

O CONCRETO SEM MISTÉRIOS

UMA ABORDAGEM INÉDITA
PARA ENGENHEIROS E ARQUITETOS
DOMINAREM SUA TECNOLOGIA



ESPEDITO FELIPE TEIXEIRA DE CARVALHO

O CONCRETO SEM MISTÉRIOS

Espedito Felipe Teixeira de Carvalho

2012



EDITORA UFOP



UFOP

Universidade Federal
do Oeste de Pará

Reitor | João Luiz Martins
Vice-Reitor | Antenor Rodrigues Barbosa Junior



EDITORA UFOP

Diretor-Presidente | Gustavo Henrique Bianco de Souza
Assessor Especial | Alvimar Ambrósio

CONSELHO EDITORIAL

Adalgimar Gomes Gonçalves
André Barros Cota
Elza Conceição de Oliveira Sebastião
Fábio Faversani
Gilbert Cardoso Bouyer
Gilson Ianinni
Gustavo Henrique Bianco de Souza
Carla Mercês da Rocha Jatobá Ferreira
Hildeberto Caldas de Sousa
Leonardo Barbosa Godefroid
Rinaldo Cardoso dos Santos

© EDUFOP

Coordenação Editorial
Espedito Felipe Teixeira de Carvalho

Projeto Gráfico / Capa
Camaleão

Revisão Técnica
Espedito Felipe Teixeira de Carvalho

Editoração Eletrônica
Sandra Daniela do Carmo Barroso

FICHA CATALOGRÁFICA

C331c Carvalho, Espedito Felipe Teixeira de.
O concreto sem mistérios / Espedito Felipe Teixeira
de Carvalho - Ouro Preto : UFOP, 2012.
392p.: il. color.; grafs.; tabs.; mapas.

1. Concreto. 2. Cimento portland. 3. Educação. 4. Prática
de ensino. 5. Edificações. I. Universidade Federal de
Ouro Preto. II. Título.

ISBN: 978-85-288-0086-9

CDU: 666.942

Catálogo: sisbin@sisbin.ufop.br

Reprodução proibida Art. 184 do Código Penal e Lei 9610 de fevereiro de
1998.

Todos os direitos reservados à

Editora UFOP

<http://www.ufop.br>

e-mail: editora@ufop.br

Tel.: 31 35591463

Telefax.: 31 3559-1255

Centro de Vivência | Sala 03 | Campus Morro do Cruzeiro

35400.000 | Ouro Preto | MG

Sumário

1	Introdução	27
1.1	Condições a que devem satisfazer os materiais para uma determinada construção:	27
1.2	Concreto: primeiras revelações	30
2	Cimento Portland	35
2.1	Definição:	35
2.2	Processo de Fabricação	35
2.3	Hidratação do Cimento Portland	47
2.4	Pega e endurecimento	62
2.5	Finura do cimento:(grau de moagem)	63
2.6	Estabilidade de volume	65
2.7	Calor de hidratação	66
2.8	Resistência aos esforços mecânicos:	67
2.9	Tipos de cimento especificados	68
2.10	Outras características dos cimentos:	70
2.11	Adições minerais	71
2.12	Aplicações dos vários tipos de cimento	77
2.13	Ensaio de recepção do cimento	82
	2.13.1 Detalhamento dos ensaios	84
2.14	Cimentos especiais de base mineral	91
	2.14.1 Cimento de aluminato de cálcio (CAC)	92
	2.14.2 Cimento de escória	92
	2.14.3 Cimento escória-silicato de sódio	93
	2.14.4 Cimentos de retração compensada (cimentos expansivos)	95

2.14.5	Cimento ultrafino (microcimento)	95
2.14.6	Cimento geopolimérico	97
2.14.7	Cimentos de magnésio	98
2.14.8	Cimento de belita, ou C_2S (cimento de baixa energia)	98
2.14.9	Cimentos de pega rápida	99
3	Agregados para concreto	101
3.1	Especificação do Material: (NBR 7211)	101
3.1.1	Objetivo	101
3.1.2	Referências normativas	101
3.1.3	Definições:	101
3.1.4	Requisitos gerais	102
3.1.5	Agregado miúdo	103
3.1.6	Agregado graúdo	107
3.1.7	Inspeção	109
3.1.8	Aceitação e rejeição	109
3.2	Razões de sua utilização em argamassas e concretos	109
3.3	Informações Complementares	110
3.3.1	Definição:	110
3.3.2	Classificação dos Agregados:	111
3.3.3	Informações Úteis	111
3.4	Areias Artificiais	118
3.5	Durabilidade devida aos agregados	119
3.5.1	Impurezas dos agregados miúdos	119
3.5.2	Durabilidade dos agregados graúdos	121
3.6	Condições a que devem satisfazer os agregados para concretos de boa qualificação:	125
3.7	Dependência da rocha matriz:	126
3.8	Alguns ensaios de agregados	128
3.8.1	Determinação do teor de argila em torrões... ABNT NBR-7218	128
3.8.2	Determinação do teor de materiais finos passantes na peneira #200 (NBR NM 46)	130
3.8.3	Determinação do teor de impurezas orgânicas húmicas (NBR NM 49)	132
3.8.4	Traçado da curva de inchamento de uma areia (NBR 6467)	133

4	A água do concreto	137
4.1	Água de amassamento	137
4.1.1	Generalidades	137
4.1.2	Substâncias em suspensão	139
4.1.3	Substâncias em Solução:	139
4.1.4	Influência do pH	140
4.1.5	Influência dos Gases Dissolvidos	141
4.1.6	Influência de Substâncias Orgânicas: (óleos, ácidos e hidratos de carbono)	141
4.1.7	Condições a que se deve satisfazer a água de amassamento:	141
4.1.8	Águas residuais de Indústrias	143
4.1.9	Água do Mar	143
4.1.10	Prescrições da ABNT NBR 15900	144
4.2	Água de poro	144
5	Aditivos para concreto e argamassas	147
5.1	Generalidades	147
5.2	Principais aditivos químicos	151
5.2.1	Tensoativos	151
5.2.2	Modificadores de pega	161
6	Estudo das propriedades do concreto	169
6.1	Trabalhabilidade	171
6.1.1	Concreto autoadensável:	173
6.1.2	Caracterização reológica no estado fresco (Medida da Trabalhabilidade)	177
6.1.3	Perda de Abatimento	184
6.1.4	Segregação do concreto fresco:	185
6.2	Exsudação (Forma particular de segregação)	187
6.2.1	Fatores que afetam a exsudação	189
7	Propriedade do concreto endurecido	191
7.1	Massa Específica	191
7.2	Resistência mecânica:	192
7.2.1	Relações estrutura-propriedade:	193
7.2.2	Resistência à tração por compressão diametral-NBR 7222	199

7.2.3	Fatores que influenciam a resistência do concreto	200
7.2.4	Relação Resistência x Porosidade:	202
7.2.5	Grau de hidratação - Importância da cura	207
7.2.6	Adições minerais pozolânicas	211
7.2.7	Características Granulométricas:	211
7.2.8	Influência dos componentes do concreto	212
7.2.9	Resistência x Consistência (slump test)	213
7.3	Permeabilidade do concreto	215
7.3.1	Permeabilidade dos concretos - Dados práticos	219
7.3.2	Influência do consumo de cimento - concreto convencional	219
7.3.3	Exemplo de determinação do coeficiente de permeabilidade:	221
7.4	Deformações do concreto	222
7.5	Retração	224
7.5.1	Retração do concreto fresco	224
7.5.2	Retração do concreto endurecido:	227
7.5.3	Variações de temperatura:	231
7.5.4	Módulo de elasticidade estático (NBR 6118/2007)	233
7.5.5	Deformação lenta:	235
7.5.6	Diagrama Tensão - Deformação: (compressão do concreto) - NBR-6118	239
7.5.7	Combinações de condições de carregamentos, restrição e umidade	240
8	Dosagem dos Concretos	243
8.1	Notação adotada:	243
8.1.1	Traço Unitário em massa (TU):	244
8.2	Métodos de Dosagem:	245
8.2.1	Dosagem Empírica	245
8.2.2	Dosagem Experimental	261
8.3	Capítulo 12 do livro Concreto: Ciência e Tecnologia do IBRA-CON	287
9	Produção dos Concretos - Concretagem	293
9.1	Prescrições para a boa execução e itens da Norma NBR 14931/2004 sobre o assunto:	294
9.1.1	Preparo do concreto:	294

9.1.2	Concretagem	295
9.1.3	Cura e Retirada das Formas e do Escoramento: . . .	299
9.2	Informações sobre a cura:	300
9.2.1	Processos de Cura:	300
9.2.2	Numa obra, a cura poderá ser realizada pelos seguintes processos:	301
10	Controle Tecnológico do Concreto	303
10.1	Operações envolvidas no controle tecnológico:	303
10.1.1	Verificação da dosagem efetiva(traçó)	304
10.2	Controle de qualidade:	304
10.2.1	Tomada de conhecimento sobre a obra:	304
10.2.2	Fornecimento das dosagens que atendam às condições anteriores:	304
10.2.3	Acompanhamento da Obra:	304
10.2.4	Água para emprego no concreto	305
10.2.5	Número de ensaios de cada um dos componentes do concreto:	305
10.3	Ensaio não destrutivo:	305
10.4	Resumo da norma brasileira NBR 12.655/06	307
10.5	Resistência do Concreto	310
10.6	Controle da resistência do concreto: (NBR 12.655/06) . . .	311
10.6.1	Controle estatístico por Amostragem Parcial:	312
10.6.2	Amostragem Total (100%): (exemplares de cada amassada)	313
10.6.3	Casos Excepcionais: $V < 10m^3$ de Concreto	313
10.6.4	10.6.4 - Aceitação ou rejeição dos lotes de concreto	313
10.6.5	Exemplo de Cálculo da resistência característica f_{ck}	314
10.7	Aceitação ou rejeição da estrutura: (NBR 6118)	315
10.8	Avaliação das Operações de Ensaio e Controle	316
10.9	Reconstituição de traços do concreto	319
10.9.1	Concreto fresco	319
10.9.2	Concreto endurecido (Cálculo aproximado)	321
11	Durabilidade do Concreto	323
11.1	Processo de deterioração das estruturas	323
11.1.1	Fissuras	324
11.2	Profilaxia e patologia nas construções de concreto	325

11.3 Causas da deterioração do concreto	326
11.3.1 Causas físicas da deterioração do concreto	326
11.3.2 Causas químicas da deterioração do concreto	326
11.3.3 Carbonatação do concreto	342
11.3.4 Deterioração por penetração de cloretos	347
11.4 Estruturas de concreto em zona de maré	348
12 Tipos e Concretos Especiais	349
12.1 Concreto dosado em central	350
12.2 Concreto convencional	351
12.3 Concreto Magro	352
12.4 Concreto Rolado ou CCR	353
12.5 Concreto Bombeável	354
12.6 Concreto Resfriado	355
12.7 Concreto Colorido	355
12.8 Concreto Autoadensável	356
12.9 Concreto para pavimento rígido	356
12.10 Concreto Leve	357
12.10.1 Concretos porosos, celulares ou aerados	359
12.11 Concreto de alto desempenho	368
12.12 Concreto Ciclópico	369
12.13 Concreto Massa	369
12.14 Concreto com fibras	372
12.15 Concretos Refratários	372
12.16 Concreto Projetado	373
12.17 Concreto de alta resistência	374
12.18 Microconcreto	374
12.19 Concreto Submerso	377
12.20 Concreto Pesado	378
12.21 Concreto Maquininha	381
12.22 Concreto pré-fabricado	381