

Índice

Índice de figuras	11
Índice de tabelas	13
Índice de quadros	15
Agradecimentos	17
Prefácio	19
Simbologia	21
Introdução	27

Capítulo 1

Caracterização da pedra natural

1. Tipos de rocha	34
1.1. Rochas ígneas	34
1.2. Rochas sedimentares	35
1.3. Rochas metamórficas	36
2. Normalização	38
3. Identificação e caracterização física	41
3.1. Terminologia, características geométricas e petrografia	41
3.2. Determinação do coeficiente de dilatação linear térmica	43
3.3. Massa volúmica aparente e porosidade aberta	44
3.4. Absorção de água à pressão atmosférica e por capilaridade	45
3.5. Resistência aos agentes atmosféricos	46
3.6. Resistência ao gelo	46
3.7. Resistência à cristalização de sais	48
3.8. Resistência ao envelhecimento por choque térmico	50

4. Caracterização mecânica	50
4.1. Resistência à flexão	51
4.2. Resistência das ancoragens	52
4.3. Módulo de Elasticidade	53
5. Tipos de acabamento	54

Capítulo 2

Sistemas de fixação

1. Tipos de ancoragem	60
1.1. Aspectos gerais a observar	63
1.2. Componentes metálicos	63
1.3. Materiais vedantes não cimentícios	64
1.4. Materiais cimentícios	66
1.5. Ventilação e estanquidade	66
2. Ancoragem por cavilhas	67
2.1. Disposição e número de cavilhas	70
2.2. Posicionamento da furação e dimensões	75
3. Ancoragens lineares	77
3.1. Ancoragens com régua de reforço	83
4. Ancoragens no tardo	85
5. Ancoragem com discos	87
6. Ancoragens com agramos	89
7. Ancoragem com arames	90

Capítulo 3

Estados-limite

1. Estados-limite e acções a considerar	95
2. Acções e combinações	97
2.1. Combinações de acções – estados-limite de últimos	97
2.2. Combinações de acções – estados-limite de utilização	98
2.3. Coeficientes de combinação	99

Quantificação das acções

1. Acção do vento	103
2. Acção sísmica	104
2.1. Elementos rígidos	105
2.2. Elementos flexíveis	112
3. Peso próprio	120
4. Acções térmicas e higrométricas	121
4.1. Folgas e largura de juntas	121
4.2. Movimentos de origem térmica	122
4.3. Movimentos de origem higroscópica	123
5. Acção da neve	124
6. Vibrações	124

Fiabilidade e coeficientes de segurança

1. Bases de cálculo	128
1.1. Fiabilidade estrutural	128
1.2. Índice de fiabilidade	130
1.3. Definição do nível de fiabilidade	131
1.4. Diferenciação da fiabilidade	132
1.5. Valores objectivo do índice de fiabilidade	133
1.6. Coeficientes parciais de segurança – pedra natural	134

Resistência à flexão e à tracção

1. Valores característicos	141
2. Resistência à tracção simples	143
3. Diminuição da capacidade resistente, com a idade	145

Cálculo de ancoragens por cavilha

1. Dimensionamento em flexão simples	149
1.1. Estado-limite último de resistência	149
1.2. Estado-limite de deformação	152
2. Resistência ao arrancamento	153

Cálculo de ancoragens em ranhura

1. Dimensionamento em flexão simples	161
1.1. Resistência à flexão	161
1.2. Deformação	162
2. Cálculo da resistência do entalhe	163
2.1. Apoio contínuo	165
2.2. Apoio descontínuo	165
3. Folga e espessura nos apoios	167

Cálculo dos pernos e perfis

1. Resistência à flexão e corte	175
2. Resistência à tracção e corte	177
3. Perfis e pernos em liga de alumínio	178

Exemplos de aplicação

1. Exemplo de aplicação – fixação por cavilhas	184
2. Exemplo de aplicação – fixação com entalhe	185
3. Análise comparativa	186
3.1. Dos tipos de ancoragem	187
3.2. Dos métodos de dimensionamento	188
3.3. Conclusões	189

Bibliografia	191
--------------	-----

Índice de figuras

Figura 1. Descolamento de placa de granito por perda de aderência	29
Figura 2. Principais tipos de acabamento em granitos, calcários e mármore	55
Figura 3. Furação com ranhura, contínua ou descontínua, e furação circular	61
Figura 4. Ancoragem para inserção de cavilha	62
Figura 5. Ancoragens para inserção em ranhuras	62
Figura 6. Posicionamento de tubos de ventilação numa fachada de juntas fechadas	67
Figura 7. Inserções e cavilhas nos bordos horizontais	68
Figura 8. Inserções e cavilhas em bordos sem continuidade	69
Figura 9. Fixação de placas com cavilhas, nos bordos verticais	69
Figura 10. Esquema de fixação com cavilha, para superfícies horizontais	70
Figura 11. Número e pontos de apoio com inserções para cavilhas	71
Figura 12. Esquema de montagem e detalhe de uma ancoragem com cavilha e junta fechada	72
Figura 13. Fixação dos pernos com comprimento adequado à espessura do isolamento térmico	73
Figura 14. Furação da parede resistente	73
Figura 15. Fixação do perno de suporte	74
Figura 16. Ajuste da posição da cavilha e aperto do perno	74
Figura 17. Montagem em sequência das placas	74
Figura 18. Dimensões do bordo apoiado (L_1), do bordo livre (L_2) e marcação dos furos	76
Figura 19. Esquema ilustrativo para fixações em apoio contínuo com ranhura – <i>kerf</i>	78
Figura 20. Apoio descontínuo com apoio em perfil de abas opostas	79
Figura 21. Esquema de apoio com entalhe contínuo e pontos críticos de contacto	80
Figura 22. Transferência das acções da placa para o perfil	80
Figura 23. Pormenorização do sistema de ancoragem com entalhe	81

Figura 24. Solicitação acidental por deformação excessiva dos perfis de apoio	82
Figura 25. Soluções para evitar contacto pontual na aresta interior e inferior das placas	82
Figura 26. Apoio contínuo no bordo inferior de uma placa reforçada	83
Figura 27. Corte C da Figura 26	84
Figura 28. Corte esquemático e vista da ligação oculta com furação no tardo das placas	86
Figura 29. Vista tridimensional de uma ancoragem (estrutura de suporte visível: cantoneiras)	86
Figura 30. Fixação com discos em inox com ranhuras, na posição horizontal	88
Figura 31. Esquema da fixação com discos	88
Figura 32. Esquema da fixação com agramos	89
Figura 33. Ligação com fios aramados, como reforço de soluções coladas	91
Figura 34. Espectros de resposta segundo o EC8	109
Figura 35. Exemplo da distribuição das funções de densidade de probabilidade $f(E(a))$ e $f(R(r))$	129
Figura 36. Distribuição da variável Z da probabilidade de rotura	131
Figura 37. Placa de pedra com encavilhamento nas juntas horizontais. Comprimento de embutimento igual a ℓ_p	150
Figura 38. Corte esquemático de uma placa na zona de inserção de uma cavilha	153
Figura 39. Aspecto de um provete após ensaios de arrancamento	155
Figura 40. Projecção no plano de uma placa da superfície de destacamento de uma cunha após rotura	155
Figura 41. Vista esquemática de uma placa com ranhura em dois bordos	162
Figura 42. Corte esquemático de um apoio com entalhe	164
Figura 43. Rotura do entalhe com apoio descontínuo	165
Figura 44. Destacamento de dente de placa com apoio parcial – ângulo de rotura	167
Figura 45. Definição do plano de rotura e eixos de tensões	169
Figura 46. Comparação entre a espessura calculada em função da rotura da ancoragem e da rotura a meio vão – fixação por cavilha	184
Figura 47. Comparação entre a espessura calculada em função da rotura da ancoragem e da rotura a meio vão – fixação por entalhe contínuo	186
Figura 48. Comparação entre a espessura calculada para duas soluções de fixação	187
Figura 49. Comparação entre métodos de dimensionamento	188

Índice de tabelas

Tabela 1. Classes de durabilidade de calcários (BRE)	49
Tabela 2. Valores mínimos para o índice de fiabilidade (EC 1990)	133
Tabela 3. Valores-alvo dos índices de fiabilidade, para elementos estruturais da classe RC1 (EC 1990)	134
Tabela 4. Coeficientes parciais de segurança para as placas de pedra ($\beta_1 = 4,2$)	137
Tabela 5. Valores do coeficiente k_p , 5% para o cálculo do valor característico, numa distribuição log-normal, com um intervalo de confiança de 75%	143
Tabela 6. Valores de η – diminuição da resistência da pedra com a idade	146
Tabela 7. Coeficientes de concentração de tensões e ângulo de destacamento (α)	157
Tabela 8. Coeficiente de concentração de tensões (K_k), em apoios com ranhura	171
Tabela 9. Valores característicos da resistência à tracção de aços	176
Tabela 10. Valores característicos de resistência à tracção de aços, em pernos e parafusos comerciais	176
Tabela 11. Características mecânicas das ligas de alumínio utilizadas	178
Tabela 12. Características mecânicas das ligas de alumínio utilizadas	179

Índice de quadros

Quadro 1. Ensaio de identificação e caracterização (CEN/TC 246)	40
Quadro 2. Ensaio de resistência mecânica (CEN/TC 246)	40
Quadro 3. Valores médios de referência para algumas características principais de tipos litológicos	41
Quadro 4. Tolerâncias e espessura nominal	42
Quadro 5. Tolerâncias da largura e comprimento	43
Quadro 6. Valores máximos recomendados da porosidade aberta	44
Quadro 7. Valores máximos recomendados de absorção da água	45
Quadro 8. Número de ciclos de ensaio de gelo e degelo a exigir em fachadas, para um período de 50 anos	48
Quadro 9. Valores dos coeficientes parciais das acções para os estados-limite últimos	98
Quadro 10. Valores dos coeficientes parciais e de combinação de acções em estados-limite de utilização	98
Quadro 11. Valores dos coeficientes de combinação	99
Quadro 12. Coeficientes de dilatação térmica de pedra natural e metais	122
Quadro 13. Valores do coeficiente de expansão higrométrica	123
Quadro 14. Definição das classes de consequências (EC 1990)	132
Quadro 15. Coeficientes de segurança, segundo Alex S. Gere (1988)	138
Quadro 16. Valor de α para determinação da largura efectiva de apoio	166
Quadro 17. Dados para exemplo de aplicação – fixação por cavilhas	184
Quadro 18. Dados para exemplo de aplicação – fixação por entalhe	185