

Tecnologia de Contenções e Fundações

Jorge de Brito
José Dinis Silvestre
Rui Carrilho Gomes



Lidel – Edições Técnicas, Lda.

www.lidel.pt

Índice Geral

Sobre os Autores	XV
Nota Introdutória	XVII
Siglas e Abreviaturas	XXIII
Capítulo 1 Introdução	1
1.1 Considerações gerais.....	1
1.2 Objetivos e âmbito do livro.....	4
PARTE I Escavações	7
Capítulo 2 Técnicas de melhoramento de solos.....	9
2.1 Introdução	9
2.2 Compactação dinâmica	9
2.2.1 Domínio de aplicação.....	10
2.2.2 Equipamento e processo de execução	10
2.2.3 Controlo de qualidade e limitações do processo	12
2.2.4 Compactação com explosivos	12
2.3 Pré-carga e geodrenos.....	12
2.3.1 Domínio de aplicação.....	13
2.3.2 Métodos de execução.....	13
2.3.3 Controlo de qualidade e limitações do processo	14
2.4 Vibrocompactação	15
2.4.1 Vibroflutuação	15
2.4.2 Vibrossubstituição com colunas de brita	17
2.5 Congelação artificial do terreno.....	20
2.5.1 Domínio de aplicação.....	20
2.5.2 Equipamento e processo de execução	21
2.5.3 Controlo de qualidade e limitações do processo	22
2.6 Injeções.....	23
2.6.1 Tipos de calda	23
2.6.2 Equipamento e processo de execução	24
2.6.3 Controlo de qualidade e limitações do processo	30
2.7 <i>Jet grouting</i>	31
2.7.1 Tipos de <i>jet grouting</i>	32
2.7.2 Equipamento e processo de execução	34
2.7.3 Controlo de qualidade e limitações do processo	36
2.8 Critérios de seleção	37
Capítulo 3 Escavações e aterros.....	41
3.1 Introdução	41
3.2 Soluções de entivação.....	41

3.2.1	Condicionantes à execução de escavações e taludes.....	42
3.2.2	Exigências funcionais	43
3.2.3	Seleção do equipamento	44
3.2.4	Tipos de entivação.....	45
3.3	Entivações tradicionais.....	45
3.3.1	Execução de valas.....	46
3.3.1.1	Valas suportadas por cortina aberta	48
3.3.1.2	Valas suportadas por cortina fechada.....	50
3.3.1.3	Variantes	52
3.3.2	Escavação a céu aberto para a construção de caves.....	53
3.4	Entivações tradicionais melhoradas	54
3.4.1	Entivação com módulos de escoramento.....	54
3.4.2	Estacas de calha.....	56
3.5	Entivações não tradicionais.....	57
3.5.1	Sistemas por projeção de argamassas/betões	57
3.5.2	Sistemas para obras em rios e lagos.....	59
3.6	Crerios de seleção	60
Capítulo 4	Drenagem de escavações	65
4.1	Introdução	65
4.2	Classificação das técnicas de drenagem de escavações.....	66
4.3	Retenção de águas superficiais.....	69
4.4	Captação direta	70
4.5	Rebaixamento do nível freático	72
4.5.1	Poços de bombagem.....	72
4.5.2	Agulhas filtrantes	74
4.5.3	Sistemas de ejeção	75
4.5.4	Eletro-osmose	76
4.5.5	Captação horizontal.....	77
4.6	Métodos de exclusão	78
4.6.1	Congelação do solo	79
4.6.2	Paredes de lamas bentoníticas.....	81
4.6.3	Estacas-prancha	82
4.6.4	Paredes moldadas	82
4.6.5	Cortinas de estacas moldadas.....	83
4.6.6	<i>Jet grouting</i>	83
4.6.7	Injeção de calda de cimento	83
4.6.8	Cortinas horizontais.....	84
4.7	Crerios de seleção	85
PARTE II	Contenções.....	89
Capítulo 5	Contenções periféricas	91
5.1	Introdução	91

5.2	Soluções provisórias.....	92
5.3	Soluções definitivas	93
5.4	Reconhecimento geológico e geotécnico.....	95
5.4.1	Objetivos do estudo de caracterização geotécnica.....	96
5.4.2	Estudos de caracterização geotécnica.....	98
5.4.3	Reconhecimento de infraestruturas e construções.....	105
5.5	Preparação dos trabalhos.....	105
5.5.1	Projeto de contenção.....	105
5.5.2	Precauções a implementar durante a construção	106
5.6	Inspeção e controlo de qualidade.....	107
5.7	Problemas de execução	108
5.8	Critérios de seleção	110
Capítulo 6	Paredes tipo Berlim.....	113
6.1	Introdução	113
6.2	Campo de aplicação	114
6.3	Vantagens e desvantagens	116
6.4	Processo de execução.....	118
6.4.1	Introdução dos perfis metálicos.....	118
6.4.2	Execução da viga de coroamento.....	121
6.4.3	Escavação e introdução dos elementos de entivação.....	122
6.4.4	Criação de elementos adicionais de suporte	125
6.4.5	Execução da superestrutura	128
Capítulo 7	Cortinas de estacas-prancha	131
7.1	Introdução	131
7.2	Campo de aplicação	132
7.3	Vantagens e desvantagens	133
7.4	Processo de execução.....	134
7.4.1	Seleção dos perfis.....	134
7.4.2	Seleção do equipamento de cravação	135
7.4.3	Cravação das estacas-prancha	140
7.4.4	Escavação e sustentação do terreno.....	143
7.4.5	Extração das estacas-prancha.....	144
Capítulo 8	Pregagens.....	147
8.1	Introdução	147
8.2	Campo de aplicação	148
8.3	Vantagens e desvantagens	149
8.4	Tipos de pregagem	151
8.5	Processo de execução.....	157
8.5.1	Escavação de cada nível	158
8.5.2	Execução do furo	159
8.5.3	Selagem da pregagem.....	160

8.5.4	Colocação da armadura.....	161
8.5.5	Colocação da malha eletrossoldada.....	162
8.5.6	Colocação de placa de superfície	163
8.5.7	Colocação de drenos.....	164
8.5.8	Aplicação de betão projetado	164
8.5.9	Controlo pós-constutivo das pregagens.....	166
Capítulo 9	Ancoragens	167
9.1	Introdução	167
9.2	Campo de aplicação	168
9.3	Vantagens e desvantagens	170
9.4	Classificação e constituição das ancoragens	171
9.5	Processo de execução.....	174
9.5.1	Execução do furo	176
9.5.1.1	Furação com trado contínuo.....	178
9.5.1.2	Furação com varas e <i>bit</i>	179
9.5.1.3	Furação com martelo de fundo de furo.....	179
9.5.2	Colocação da armadura.....	180
9.5.3	Selagem da armadura.....	182
9.5.4	Criação do bolbo de selagem.....	184
9.5.5	Aplicação do pré-esforço	186
9.5.6	Controlo e observação.....	187
9.5.7	Desativação das ancoragens	189
Capítulo 10	Paredes tipo Munique	191
10.1	Introdução	191
10.2	Campo de aplicação.....	192
10.3	Vantagens e desvantagens	193
10.4	Processo de execução.....	194
10.4.1	Escavação geral	195
10.4.2	Introdução dos perfis metálicos.....	196
10.4.3	Execução da viga de coroamento.....	198
10.4.4	Execução dos painéis primários	199
10.4.4.1	Escavação do terreno	200
10.4.4.2	Aprumo da escavação.....	201
10.4.4.3	Colocação de uma camada de areia e terra na base do painel.....	202
10.4.4.4	Preparação e colocação da armadura.....	203
10.4.4.5	Cofragem do painel	206
10.4.4.6	Betonagem do painel	208
10.4.4.7	Descofragem do painel.....	209
10.4.5	Execução das ancoragens dos painéis primários.....	209
10.4.6	Execução dos painéis secundários e respetivas ancoragens	211
10.4.7	Execução dos painéis de canto e respetivos escoramentos.....	212
10.4.8	Execução dos painéis dos restantes níveis.....	214

10.4.9	Execução da sapata de fundação	215
10.4.10	Execução da superestrutura	215
10.4.11	Desativação das ancoragens	217
Capítulo 11	Cortinas de estacas moldadas	219
11.1	Introdução	219
11.2	Campo de aplicação	219
11.3	Vantagens e desvantagens	220
11.4	Processo de execução das estacas	222
11.4.1	Estacas executadas com trado contínuo oco	222
11.4.2	Estacas executadas com tubo moldador recuperável	223
11.4.3	Estacas executadas com lamas bentoníticas	225
11.4.4	Seleção do tipo de estacas a utilizar nas cortinas	226
11.5	Processo de execução das cortinas	226
11.5.1	Classificação das cortinas em função do espaçamento entre estacas	226
11.5.1.1	Cortinas de estacas espaçadas	227
11.5.1.2	Cortinas de estacas contíguas	228
11.5.1.3	Cortinas de estacas secantes	229
11.5.1.4	Seleção do tipo de cortinas de estacas	229
11.5.2	Resumo do processo construtivo	230
11.5.3	Execução dos muros-guia	231
11.5.4	Rebaixamento do nível freático	232
11.5.5	Execução da cortina	232
11.5.6	Execução da viga de coroamento	233
11.5.7	Execução das ancoragens	234
11.5.8	Execução dos escoramentos	235
11.5.9	Execução da superestrutura até ao piso térreo	237
Capítulo 12	Paredes moldadas	239
12.1	Introdução	239
12.2	Campo de aplicação	240
12.3	Vantagens e desvantagens	242
12.4	Processo de execução	244
12.4.1	Montagem da central de lamas bentoníticas	245
12.4.2	Execução dos muros-guia	246
12.4.3	Escavação dos painéis	247
12.4.3.1	Dimensões dos painéis	248
12.4.3.2	Processos de escavação	249
12.4.3.3	Execução da vala e sua estabilização	251
12.4.3.4	Sequência de escavação	252
12.4.3.5	Colocação dos perfis de junta	254
12.4.4	Preparação e colocação das armaduras	255
12.4.5	Betonagem dos painéis	257
12.4.6	Saneamento do betão e execução da viga de coroamento	259

12.4.7	Escavação do terreno e execução das ancoragens.....	261
12.4.8	Construção da superestrutura e desativação das ancoragens.....	262
12.4.9	Aspetos diversos.....	265
12.4.9.1	Continuidade horizontal da contenção	265
12.4.9.2	Impermeabilização.....	266
12.4.9.3	Paredes em contrafortes.....	268
12.4.9.4	Controlo de qualidade	268
12.4.10	Painéis pré-fabricados.....	269
12.4.11	Outras soluções construtivas.....	271
Capítulo 13	Muros de suporte	273
13.1	Introdução	273
13.2	Soluções tradicionais	273
13.3	Soluções correntes	274
13.4	Soluções especiais.....	275
13.5	Reconhecimento geológico e geotécnico.....	276
13.6	Preparação dos trabalhos.....	277
13.7	Sistemas de drenagem	279
13.8	Inspeção e controlo de qualidade.....	282
13.9	Problemas de execução	282
13.10	Critérios de seleção	284
Capítulo 14	Muros de gravidade correntes	287
14.1	Introdução	287
14.2	Campo de aplicação	287
14.3	Vantagens e desvantagens	289
14.4	Muros tradicionais.....	290
14.4.1	Muros de alvenaria de pedra.....	291
14.4.2	Muros de betão ciclópico ou simples.....	293
14.4.3	Muros mistos ou compósitos	294
14.5	Muros de gabiões.....	295
14.5.1	Processo de execução	297
14.5.2	Outras aplicações.....	299
Capítulo 15	Muros de suporte de betão armado	301
15.1	Introdução	301
15.2	Campo de aplicação	301
15.3	Vantagens e desvantagens	302
15.4	Tipologias	303
15.5	Processo de execução.....	304
15.6	Muros pré-fabricados.....	311
15.6.1	Muros tipo T (<i>T-Wall</i>)	311
15.6.2	Muros tipo <i>Tensiter</i>	313

Capítulo 16 Muros de suporte especiais	317
16.1 Introdução	317
16.2 Muros de terra armada	317
16.2.1 Campo de aplicação	319
16.2.2 Vantagens e desvantagens.....	320
16.2.3 Processo de execução	321
16.2.4 Variantes à técnica.....	324
16.3 Contenções com geotêxtil.....	325
16.3.1 Campo de aplicação	327
16.3.2 Vantagens e desvantagens.....	328
16.3.3 Processo de execução	328
16.3.4 Variantes à técnica.....	331
16.4 Taludes pregados	334
16.4.1 Processo de execução	335
16.4.2 Variante à técnica	335
16.5 Muros engradados.....	336
16.5.1 Campo de aplicação	336
16.5.2 Vantagens e desvantagens.....	338
16.5.3 Processo de execução	339
PARTE III Fundações.....	343
Capítulo 17 Fundações diretas	345
17.1 Introdução	345
17.2 Tipos de fundações diretas.....	346
17.3 Reconhecimento geológico e geotécnico.....	347
17.4 Preparação dos trabalhos.....	348
17.5 Inspeção e controlo de qualidade.....	348
17.6 Problemas de execução	348
17.7 Critérios de seleção	349
Capítulo 18 Sapatas	353
18.1 Introdução	353
18.2 Campo de aplicação	354
18.3 Vantagens e desvantagens	355
18.4 Processo de execução.....	356
18.4.1 Preparação do terreno	356
18.4.2 Escavação geral	357
18.4.3 Implantação da fundação	358
18.4.4 Abertura de caboucos (escavação local)	360
18.4.5 Colocação do betão de limpeza	362
18.4.6 Execução da cofragem.....	363
18.4.7 Montagem das armaduras.....	366
18.4.8 Betonagem	368

18.4.9	Descobragem.....	370
18.4.10	Cura do betão	370
18.4.11	Aterro dos caboucos	371
Capítulo 19	Ensoleiramentos gerais e grelhas de fundação.....	373
19.1	Introdução	373
19.2	Campo de aplicação	373
19.3	Vantagens e desvantagens	376
19.4	Processo de execução.....	377
Capítulo 20	Fundações profundas	381
20.1	Introdução	381
20.2	Tipos de fundações profundas	381
20.3	Reconhecimento geológico e geotécnico.....	383
20.4	Preparação dos trabalhos.....	384
20.5	Inspeção e controlo de qualidade.....	384
20.5.1	Estacas moldadas	385
20.5.2	Estacas cravadas.....	389
20.5.3	Microestacas.....	391
20.5.4	Barretas.....	391
20.6	Problemas de execução correntes.....	392
20.7	Crterios de seleção	397
Capítulo 21	Pegões	399
21.1	Introdução	399
21.2	Campo de aplicação	399
21.3	Vantagens e desvantagens	401
21.4	Processo de execução.....	402
21.4.1	Métodos antigos.....	402
21.4.2	Métodos atuais.....	404
21.4.3	Caixões.....	408
21.4.4	Reforço de fundações por recalce.....	410
21.4.5	Contenções periféricas com pegões.....	413
Capítulo 22	Estacas cravadas.....	415
22.1	Introdução	415
22.2	Campo de aplicação	416
22.3	Vantagens e desvantagens	416
22.4	Estacas de madeira	417
22.5	Estacas metálicas	419
22.6	Estacas de betão.....	423
22.6.1	Pré-fabricação	423
22.6.2	Processos de cravação	426
22.6.3	Sequência construtiva	428

Capítulo 23 Estacas moldadas no terreno	431
23.1 Introdução	431
23.2 Campo de aplicação	433
23.3 Vantagens e desvantagens	434
23.4 Materiais e equipamento	434
23.5 Estacas executadas com trado contínuo oco	438
23.6 Estacas executadas com trado curto sem tubo moldador	440
23.7 Estacas executadas com tubo moldador recuperável	442
23.8 Estacas executadas com lamas bentoníticas	444
23.9 Estacas executadas com tubo moldador perdido	446
23.10 Estacas executadas sem extração do terreno	449
Capítulo 24 Microestacas	451
24.1 Introdução	451
24.2 Campo de aplicação	452
24.3 Vantagens e desvantagens	455
24.4 Processo de execução	456
24.4.1 Perfuração	457
24.4.2 Colocação da armadura	459
24.4.3 Injeção da calda de cimento	460
Capítulo 25 Barretas	463
25.1 Introdução	463
25.2 Campo de aplicação	463
25.3 Vantagens e desvantagens	466
25.4 Processo de execução	467
PARTE IV Drenagem e impermeabilização de construções enterradas.....	471
Capítulo 26 Drenagem de pisos enterrados.....	473
26.1 Introdução	473
26.2 Humidade nos pisos enterrados	473
26.2.1 Humidade da construção	474
26.2.2 Humidade do terreno	474
26.2.3 Humidade de condensação	476
26.2.4 Humidade de higroscopicidade	477
26.2.5 Humidade devida a causas acidentais	477
26.3 Materiais utilizados	477
26.3.1 Agregados	478
26.3.2 Alvenaria	478
26.3.3 Geotêxteis	479
26.3.4 Redes drenantes/Separadores	480
26.3.5 Tubos de drenagem	480
26.4 Sistemas abaixo do nível freático	481

26.4.1	Paredes enterradas	482
26.4.1.1	Paredes moldadas.....	482
26.4.1.2	Paredes correntes.....	483
26.4.2	Pavimentos térreos	484
26.5	Sistemas acima do nível freático	485
26.5.1	Paredes enterradas	485
26.5.1.1	Paredes tipo Munique.....	485
26.5.1.2	Paredes tipo Berlim.....	487
26.5.1.3	Cortinas de estacas moldadas	487
26.5.1.4	Paredes correntes.....	489
26.5.2	Pavimentos térreos.....	493
26.6	Crítérios de seleção	494
26.6.1	Paredes enterradas	494
26.6.2	Pavimentos térreos.....	495
Capítulo 27	Proteção das construções contra a ascensão capilar	497
27.1	Introdução	497
27.2	Humidade ascensional em paredes.....	498
27.3	Materiais utilizados.....	504
27.3.1	Alvenaria.....	504
27.3.2	Enchimento	504
27.3.3	Argamassas	504
27.3.4	Adjuvantes.....	505
27.3.5	Armazenamento dos materiais.....	505
27.4	Conceção para a prevenção da ascensão capilar	505
27.4.1	Secagem da fonte de alimentação da água	508
27.4.2	Tratamento superficial do terreno.....	508
27.4.3	Rebaixamento do nível freático.....	508
27.4.4	Drenagem do terreno	509
27.4.5	Execução de valas periféricas	509
27.5	Crítérios de seleção	512
Capítulo 28	Impermeabilização de pisos enterrados.....	515
28.1	Introdução	515
28.2	Materiais utilizados.....	516
28.2.1	Produtos manufacturados <i>in situ</i>	518
28.2.1.1	Emulsões betuminosas.....	518
28.2.1.2	Argamassas especiais	519
28.2.1.3	Tintas impermeabilizantes	521
28.2.1.4	Resinas	521
28.2.2	Produtos pré-fabricados.....	522
28.2.2.1	Membranas betuminosas modificadas com polímeros (APP ou SBS)	522
28.2.2.2	Membranas de PVC	526
28.2.2.3	Membranas de EPDM/borracha butílica.....	527

28.2.2.4	Membranas de polipropileno e de polietileno	529
28.2.2.5	Membranas bentoníticas.....	529
28.2.2.6	Produtos impregnantes	529
28.2.2.7	Resumo	529
28.3	Conceção dos sistemas de impermeabilização	530
28.4	Sistemas abaixo do nível freático.....	535
28.4.1	Paredes enterradas	535
28.4.2	Pavimentos térreos.....	538
28.5	Sistemas acima do nível freático	541
28.5.1	Paredes enterradas	541
28.5.2	Pavimentos térreos.....	544
28.6	Critérios de seleção	544
28.6.1	Posição do nível freático.....	544
28.6.2	Processo construtivo das contenções periféricas	545
28.6.3	Outros fatores	545
Bibliografia		547
Créditos das Figuras		559
Índice Remissivo		561

Sobre os Autores

Jorge de Brito (jb@civil.ist.utl.pt)

Jorge Manuel Caliço Lopes de Brito é Professor Catedrático na Área Científica da Construção do Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Georrecursos do Instituto Superior Técnico (IST), Universidade de Lisboa. É engenheiro civil, com Mestrado em Engenharia de Estruturas e Doutoramento em Engenharia Civil. É investigador no CERIS – Civil Engineering Research and Innovation for Sustainability do IST, do qual foi presidente em 2017/18, e os seus principais interesses de investigação são materiais e soluções construtivas ecoeficientes, patologia, inspeção, previsão da vida útil, reabilitação e gestão de materiais e soluções construtivas, tecnologia e desempenho de soluções construtivas e avaliação do ciclo de vida de edifícios.

Atualmente é diretor do programa doutoral FCT “*Eco-Construction and Rehabilitation*”, coordenador das comissões W80 (“*Service Life Prediction*”) e W86 (“*Building Pathology*”) da International Council for Research and Innovation in Building and Construction (CIB) e editor-chefe do *Journal of Building Engineering*.

Participou em 27 projetos de investigação com financiamento competitivo (seis internacionais), tendo coordenado seis, e publicou sete livros internacionais, 36 capítulos de livro, 800 artigos em revistas científicas (306 nacionais e 494 internacionais), 518 relatórios (de divulgação técnico-científica e consultoria institucional) e 572 artigos em atas de conferência (306 nacionais e 266 internacionais). Orientou 40 alunos de Doutoramento e 181 alunos de Mestrado.

José Dinis Silvestre (jose.silvestre@tecnico.ulisboa.pt)

José Dinis Silvestre é Professor Auxiliar na Área Científica da Construção do Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Georrecursos do Instituto Superior Técnico (IST), Universidade de Lisboa. É engenheiro civil, com Mestrado em Construção e Doutoramento na área da avaliação do ciclo de vida aplicada a materiais e soluções construtivas. É investigador e vice-presidente do CERIS – Civil Engineering Research and Innovation for Sustainability do IST, sendo responsável pela investigação e internacionalização, e os seus principais interesses de investigação são avaliação do ciclo de vida de edifícios, materiais e soluções construtivas, patologia, inspeção e reabilitação de materiais e soluções construtivas, tecnologia e desempenho de soluções construtivas.

Foi presidente do comité técnico nacional CT171 – “Sustentabilidade nos edifícios”, que acompanha os trabalhos da CT350 do Comité Europeu de Normalização (CEN), entre

janeiro de 2017 e maio de 2019. Atualmente é membro da comissão técnica e verificador do sistema DAPHabitat – “Sistema de Registo de Declarações Ambientais de Produto para o Habitat”.

Participou em 21 projetos de investigação com financiamento competitivo (seis internacionais), estando a coordenar um projeto nacional e a participação do IST num outro, e também num projeto de colaboração internacional. Publicou três livros de apoio ao ensino (um internacional), três capítulos de livro (um internacional), 95 artigos em revistas científicas (11 nacionais e 84 internacionais), mais de 50 relatórios (de divulgação técnico-científica e consultoria institucional) e de 70 artigos em atas de conferência (31 nacionais e 42 internacionais). Orientou ainda dois alunos, e coorientou outros três, de Doutoramento, tendo orientado 14 alunos de Mestrado (10 como orientador principal).

Rui Carrilho Gomes (ruir.carrilho.gomes@tecnico.ulisboa.pt)

Rui Carrilho Gomes é Professor Auxiliar na Área Científica de Geotecnia do Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Georrecursos do Instituto Superior Técnico (IST), Universidade de Lisboa. É engenheiro civil, com Mestrado em Engenharia de Estruturas e Doutoramento na área do comportamento sísmico do terreno e de túneis. É investigador no CERIS – Civil Engineering Research and Innovation for Sustainability do IST, e os seus principais interesses de investigação incluem Engenharia Sísmica Geotécnica, caracterização do terreno, modelação numérica e patologias em estruturas induzidas por movimentos do terreno.

É membro sénior da Ordem dos Engenheiros e dos comités técnicos “Engenharia Sísmica Geotécnica e problemas associados” e “Construção subterrânea em solos moles” da Sociedade Internacional de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Foi vice-presidente do centro de investigação ICIST – Instituto de Engenharia de Estruturas, Território e Construção (2017/18) e membro da direção da Sociedade Portuguesa de Engenharia Sísmica entre 2000 e 2013.

Lidera o projeto internacional AGEO – platform for Atlantic Geohazard Risk Management, financiado pelo FEDER – Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional, que desenvolve uma plataforma para a gestão do risco geológico na região atlântica. Foi membro da equipa de 11 projetos de investigação com financiamento competitivo, editou e foi coautor de um livro sobre avaliação de risco, reabilitação e planeamento urbano, 14 artigos em revistas científicas (quatro nacionais e dez internacionais), mais de 25 relatórios (de divulgação técnico-científica e consultoria institucional) e de 47 artigos em atas de conferência (27 nacionais e 20 internacionais). Orientou ainda duas teses de Doutoramento e 35 dissertações de Mestrado.

Nota Introdutória

Este livro apresenta as tecnologias de contenção e fundação de estruturas correntes, em que a interação entre a estrutura e o terreno assumem, por norma, grande relevância.

Em geral, o desempenho deste tipo de obras é fortemente condicionado pelo comportamento do solo, que muitas vezes não é constante no tempo e cuja avaliação é complexa, e que influencia profundamente as fases de execução.

Este livro aborda de forma eminentemente prática os principais problemas associados à construção de estruturas enterradas associadas a estruturas correntes, sendo bastante abrangente e pedagógico.

O aprofundamento desses temas passa pela consulta de bibliografia especializada, na qual esta publicação não tem a ambição de se inserir.

Os intervenientes nas obras de engenharia civil correntes devem dominar as tecnologias construtivas disponíveis, seja na fase de projeto seja na fase de execução, para assegurar uma boa relação entre a qualidade do produto final e a economia.

As principais tecnologias utilizadas na construção de obras enterradas são descritas e ilustradas com fotografias de obras e esquemas, e são também identificadas as vantagens e desvantagens relativas, conducentes a um campo de aplicação recomendado.

O âmbito deste livro restringe-se aos edifícios correntes, tratando com algum detalhe as técnicas consideradas correntes neste domínio, mesmo sabendo-se que podem existir variações dos procedimentos descritos entre diferentes países e mesmo entre diferentes empreiteiros.

Os temas são tratados numa perspetiva de construção nova, com um objetivo marcadamente didático, pretendendo servir de apoio ao ensino das áreas tecnológicas em cursos de licenciatura e mestrado em Engenharia Civil e áreas afins nas universidades e institutos politécnicos de língua Portuguesa, ambicionando ainda ser um elemento de apoio a profissionais ligados a obras geotécnicas correntes, para os quais é relevante o conhecimento dos procedimentos adequados de execução em obra.

Resumo das matérias tratadas

O Capítulo 1 enquadra o livro em termos da indústria da construção em geral e define os objetivos e âmbito do mesmo.

A Parte I, dedicada às escavações, inicia-se após este capítulo introdutório.

O Capítulo 2 é dedicado às técnicas mais correntes de melhoramento de solos. Inclui uma descrição sumária das técnicas de compactação dinâmica, pré-carga e geodrenos, vibrocompactação, congelação artificial do terreno, injeções e *jet grouting*. Segue-se uma análise comparativa das tecnologias e da conceção das soluções de melhoramento de solos descritas neste capítulo.

O Capítulo 3 é dedicado às soluções de viabilização de escavações e aterros. Inclui uma descrição dos diversos tipos de escavação e aterro, em termos de geometria e equipamento utilizado, assim como partes dedicadas às condicionantes à execução, exigências funcionais e seleção do equipamento. O processo construtivo da entivação propriamente dita e as tecnologias suscetíveis de ser utilizadas são analisadas de seguida, após o que se apresenta uma análise comparativa das tecnologias e da conceção das soluções de entivação descritas neste capítulo.

No Capítulo 4, dedicado às soluções provisórias de drenagem de escavações, começa-se por apresentar uma classificação possível destas técnicas. Passa-se à descrição de cada uma dessas técnicas, divididas em quatro grandes grupos: as de retenção de águas superficiais, as de captação direta, as de rebaixamento do nível freático e os métodos de exclusão. Finalmente, são identificados os critérios de seleção e as situações em que cada técnica é mais adequada.

A Parte II, dedicada às contenções, inicia-se com o Capítulo 5, que serve para apresentar de uma forma global as soluções de contenção periférica. Após algumas considerações gerais, é feita a apresentação sumária das soluções provisórias (incluindo as paredes tipo Berlim, estacas-prancha e pregagens). Segue-se uma descrição sucinta das soluções definitivas correntes (com recurso a pegões, paredes tipo Munique, cortinas de estacas moldadas e paredes moldadas). É feita uma alusão aos métodos e ensaios utilizados no reconhecimento geológico e geotécnico que deve preceder a execução de paredes de contenção periférica. Também precedendo essa mesma execução, é descrita a preparação dos trabalhos. As técnicas de inspeção e o controlo de qualidade durante a fase construtiva de contenções periféricas são descritos em função do processo construtivo. Os problemas suscetíveis de ocorrer durante a execução das diversas soluções de contenção periférica são objeto de algumas considerações. Finalmente, passa-se à seleção do tipo de contenção periférica, em função das características específicas de cada situação. São discutidos em detalhe os critérios utilizados nessa mesma seleção, otimizando os custos e a exequibilidade.

Iniciando a descrição detalhada das diversas soluções mais correntes de contenção periférica, o Capítulo 6 é dedicado às paredes tipo Berlim, de caráter provisório. Após definido o respetivo campo de aplicação, função das suas limitações e potencialidades, descreve-se as vantagens e desvantagens relativamente a outros métodos. O processo de execução destas paredes ocupa a maior parte do capítulo.

Segue-se o Capítulo 7, dedicado às estacas-prancha, geralmente metálicas. É discutido o seu potencial de utilização, assim como as respetivas vantagens e desvantagens relativas. O processo de execução (alinhamento, cravação, escoramento/ancoragem e escavação) é descrito e são apresentadas algumas regras de boa prática.

As pregagens, um método utilizado mais frequentemente na estabilização de taludes do que na consolidação de escavações em edifícios correntes, são o objeto do Capítulo 8. Tal como nos capítulos anteriores, são descritos o campo de aplicação e as vantagens e desvantagens relativas desta técnica, após o que se segue uma descrição dos diversos tipos de pregagem existentes (distinção pregagem *versus* ancoragem). O processo de execução é decomposto nas suas diversas fases e são descritos os cuidados específicos em cada uma, incluindo a fase pós-construção.

As ancoragens, diferindo das pregagens por serem ativas (pré-esforçadas) e suscetíveis de serem utilizadas em diversas soluções de contenções periféricas, tanto provisórias como definitivas, são, para evitar repetições no texto de um mesmo capítulo, tratadas num capítulo à parte, o 9. A estrutura deste capítulo é semelhante à do anterior, ou seja, é descrito o respetivo campo de aplicação, as suas vantagens e desvantagens relativamente às pregagens e o respetivo processo de execução (consistindo em furação, selagem, injeção, nova selagem e aplicação do pré-esforço) e pós-execução.

As paredes tipo Munique, também designadas por Berlim definitivas, são das soluções mais utilizadas em edifícios em meio urbano e são analisadas no Capítulo 10. Segue-se o procedimento de capítulos anteriores, ou seja, define-se o respetivo campo de aplicação, identifica-se as suas vantagens e desvantagens relativas e descreve-se minuciosamente o processo construtivo.

As cortinas de estacas moldadas, uma técnica de contenção periférica cada vez mais utilizada, são apresentadas no Capítulo 11. Neste é definido o seu campo de aplicação e analisadas as respetivas vantagens e desvantagens relativas. O processo construtivo é descrito em detalhe, tanto ao nível das estacas propriamente ditas (as quais podem ser executadas por diversos métodos) como das cortinas (ligação entre estacas e seu suporte horizontal).

Outra solução de contenção periférica em clara expansão são as paredes moldadas no terreno, o objeto do Capítulo 12, que se inicia com a definição do respetivo campo de aplicação recomendado. São discutidas as vantagens e desvantagens relativas do método quando comparado com as suas alternativas habituais. O processo de execução das paredes moldadas é descrito minuciosamente, com particular referência para os detalhes que otimizam o rendimento do mesmo.

O Capítulo 13 serve de apresentação geral aos muros de suporte de terras, aqui considerados como à parte das contenções periféricas na medida em que não estão ligados normalmente à superestrutura do edifício. Após algumas considerações gerais, são apresentadas de forma sucinta as soluções tradicionais (muros em alvenaria de pedra, de

betão ciclópico e de betão simples), as correntes (muros de betão armado e gabiões) e as especiais (muros de terra armada, contenções com geotêxtil, e muros de solo pregado e engradados). São expressos os métodos e ensaios mais geralmente utilizados no reconhecimento geológico e geotécnico associado à execução de muros de suporte, assim como os procedimentos utilizados na preparação dos trabalhos e na inspeção e controlo de qualidade durante a fase construtiva. Para evitar repetições nos capítulos seguintes, é aqui tratada de forma geral a problemática da drenagem dos terrenos a tardo dos muros de suporte. Os problemas de execução normalmente associados aos muros de suporte são então descritos. Finalmente, passa-se à seleção do tipo de muro em função das particularidades de cada situação.

Segue-se então a descrição das diversas soluções de muros de suporte, a qual é iniciada no Capítulo 14 com os muros de gravidade correntes que derivam a sua estabilidade do seu elevado peso próprio e robustez. Definido o respetivo campo de aplicação e analisadas as vantagens e desvantagens, passa-se à descrição dos aspetos específicos relativos a cada solução de muro de gravidade corrente, com particular ênfase no processo construtivo: muros de alvenaria de pedra, muros de betão ciclópico ou de betão simples, soluções mistas ou compósitas, e muros de gabiões.

O Capítulo 15, dedicado à solução mais corrente de muros de suporte, em betão armado, inicia-se com a apresentação do respetivo campo de aplicação e a descrição justificada das suas vantagens e desvantagens relativas. São então apresentadas as especificidades do processo construtivo destes elementos em betão armado que não são comuns a elementos do mesmo material incorporados na superestrutura do edifício, já que estes últimos não são objeto do presente livro.

No Capítulo 16, dedicado aos muros de suporte especiais, são apresentados os aspetos particulares (campo de aplicação, vantagens e desvantagens relativas, processo construtivo e variantes à técnica) relativos a cada um dos seguintes tipos de muros: de terra armada, com geotêxtil, de revestimentos pregados, e engradados.

A Parte III dedicada às fundações tem início com o Capítulo 17, que aborda as fundações diretas ou superficiais e que se inicia exatamente com a classificação das fundações. Passa-se de seguida à descrição sucinta de aspetos relacionados com o reconhecimento geológico e geotécnico para projeto e execução de fundações diretas, indicando os critérios de localização e quantidade dos mesmos. As fundações diretas, tal como outros trabalhos, necessitam de uma preparação específica que é de seguida descrita. A inspeção e controlo de qualidade durante a execução de fundações diretas é objeto de alguns comentários, o mesmo se passando em relação aos problemas que podem surgir durante essa mesma execução. Finalmente, são definidos e comentados os critérios de seleção do tipo de fundação direta.

O Capítulo 18, dedicado ao tipo de fundação direta mais corrente, as sapatas, inicia-se com uma classificação dos tipos existentes de sapatas. É de seguida referido o seu campo

de aplicação e são enumeradas as respetivas vantagens e desvantagens relativas. O processo de execução das sapatas é depois descrito em detalhe.

O capítulo 19 é consagrado aos restantes tipos de fundações diretas, os ensoleiramentos gerais e as grelhas de fundação (hoje caídas em desuso). À semelhança do capítulo anterior, é definido o respetivo campo de aplicação, são identificadas as vantagens e desvantagens relativas e é descrito exhaustivamente o processo de execução.

No Capítulo 20, são tratados os aspetos de carácter geral sobre as fundações profundas, incluindo as semidirectas e as indirectas. São discutidos os critérios de conceção e descritos os principais ensaios necessários ao reconhecimento geológico e geotécnico que deve preceder a execução de fundações profundas, assim como dadas indicações sobre a sua localização no terreno. A preparação deste tipo de trabalhos é muito importante, pelo que é descrita em detalhe, o mesmo se passando com os procedimentos a adotar na inspeção e controlo de qualidade durante a fase de execução. Os problemas suscetíveis de ocorrer nesta fase são identificados, bem como a forma de os detetar. Finalmente, identifica-se os critérios de seleção (económicos, técnicos, geológicos, hidrológicos, etc.) de fundações profundas e o campo de aplicação recomendado para cada solução em função dos mesmos.

A descrição dos diversos tipos de fundações profundas é iniciada no Capítulo 21 com os pegões, um processo cada vez menos usado pela sua forte incidência em mão de obra e riscos envolvidos. Apesar disso, são descritos o seu campo de aplicação, as respetivas vantagens e desvantagens relativas e o faseamento construtivo das suas diversas aplicações.

As estacas cravadas são tratadas em capítulo próprio, o 22, que se inicia com a classificação das estacas segundo diversos pontos de vista. O campo de utilização deste tipo de estacas é identificado, assim como as suas vantagens e desvantagens relativamente às estacas moldadas no terreno. É de seguida descrito o processo de execução dos diversos tipos de estacas cravadas, em função do material de que são feitas: madeira, aço e betão armado.

O Capítulo 23, totalmente dedicado aos diversos tipos de estacas moldadas no terreno, inicia-se com a classificação desses mesmos tipos e com a definição do respetivo campo de aplicação. As vantagens e desvantagens destas estacas relativamente às cravadas são descritas de seguida, após o que se passa à descrição das particularidades de cada tipo de estaca moldada consoante o seu processo de execução: com trado contínuo oco, com trado curto sem tubo moldador (sem qualquer contenção das paredes do furo), com tubo moldador recuperável, com lamas bentónicas, com tubo moldador perdido e sem extração do terreno.

Seguem-se as microestacas, no Capítulo 24, sendo identificado o respetivo campo de aplicação, enumeradas as suas vantagens e desvantagens relativas e descrito detalhadamente o seu processo construtivo.

As barretas, uma solução de fundações usando a técnica das paredes moldadas, são tratadas no Capítulo 25, recorrendo ao mesmo encadeamento de aspetos: campo de aplicação, vantagens e desvantagens relativas e processo de execução.

A Parte IV, dedicada à drenagem e impermeabilização de construções enterradas, começa com o Capítulo 26, que trata a drenagem das construções enterradas e introduz a problemática da humidade nesses mesmos pisos. São descritos os materiais a utilizar neste tipo de trabalhos e descritos os sistemas de drenagem mais correntes em paredes enterradas e pavimentos térreos, divididos consoante a posição do nível freático relativamente à cota inferior do edifício. Identificados os critérios de seleção, são propostas as soluções mais adequadas a cada circunstância.

O aspeto muito específico da proteção das paredes contra a ascensão capilar é tratado no Capítulo 27, em que a origem das humidades suscetíveis de ascender por capilaridade é identificada, o mesmo se passando com os materiais utilizados para resolver este problema. São descritas as tecnologias mais correntes, tanto para paredes tradicionais (em pedra ou terra crua) como para correntes (em alvenaria de tijolo ou blocos de betão). Finalmente, são identificados os critérios de seleção da solução a utilizar, assim como qual a melhor solução para cada situação-tipo.

O Capítulo 28, dedicado à impermeabilização de pisos enterrados, começa com a descrição dos materiais utilizados para este efeito, seguindo-se algumas noções gerais sobre a conceção dos sistemas de impermeabilização e a descrição dos sistemas de impermeabilização mais correntes em paredes enterradas e pavimentos térreos, em função da posição relativa do nível freático. Para selecionar o sistema mais adequado para cada situação-tipo, são identificados critérios racionais.

2.1 Introdução

Toda a obra de engenharia (as fundações de uma estrutura, um túnel ou uma barragem) produz uma alteração nos estados de tensão e de deformação, sendo necessário que este responda adequadamente. Isto implica que não ocorra nem o colapso no terreno, nem deformações que excedam o admissível.

Nos dias de hoje, existe uma variedade de técnicas de melhoramento que permitem construir com segurança estruturas em terrenos que, num passado não muito distante, não eram considerados adequados para esses tipos de utilização.

Outra opção é a substituição do terreno inadequado por outro, como, por exemplo, substituir o terreno natural composto por argilas expansivas por um solo arenoso. Como alternativa a este tipo de solução, tem-se o tratamento do terreno *in situ*, que tem o objetivo de melhorar as suas propriedades, nomeadamente a sua deformabilidade, resistência ao corte e permeabilidade. É este tipo de solução que será desenvolvido neste capítulo.

Nos últimos anos, este tipo de tratamento teve um enorme desenvolvimento e difusão, tanto com o aperfeiçoamento dos métodos mais antigos, como a compactação, a pré-carga e as colunas de brita, como com o aparecimento de técnicas mais modernas, como a vibroflutuação, as injeções (nomeadamente o *jet grouting*, que mereceu ser tratado no Subcapítulo 2.7, por poder adicionalmente ser utilizado como solução de fundação ou cortina de contenção), os tratamentos térmicos, entre outros.

2.2 Compactação dinâmica

O processo de compactação dinâmica, baseado no impacto sucessivo de uma grande massa sobre a superfície do terreno, constitui um processo que remonta a vários séculos atrás. A compactação dinâmica é um método que melhora a capacidade portante de um terreno granular solto, mediante a aplicação de impactos dinâmicos à superfície, gerados pela queda repetida de uma massa de várias toneladas de certa altura (Figura 2.1A).

O sucesso da compactação dinâmica depende, em grande parte, das condições do terreno, pelo que se torna muito importante conhecer a reação do solo às diferentes energias de impacto. A aplicação adequada do método permite um melhoramento significativo das características da zona superficial do terreno, o que possui consideráveis vantagens económicas comparativamente com outro tipo de processo.

2.2.1 Domínio de aplicação

O êxito da compactação dinâmica é bastante condicionado pela natureza do terreno. Este método tem sido aplicado em solos arenosos soltos. A experiência tem mostrado que, para tratar um terreno até cerca de 5 m de profundidade, o assentamento imediato do terreno pode atingir 30 a 50 cm de espessura em areias. Em solos granulares (onde se produz um abaixamento da superfície em redor da cratera – Figura 2.1B), a compactação dinâmica atua através da redução dos vazios do solo, com o conseqüente aumento da sua compacidade relativa, o que melhora as suas características resistentes e reduz a sua deformabilidade e permeabilidade.

Quando o solo se encontra saturado, parte da energia de impacto transmite-se à água intersticial, o que aumenta a pressão dos poros. Assim, em solos abaixo do nível freático, a eficácia do tratamento diminui. Nesta situação, dever-se-á usar níveis de energia de impacto mais baixo, de modo a não dar origem à liquefação do terreno.

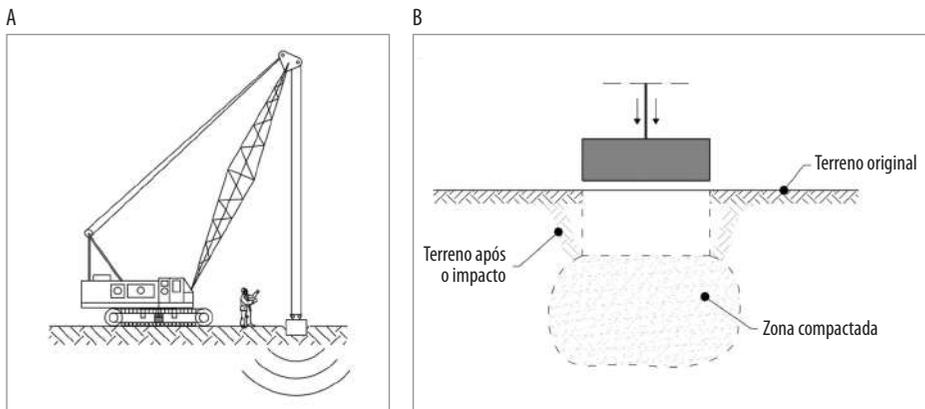


Figura 2.1 Compactação dinâmica (A) e zona densificada em solos granulares (B)

2.2.2 Equipamento e processo de execução

Este método consiste na queda repetida sobre o terreno de uma grande massa, em geral, entre 10 e 40 toneladas, que é solta em queda livre de alturas de 14 a 40 m (normalmente, 20 m). Os equipamentos a utilizar, devido ao seu grande porte (Figura 2.2), podem ocasionar problemas de estabilidade do terreno. As massas utilizadas são em betão armado ou metálicas, estas últimas mais duradouras, e têm uma forma quadrada, normalmente com uma secção de 4 a 6 m².

É também usual utilizar-se um equipamento mais pequeno, que consiste num grande martelo hidráulico colocado sobre uma retroescavadora ou uma grua assente em lagartas. Este equipamento tem menor eficiência de compactação, mas tem a vantagem de poder

O sistema de tela impermeável consiste na montagem de cavaletes sobre o leito do rio ou lago, formando uma cortina de exclusão sobre a qual é aplicada uma tela impermeável em policloreto de vinilo (PVC) (Figura 3.21). O próprio peso da água mantém a tela na sua posição. A água é bombeada para o exterior da zona de obra depois de terminada a cortina.

Ambos os métodos têm a vantagem de serem de execução rápida e flexível, não recorrendo a equipamento pesado (em particular, o método das mangas de borracha). No entanto, o facto de não atingirem nenhum estrato impermeável obriga a controlar o nível de água no interior da obra através de bombagem, uma vez que esta tenderá a atravessar a soleira da escavação por pressão hidrostática. Será, por isso, necessário prever alguma redundância no sistema de bombagem e garantir o fornecimento ininterrupto de energia a estes sistemas, para proteção da obra, dos trabalhadores e do equipamento aí instalados.

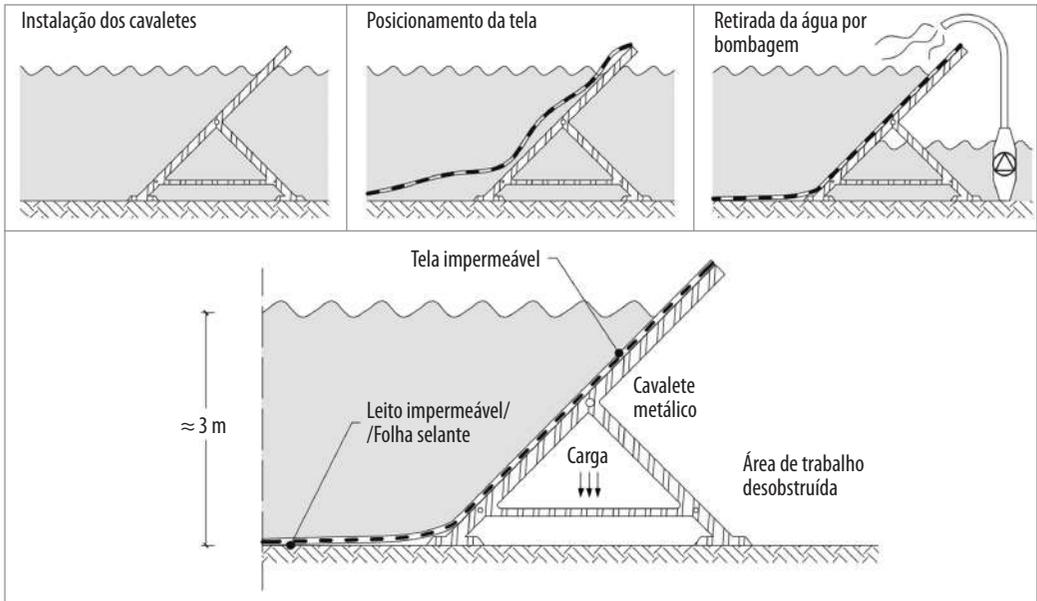


Figura 3.21 Escoramento provisório para execução de fundações

3.6 Critérios de seleção

Apesar de os sistemas de entivação tradicionais tenderem a ser substituídos pelas suas alternativas mais recentes em elementos pré-fabricados, existe ainda uma variedade de casos em que a flexibilidade do trabalho da madeira proporciona a estes sistemas uma capacidade de adaptação a situações singulares dificilmente igualável pelos sistemas modulares. Deve, por isso, deixar-se a salvaguarda de que a diminuição na utilização destes sistemas irá, tão-somente, até ao ponto em que seja possível a aplicação rápida



Figura 6.4 Perfil metálico introduzido em furo previamente executado



Figura 6.5 Máquina de trado contínuo



Figura 6.6 Perfis biselados na ponta

A máquina de furação é posicionada no local assinalado com o varão, o qual é retirado do solo. Em seguida, com ajuda do nível de bolha, verifica-se a verticalidade do mastro da máquina. Começa-se a furar (antes, realiza-se com a mão um pequeno buraco para evitar desvios do trado logo no início da furação) e, após 0,5 m de furação, verifica-se novamente a verticalidade, mas agora do próprio trado (Figura 6.7). Retoma-se a furação e, quando o último terço do trado estiver fora do solo, faz-se nova verificação da verticalidade. Com o auxílio de uma enxada, retira-se para os lados a terra que vai saindo do furo. Quando o primeiro troço do parafuso estiver na totalidade dentro do terreno, suspende-se a furação e coloca-se um novo troço (Figura 6.8), e assim sucessivamente, até se atingir a profundidade pretendida (definida no projeto).

Esta profundidade deve ser, pelo menos, 2 m abaixo da cota inferior das fundações da futura construção, de modo a permitir o encastramento do perfil no terreno. Adicionalmente, o perfil deve ter o comprimento suficiente para que a sua extremidade superior fique alguns decímetros acima da cota de escavação geral (Figura 6.9), de forma a permitir a ligação dos vários perfis através de um perfil horizontal de coroamento.

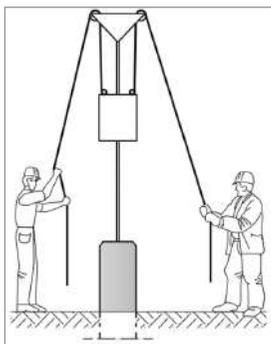


Figura 7.7 Bate-estacas manual

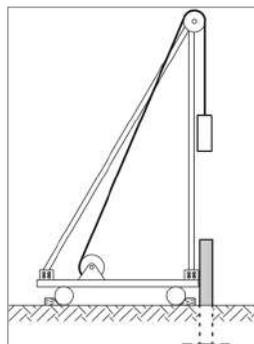


Figura 7.8 Bate-estacas de queda livre

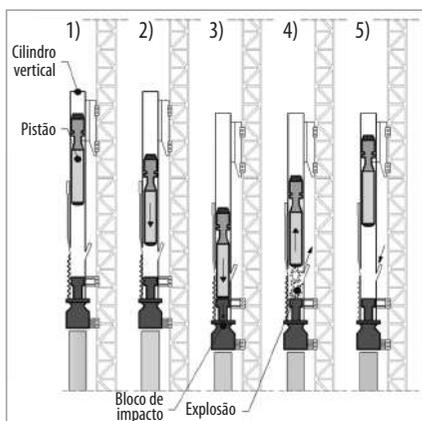


Figura 7.9 Etapas de funcionamento do martelo a diesel

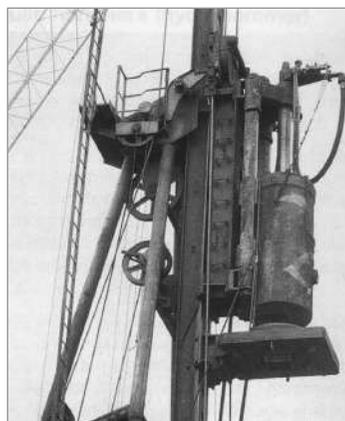


Figura 7.10 Martelo a vapor de impacto simples

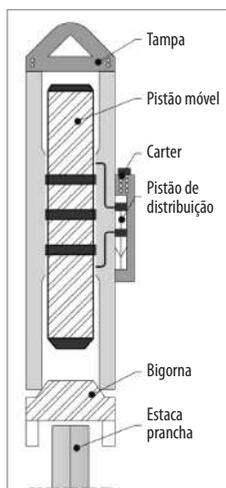


Figura 7.11 Martelo a ar/vapor de duplo efeito



Figura 7.12 Martelo vibratório

- “Mãos”: com conector (Figura 7.20) permitem o transporte das estacas na vertical; sem conector só permitem o transporte das estacas na horizontal;
- Peças de união ou de guiamento: estabelecem a ligação entre estacas para mais fácil engate (Figura 7.21);
- Capacete de proteção (Figura 7.22): utilizado para transmitir a carga, imposta pelo martelo de impacto, para a estaca (o molde metálico), evitando, no entanto, a deterioração local da estaca e do próprio martelo (através de componentes de madeira ou plástico).



Figura 7.19 Passadiço de apoio

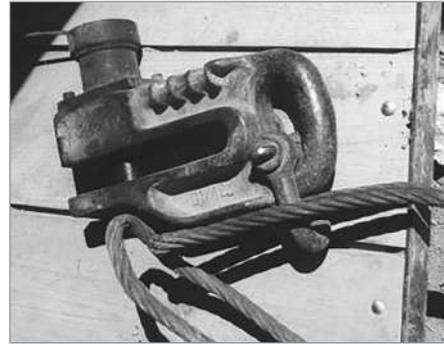


Figura 7.20 “Mão” com conector

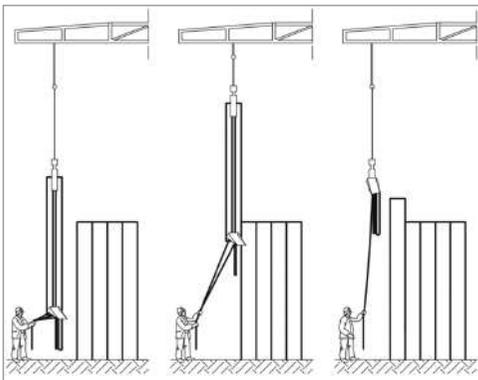


Figura 7.21 Engate de uma estaca nas restantes com recurso a uma peça de guiamento

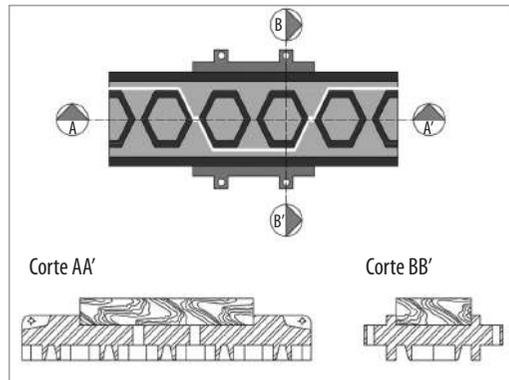


Figura 7.22 Capacete de cravação

7.4.3 Cravação das estacas-prancha

Para cravar as estacas-prancha com desvios mínimos em relação ao projeto, quer na vertical quer em planta, o trabalho deve ser conduzido mais em jeito do que em força. Mesmo em terrenos uniformes, o atrito gerado no guiamento lateral através do bordo de engate dá necessariamente origem a assimetrias. Adicionalmente, as condições difíceis de terreno

No dimensionamento das pregagens, o mecanismo fundamental é a mobilização do atrito ao longo das pregagens, o que só acontece com a deformação do maciço (por as pregagens serem geralmente passivas).

8.2 Campo de aplicação

As pregagens são uma técnica extremamente versátil, já que a sua utilização é viável em praticamente qualquer tipo de terreno (de maciços rochosos diaclasados a maciços arenosos ou argilosos), independentemente da posição do nível freático, excetuando-se os solos com características mecânicas muito fracas. A sua aplicação principal é a estabilização de taludes naturais (Figura 8.2) ou taludes de escavação (Figura 8.3), tanto temporária como permanente, sendo que surgem, muitas vezes, associadas, em zonas localizadas, a outras técnicas de contenção periférica (Figuras 8.4 e 8.5), com a função de baixar a cota da plataforma de trabalho e com custos mais reduzidos.

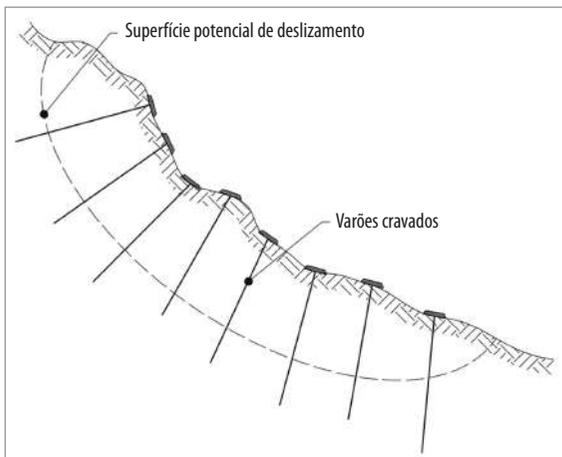


Figura 8.2 Estabilização de um talude natural com pregagens cravadas no terreno

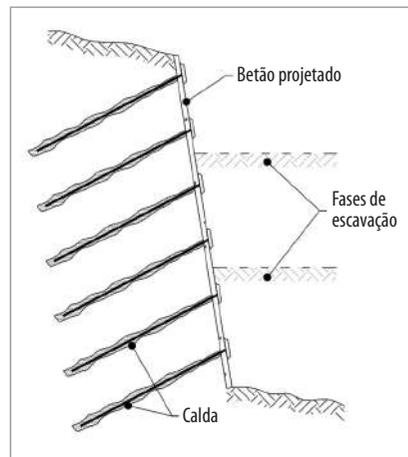


Figura 8.3 Estabilização de um talude de escavação com pregagens



Figura 8.4 Talude pregado junto a parede tipo Munique

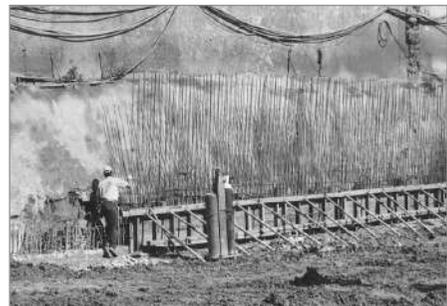


Figura 8.5 Talude pregado junto a parede moldada

- Tempo de betonagem, anotando o seu início e fim e eventuais interrupções;
- Gráfico de subida do betão;
- Altura betonada;
- Posição da(s) tremonha(s) durante o lançamento do betão;
- Qualquer anomalia percebida durante a execução do painel.

12.4.10 Painéis pré-fabricados

Em alternativa à execução das paredes *in situ*, pode-se recorrer à pré-fabricação dos painéis (Figura 12.37) que são inseridos na vala (de largura ligeiramente maior do que a dos painéis) executada com o auxílio de lamas bentoníticas. As lamas são substituídas por calda de selagem, antes ou depois da introdução dos elementos pré-fabricados, os quais terão de ser mantidos suspensos dos muros-guia até à presa da calda. Esta calda assegura também a fundação da parede. Em alternativa, a calda pode ser utilizada desde o princípio para estabilizar a escavação.

A velocidade de endurecimento da calda deverá ser condicionada à altura em que é colocada na vala: desde o início da escavação, após esta, mas antes da introdução dos painéis ou só após esta última operação. Quanto à sua resistência após a presa, a mesma deve ser suficiente para permitir o trabalho nos painéis adjacentes sem um grande período de espera, mas não excessiva, para não dificultar a escavação correta da junta, que necessita sempre que seja retirada uma parte da calda.

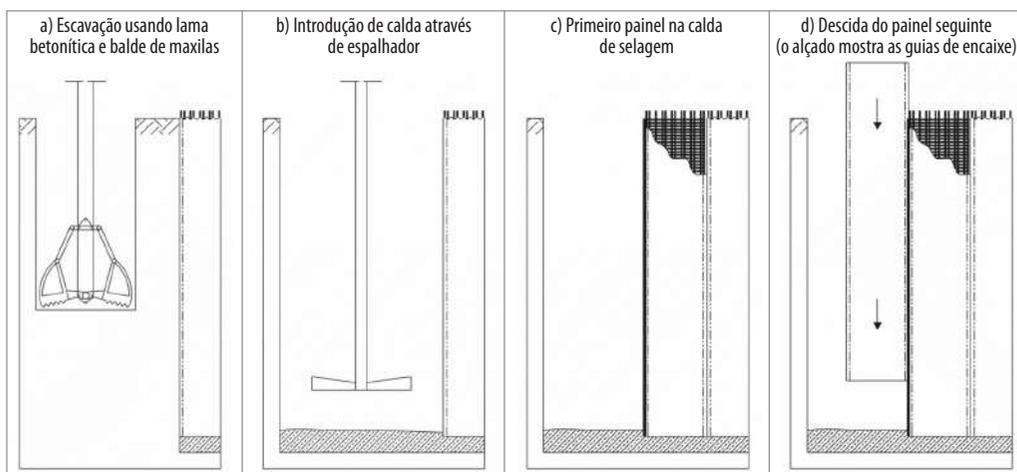


Figura 12.37 Fases de execução de paredes moldadas pré-fabricadas

Esta técnica tem como vantagens comuns às das paredes moldadas *in situ* o facto de permitir realizar paredes relativamente impermeáveis, muito rígidas (menor deformação do

13.7 Sistemas de drenagem

No projeto de muros de suporte, um sistema de drenagem eficiente e preferencialmente redundante deve ser sempre implementado, de forma a assegurar o seu funcionamento durante o período de vida útil do muro de suporte. A água livre e a água no terreno podem provocar acréscimo significativo do impulso total (impulso do terreno somado ao impulso da água). Muitos dos acidentes envolvendo muros de suporte estão relacionados com este efeito.

Existem várias soluções para a drenagem das águas do terreno de tardo de um muro (Figura 13.12). Se for permeável (constituído por material granular com reduzida quantidade de finos), o aterro ou terreno de tardo facilita a drenagem da água que se realiza por furos [bueiros (Figura 13.12A)] de atravessamento, um pouco acima do nível das fundações e com espaçamento de 2 a 3 m em altura e de 4 a 6 m longitudinalmente. Em alternativa, recorre-se a um tubo drenante colocado longitudinalmente na base do aterro (Figura 13.12B). Para assegurar redundância, a combinação dos bueiros e do dreno longitudinal é recomendável.

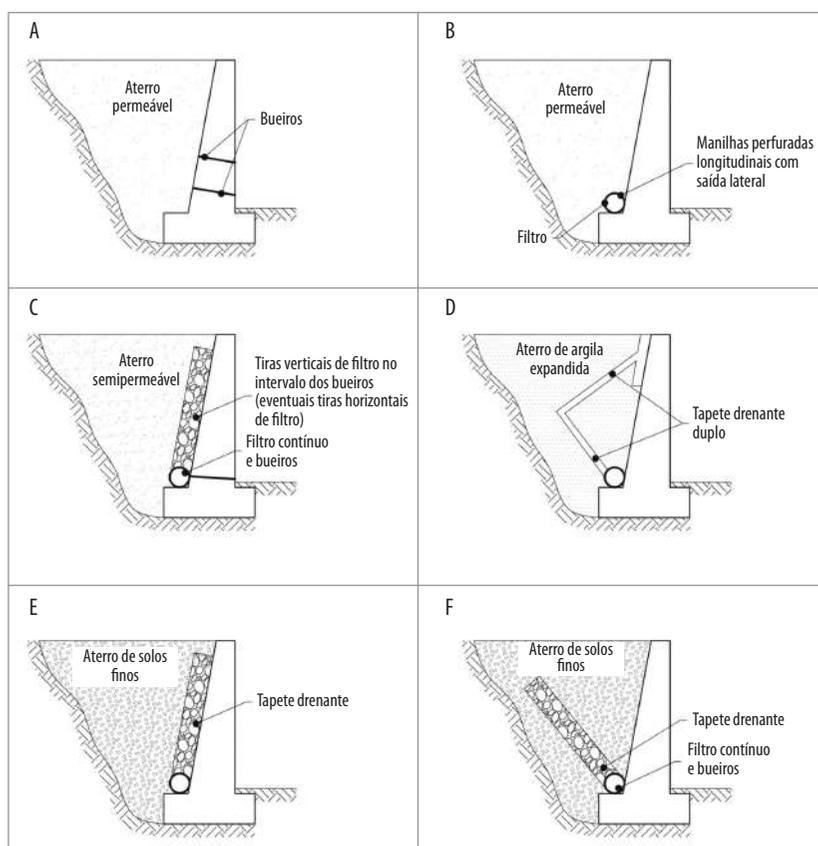


Figura 13.12 Dispositivos de drenagem de muros de suporte

Os muros de gabiões, uma solução moderna, têm conhecido um grande incremento em Portugal, sobretudo nas obras viárias (Figura 14.3), devido à boa integração paisagística que conferem e da sua versatilidade, sendo aplicados em arranjos exteriores, revestimento de canais, defesas fluviais e marítimas, entre outras situações.



Figura 14.1 Muros de alvenaria de pedra ordinária seca e aparelhada argamassada



Figura 14.2 Muro de betão ciclópico argamassado em contexto urbano



Figura 14.3 Dois exemplos da utilização de gabiões, junto a obras rodoviárias

Os muros de gravidade tanto podem ser utilizados numa zona de aterro (Figura 14.4A), como numa zona de escavação (Figuras 14.4B e 14.4C). Em ambos os casos, há um aterro no tardo do muro a realizar *a posteriori*.

A função estabilizadora de uma estrutura de suporte como os muros de gravidade pode manifestar-se em duas situações distintas, consoante o processo de instabilização do maciço o tenha levado à rotura antes da construção do muro ou não: i) contenção de taludes instáveis; e ii) reforço de taludes não instabilizados.

Os muros de blocos de betão ciclópico (Figura 14.5), por vezes empregues nas obras portuárias, são pré-fabricados em estaleiro, levados para o local em barcaças e afundados, sendo a sua posição fixada com auxílio de mergulhadores. Em geral, são assentes numa camada de nivelamento do enrocamento previamente depositada no local.