

ÍNDICE

Simbologia, Alfabeto latino, Alfabeto grego, Siglas	xi
1 AS EQUAÇÕES CONSTITUTIVAS NA MODELAÇÃO GEOTÉCNICA	1
2 A MODELAÇÃO NA MECÂNICA DOS SOLOS CLÁSSICA	7
2.1 Considerações sobre o material solo num contexto mais geral de outros materiais normalmente usados em engenharia civil	9
2.1.1 Solo, um material particulado	10
2.1.1.1 Rotura	10
2.1.1.2 Deformação volumétrica. Dilatância	13
2.1.2 Materiais sólidos	13
2.1.2.1 Rotura	14
2.1.2.2 Fratura. Resiliência e tenacidade	15
2.1.2.3 Deformabilidade volumétrica	19
2.2 A mecânica clássica e a modelação estrutural	19
2.2.1 Estruturas de solos	19
2.2.1.1 Resistência	19
2.2.1.2 Deformabilidade	20
2.2.2 Estruturas de materiais sólidos	22
2.2.2.1 Resistência	22
2.2.2.2 Deformabilidade	24
2.3 Considerações finais	25
3 A MODELAÇÃO E OS MÉTODOS DE ANÁLISE	27
3.1 Requisitos teóricos de uma análise estrutural	30
3.1.1 Condição de equilíbrio	30

3.1.2	Condição de compatibilidade	31
3.1.3	Comportamento constitutivo	32
3.1.4	Condições de fronteira	33
3.1.5	Trabalho conjugado	33
3.2	Métodos correntes de análise estrutural	36
3.2.1	Métodos ditos exatos (soluções exatas)	36
3.2.2	Métodos convencionais	37
3.3	Métodos numéricos	39
	Exemplos de aplicação	41
4	CRITÉRIOS DE CEDÊNCIA	53
4.1	Considerações gerais sobre critérios de cedência	55
4.2	Espaço das tensões principais	56
4.3	Descrição de alguns critérios de cedência	64
4.3.1	CrITÉRIOS de cedência baseados num só parâmetro	64
4.3.2	CrITÉRIOS de cedência baseados em dois parâmetros	67
4.3.3	CrITÉRIOS de cedência baseados em modificações do critério de Mohr-Coulomb	73
	Exemplos de aplicação	78
5	MÉTODOS NUMÉRICOS	93
5.1	Método das diferenças finitas	95
5.1.1	Conceitos e formulação	95
5.1.2	Consolidação unidimensional	100
5.1.2.1	Formulação	100
5.1.2.2	Condições de fronteira	102
5.1.2.3	Esquema explícito	103
5.1.2.4	Esquema implícito	105
5.2	Método dos elementos finitos	108
5.2.1	Discretização do domínio	109
5.2.2	Representação das variáveis primárias nos elementos	111
5.2.2.1	Funções de interpolação	111
5.2.2.2	Funções de forma	118
5.2.3	Estabelecimento das equações para a resolução do problema	121
5.2.3.1	Métodos dos resíduos pesados	121

5.2.3.2	Aplicação do método de Galerkin ao escoamento em meios porosos	124
5.2.3.3	Matriz de permeabilidade de um elemento plano triangular do primeiro grau	129
5.2.3.4	Matriz de permeabilidade de um elemento plano quadrangular de 4 pontos nodais	129
5.2.3.5	Quadratura de Gauss	132
5.2.3.6	Aplicação do <i>MEF</i> ao estado plano de deformação	138
5.2.4	Equações globais	142
5.2.5	Condições de fronteira	144
	Exemplos de aplicação	145
6	COMPORTAMENTO HIPERELÁSTICO, ELÁSTICO E HIPOELÁSTICO	165
6.1	Algumas considerações de natureza teórica sobre o comportamento elástico	167
6.2	Equações constitutivas elásticas lineares	169
6.3	Quantificação dos parâmetros	170
	Exemplos de aplicação	172
7	LEIS CONSTITUTIVAS PARA COMPORTAMENTO ELÁSTICO VARIÁVEL	179
7.1	Modelo hiperbólico	182
7.2	Modelo <i>K-G</i>	192
	Exemplos de aplicação	199
8	COMPORTAMENTO ELASTOPLÁSTICO BASEADO NO CRITÉRIO DE CEDÊNCIA DE MOHR-COULOMB	213
8.1	Comportamento elástico perfeitamente plástico	216
8.2	Comportamento elastoplástico com endurecimento e amolecimento	228
8.2.1	Comportamento elastoplástico com endurecimento	231
8.2.2	Comportamento elastoplástico com amolecimento	240
8.2.3	Comportamento elastoplástico com resistência dependente de um parâmetro de estado	246

8.3	Considerações gerais sobre o modelo de comportamento de solos baseado no critério de cedência de <i>MC</i> bem como extensões desse modelo por incorporação de princípios fundamentais da elastoplasticidade	251
	Exemplos de aplicação	256
9	COMPORTAMENTO ELASTOPLÁSTICO BASEADO NO CONCEITO DOS ESTADOS CRÍTICOS	265
9.1	Os modelos Cam Clay	268
9.1.1	Resistência ao corte	271
9.1.2	Variação de volume	271
9.1.3	Cedência	274
9.2	Equações constitutivas no modelo <i>CC</i>	277
9.2.1	Comportamento drenado do solo	277
9.2.1.1	Comportamento elástico	277
9.2.1.2	Critério de cedência	278
9.2.1.3	Lei de fluxo plástico	279
9.2.1.4	Lei de endurecimento	280
9.2.2	Comportamento não drenado do solo	286
9.3	Modelo que combina o de <i>MC</i> com o baseado nos estados críticos	287
	Exemplos de aplicação	289
10	EQUAÇÕES CONSTITUTIVAS APLICÁVEIS A SOLOS NÃO SATURADOS	299
10.1	Sobre a utilidade prática da mecânica dos solos não saturados na engenharia geotécnica	302
10.2	A sucção	303
10.2.1	Conceito de potencial da sucção	303
10.2.2	A sucção capilar	304
10.3	Relação entre a sucção e a humidade relativa	307
10.4	Propriedades de retenção da água por parte dos solos. Curvas de retenção	309
10.5	Tensões a considerar nos solos não saturados para descrever o seu comportamento mecânico	313
10.5.1	Tensões a considerar nos solos não saturados	314
10.5.1.1	O uso de duas variáveis de estado na descrição do comportamento dos solos não saturados	315

10.5.1.2	Superfícies de estado	315
10.5.1.3	Resistência ao corte de solos não saturados	317
10.6	Modelos constitutivos para solos não saturados com base na mecânica dos solos dos estados críticos	320
10.6.1	Modelo <i>BBM</i>	321
10.6.1.1	Formulação do modelo elastoplástico	322
10.6.1.2	Superfícies de cedência do modelo	322
10.6.1.3	Comportamento do solo não saturado submetido a compressão isotrópica com sucção controlada	323
10.6.1.4	Leis de endurecimento relativamente às curvas de cedência <i>LC</i> e <i>SI</i>	331
10.6.1.5	Comportamento do solo não saturado quando submetido a tensão de corte em compressão triaxial	331
10.6.1.6	Deformações elásticas associadas à tensão deviatórica	336
10.6.2	Gama de valores típicos dos parâmetros do modelo <i>BBM</i>	336
10.7	Algumas considerações sobre o uso da tensão efetiva em função da escolha das variáveis de tensão nos solos não saturados	337
	Exemplos de aplicação	346
	BIBLIOGRAFIA	371
	ÍNDICE REMISSIVO	381