DETERMINANTE .....	199
9.7	RESTRIÇÕES À APLICAÇÃO DA TEORIA DAS LINHAS DE RUPTURA .....	201
9.8	EXEMPLO .....	202
	BIBLIOGRAFIA .....	205