

CONTÍDUO

1. VERIFICAÇÕES RELATIVAS À CAPACIDADE DE UTILIZAÇÃO	1
1.1 NÍVEIS DE EXIGÊNCIA DO APROVEITAMENTO NO ESTADO DE UTILIZAÇÃO	1
1.2 VALORES-LIMITES DO COMPORTAMENTO DAS ESTRUTURAS	2
2. LIMITAÇÃO DA FISSURAÇÃO, LIMITAÇÃO DA ABERTURA DAS FISSURAS	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 σ_{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°	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.	DEFORMAÇÕES DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO – GENERALIDADES	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	Coefficientes 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 Traçionadas	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.	DEFORMAÇÕES DEVIDO À FORÇA NORMAL, RIGIDEZ À DEFORMAÇÃO LONGITUDINAL	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.	DEFORMAÇÕES DEVIDO À FLEXÃO, RIGIDEZ À FLEXÃO – SEM DEFORMAÇÃO POR CISALHAMENTO E SEM FORÇA NORMAL	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_0 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_0	110
5.7.3 Métodos Simplificados para a Determinação de f_0	110
5.7.4 Diminuição do Valor de f_0 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 Freqüentes 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
6. DEFORMAÇÕES DEVIDO À FORÇA CORTANTE, RIGIDEZ AO CISALHAMENTO	125
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
7. DEFORMAÇÕES DEVIDO À TORÇÃO, RIGIDEZ À TORÇÃO	141
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	RESTRICÇÕES À APLICAÇÃO DA TEORIA DAS LINHAS DE RUPTURA	201
9.8	EXEMPLO	202
BIBLIOGRAFIA	205