

Sumário

Fundamentos de geotécnica e mecânica dos solos

CAPÍTULO 1 - APRESENTAÇÃO DO CURSO - 1

CAPÍTULO 2 - DEFINIÇÃO DE SOLO E ROCHA - 5

2.1 Solo - 5

2.2 Rocha - 5

CAPÍTULO 3 - A TERRA, SUA IDADE E MOVIMENTAÇÕES DA CROSTA - 7

CAPÍTULO 4 - MINERAIS E ROCHAS - 19

4.1 Introdução - 19

4.1.1 Mineral - 19

4.1.2 Rocha - 19

4.1.3 Magma - 19

4.2 Minerais - 19

4.2.1 Propriedades Físicas e Óticas dos Minerais - 20

4.3 Principais Minerais - 21

4.4 Rochas - 24

4.4.1 O Ciclo Geológico - Solo/Rocha - 24

4.5 Rochas Magmáticas ou Ígneas - 27

4.5.1 Granulometria - 27

4.5.2 Ocorrência de Rochas Magmáticas - 28

4.5.3 Principais Rochas Magmáticas (copiado de Leinz & Amaral, 1989) - 29

4.6 Rochas Sedimentares - 30

4.6.1 Principais Rochas Sedimentares - 32

4.7 Rochas Metamórficas - 33

4.7.1 Principais Rochas Metamórficas - 34

4.8 Perturbações e Descontinuidades das Rochas - 36

4.8.1 Direção e Mergulho - 36

4.8.2 Estratificação - 36

4.8.3 Dobras - 37

4.8.4 Diáclases ou Juntas - 39

4.8.5 Falhas - 39

4.9 Exercícios Propostos - 40

CAPÍTULO 5 - INTEMPERISMO - 43

5.1 Intemperismo Físico, ou Mecânico ou Desintegração - 43

5.2 Intemperismo Químico ou Decomposição - 43

5.3 Solução ou Carbonatação - 44

5.4 Exemplo de Intemperismo - 44

5.5 Exercícios Propostos - 45

CAPÍTULO 6 – ÁGUA NA NATUREZA - 47

6.1 Aqüíferos e Aquicludes - Permeabilidade - 48

6.1.1 Permeabilidade - 48

6.2 Lençóis d'Água Empoleirados e Artesianos - 48

6.3 Águas higroscópica, adesiva, de constituição e de absorção - 50

6.4 Capacidade de Transporte de Sedimentos pela Água - 50

CAPÍTULO 7 – FORMAÇÃO DE SOLOS - 53

7.1 Solos Residuais - 53

7.2 Solos Marinheiros - 56

7.2.1 Oscilações do Nível do Mar - 56

7.2.2 Transporte de Sedimentos pelo Mar - 58

7.2.3 Perfil Típico de Solo Marinho - 62

7.3 Solos Aluviais - Rios - 66

7.4 Solos Lacustres - 68

7.5 Solos Eólicos - 68

7.6 Solos Coluviais - 69

7.7 Solos Glaciais - 69

7.8 Exercícios Propostos - 69

CAPÍTULO 8 – ÍNDICES FÍSICOS - 71

8.1 Fases do Solo - 71

8.2 Índices Físicos - 72

8.2.1 Relações Entre Volumes - 73

8.2.2 Relações de Pesos (ou Massas) - 74

8.3 Relações Entre Índices Físicos - 75

8.4 Peso Específico Submerso (γ_{sub}) - 77

8.5 Exercícios Resolvidos - 77

8.6 Exercícios Propostos - 82

CAPÍTULO 9 – FASE SÓLIDA DOS SOLOS E MINERALOGIA DAS ARGILAS - 83

9.1 Introdução - 83

9.2 Minerais - 83

9.3 Matéria Orgânica - 83

9.4 Depósitos Criados pelo Homem - 84

9.5 Minerais Argílicos - 85

9.5.1 Tetraedro e Lâmina de Sílica - 85

9.5.2 Octaedro e Lâmina de Alumina (Gibbsita) - 86

9.5.3 Superfície Específica - 87

9.5.4 Ligações Atômicas - 88

9.5.5 Grupos Gerais de Minerais Argílicos - 89

9.5.6 Comparações e Características Comuns dos Minerais Argílicos - 93

9.6 Exercícios Propostos - 95

CAPÍTULO 10 – GRANULOMETRIA - 97

- 10.1 Introdução - 97
- 10.2 Curva granulométrica ou textura - 99
- 10.3 Granulometria por Peneiramento - 102
- 10.4 Granulometria por sedimentação - 105
 - 10.4.1 Princípios do Ensaio - Lei de Stokes - 105
 - 10.4.2 Aplicação da Lei de Stokes para Solos - 105
 - 10.4.3 Restrições à Lei de Stokes - 107
 - 10.4.4 Aplicações de Granulometria para Solos Finos - 107
- 10.5 Sedimentação e Peneiramento - 108
- 10.6 Exercícios Propostos - 109

CAPÍTULO 11 – LIMITES DE ATTERBERG (CONSISTÊNCIA) - 111

- 11.1 Introdução - 111
- 11.2 Estados de Consistência - 111
- 11.3 Determinação dos Limites de Consistência - 116
 - 11.3.1 Limite de Liquidez - 116
 - 11.3.2 Limite de Plasticidade - 117
 - 11.3.3 Limite de Contração - 118
 - 11.3.4 Observações Gerais sobre os Limites de Consistência - 120
- 11.4 Exercícios Propostos - 121

CAPÍTULO 12 – MICRO E MACROESTRUTURA DOS SOLOS - 123

- 12.1 Introdução - 123
- 12.2 Solos Granulares ou não Coesivos Sedimentares - 123
- 12.3 Solos Coesivos Sedimentares - 125
- 12.4 Resistência à Compressão Simples, Consistência, Sensibilidade E Tixotropia - 127
- 12.5 Macroestrutura dos Solos - 129
- 12.6 Visualizações Históricas da Microestrutura dos Solos - 131
- 12.7 Exercícios Propostos - 133

CAPÍTULO 13 – CLASSIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DE SOLOS - 135

- 13.1 Introdução - 135
- 13.2 Classificação por Textura - 135
- 13.3 Sistema de Classificação AASHTO ou HRB - 137
- 13.4 Ábaco de Casagrande - 140
- 13.5 Sistema Unificado de Classificação - SUC - 143
- 13.6 Procedimento de campo para o SUC - 146
 - 13.6.1 Introdução - 146
 - 13.6.2 Procedimento de Campo para Solos Grossos - 146
 - 13.6.3 Métodos para Identificação de Campo de Solos Finos ou Fração Fina e Solos Orgânicos - 148
- 13.7 Descrição de Solos - 150
- 13.8 considerações sobre os sistemas de classificação - 156
- 13.9 Nomes Típicos de Solos - 157
- 13.10 Exemplo de uso de Classificação de Solos - 160
- 13.11 Exercícios Propostos - 162

CAPÍTULO 14 – PERMEABILIDADE - 169

- 14.1 Introdução - 169
- 14.2 Considerações Gerais - 169
 - 14.2.1 Fluxo Laminar - 169
 - 14.2.2 Fluxo Turbulento - 169
 - 14.2.3 Equação de Bernouilli - 170
 - 14.2.4 Gradiente Hidráulico - 171
 - 14.2.5 Relação Entre Gradiente Hidráulico e Velocidade de Fluxos - 172
- 14.3 Permeabilidade - Lei de Darcy - 173
- 14.4 Permeômetros - 175
 - 14.4.1 Permeômetro de Nível Constante - 175
 - 14.4.2 Permeômetro de Nível Variável - 176
- 14.5 Fatores que Influem na Permeabilidade - 177
 - 14.5.1 Efeito da Granulometria - 178
 - 14.5.2 Efeito do Fluido no Solo - 178
 - 14.5.3 Efeito do Índice de Vazios em Areia - 179
 - 14.5.4 Efeito do Índice de Vazios em Argila - 181
 - 14.5.5 Efeito Combinado de Granulometria e Índice de Vazios - 181
 - 14.5.6 Efeito do Arranjo Estrutural das Partículas - 182
 - 14.5.7 Efeito da Saturação do Solo - 183
- 14.6 Permeabilidade e Fluxo em Solos Estratificados - 183
 - 14.6.1 Fluxo Paralelo à Estratificação, Direção x - 183
 - 14.6.2 Fluxo Perpendicular à Estratificação, Direção y - 184
- 14.7 Ensaios de Permeabilidade “In Situ” - 185
 - 14.7.1 Um Teste de Bombeamento - 185
 - 14.7.2 Um Teste de Esgotamento (Recuperação) - 187
- 14.8 Exercícios Propostos - 187
- 14.9 Apêndice: Derivação da Expressão Teórica da Permeabilidade - 188
 - 14.9.1 Fluxo em Tubos Circulares - Lei de Poiseuille - 188
 - 14.9.2 Extensão da Equação do Fluxo Para Outras Formas - 190
 - 14.9.3 Equação Geral da Vazão - 191
 - 14.9.4 Conceito de Raio Hidráulico nos Poros de Solos - 192

CAPÍTULO 15 - CAPILARIDADE - 195

- 15.1 Introdução - 195
- 15.2 Explicação da Tensão Superficial - 195
- 15.3 Tensão Capilar - 196
 - 15.3.1 Cálculo de Raio do Menisco (r) - 197
 - 15.3.2 Cálculo da Tensão Capilar Máxima - 197
 - 15.3.3 Força de Tensão Capilar = Peso do Cilindro de Água - 198
- 15.4 Sucção Máxima - 198
- 15.5 Variação do Ângulo α e Seção Variável - 199
- 15.6 Tensão Capilar em Solos - 199
- 15.7 Coesão Aparente nos Solos - 200
- 15.8 Exercícios resolvidos - 201
- 15.9 Exercícios propostos - 210

CAPÍTULO 16 - TENSÕES EFETIVAS, NEUTRAS E TOTAIS – TENSÕES GEOSTÁTICAS - 211

- 16.1 Introdução - 211
- 16.2 O Princípio da Tensão Efetiva - Equação de Terzaghi - 211
- 16.3 Solos Parcialmente Saturados – Equação de Bishop - 213
- 16.4 Cálculo de tensões efetivas para solos saturados - 215
 - 16.4.1 Cálculo das Tensões Totais - 215
 - 16.4.2 Cálculo das tensões neutras - 216
 - 16.4.2.1. Caso Hidrostático - 217
 - 16.4.2.2. Caso Hidrocinético - Movimento Unidimensional - 218
 - 16.4.2.3 Caso Hidrocinético - Movimento Bidimensional - 220
 - 16.4.2.4 Caso Hidrodinâmico - 220
- 16.5 Exercícios Resolvidos - 221
- 16.6 Exercícios Propostos - 224

CAPÍTULO 17 - PERCOLAÇÃO DE ÁGUA NOS SOLOS - 227

- 17.1 Areia Movediça - 227
- 17.2 Rede de Fluxo - 228
 - 17.2.1 Equação de Laplace - 228
 - 17.2.2 Métodos de Solução da Equação de Laplace - 229
 - 17.2.3 Propriedades da Rede de Fluxo Formada por “Quadrados” - 230
 - 17.2.4 Método Gráfico para Construção de Rede de Fluxo - 232
 - 17.2.4.1 Recomendações para Iniciantes - 232
 - 17.2.4.2 Exemplos de Redes de Fluxo Confinado - 234
 - 17.2.5 - Fluxo Não Confinado - 238
 - 17.2.5.1 Correção da Parábola Básica na Saída - 243
 - 17.2.6 Fluxo em Solos Anisotrópicos - 245
 - 17.2.7 Mudança de Camada no Fluxo - 247
- 17.3 Filtros de Proteção - 250
 - 17.3.1 Critério de Erosão - 250
 - 17.3.2 Critério de Permeabilidade - 252
 - 17.3.3 Projeto de Filtro - 252
 - 17.3.4 Geotêxteis como Filtros de Proteção - 253
- 17.4 Exercícios Resolvidos - 255
- 17.5 Roteiro de Estudos - 257

CAPÍTULO 18 - TENSÕES NO SOLO DEVIDAS A CARGAS EXTERNAS - 259

- 18.1. Introdução - 259
- 18.2. Método Aproximado 2:1 - 259
- 18.3. Métodos da Teoria da Elasticidade - 261
 - 18.3.1. Teoria de Boussinesq (Carga Puntual) - 261
 - 18.3.2 Isóbaras e Bulbos de Tensões - 266
 - 18.3.3. Teoria de Westergaard (Carga Puntual) - 267
 - 18.3.4. Teoria de Frolich (Carga Puntual) - 270
- 18.4. Extensões dos Métodos da Teoria da Elasticidade para linhas e áreas carregadas - 272
 - 18.4.1 Introdução - 272
 - 18.4.2. Linha de Carga Uniforme - Comprimento Infinito - 272

18.4.3. Área retangular de comprimento infinito, uniformemente carregada - Sapata contínua -	
273	
18.4.4. Área Retangular Uniformemente Carregada -	275
18.4.4.1 Solução de Boussinesq - Canto da Área -	275
18.4.4.2. Solução de Westergaard - Canto da Área -	279
18.4.4.3 Cálculo de Acréscimo de Tensões fora dos Cantos -	280
18.4.5. Gráficos para Áreas Quadradas e Faixas Infinitas -	281
18.4.6. Áreas Circulares -	282
18.4.7. Outras Áreas e Carregamentos -	286
18.5. Simplificações de cálculo -	287
18.6. Solos Heterogêneos -	288
18.7. Tensões nos Solos Transmitidas por Estacas -	289
18.8. Gráfico dos Setores de Anel de Newmark para Área de Forma Qualquer -	290
18.9. Tensões de Contato Teórica e Real Sob Área Carregada -	297
18.10. Exercício Resolvido -	299
18.11. Exercícios Propostos -	302

CAPÍTULO 19 - COMPRESSIBILIDADE UNIDIMENSIONAL - 305

19.1 Introdução -	305
19.2 Recalque Unidimensional -	306
19.3 Ensaio de Compressão Unidimensional ou Edométrica -	308
19.4 Escolha Entre os Gráficos do Ensaio Edométrico -	311
19.5 Parâmetros da Curva em Escala Semilogarítmica -	312
19.5.1 Gráfico $e = f(\sigma')$ -	312
19.5.2 Pressão de Pré-Adensamento, σ'_p -	314
19.5.3 Determinações da Pressão de Pré-Adensamento, σ'_p -	316
19.6 Correlações Empíricas da Compressão Edométrica -	320
19.7 Efeitos do Amolgamento na Compressão Edométrica -	326
19.8 Outros Usos do Ensaio de Compressão Edométrica -	327

CAPÍTULO 20 - ADENSAMENTO - 329

20.1 Introdução ao Adensamento – Analogia de Terzaghi -	329
20.2 Teoria do Adensamento de Terzaghi -	332
20.3 Solução da Equação Diferencial do Adensamento -	336
20.4 Percentagem de Adensamento Média Total, U -	339
20.5 Determinação do Coeficiente de Adensamento -	342
20.5.1 Método de Casagrande -	342
20.5.2 Método de Taylor -	344
20.5.3 Comparações entre Métodos de Laboratório e Resultados de Campo -	346
20.6 Determinação da Compressão Secundária -	347
20.7 Ajustamento da Curva de Recalques Durante Construção -	349
20.8 Métodos de Aceleração dos Recalques -	351
20.9 Um Caso de Obra -	356
20.10 Observação dos Recalques -	356
20.11 Exercícios Resolvidos -	363
20.12 Exercícios Propostos -	368
20.12.1 Recalques -	368

20.12.2 Recalques com o Tempo - Adensamento - 369

CAPÍTULO 21 - RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO - 371

21.1 Métodos de Determinação da Resistência ao Cisalhamento - 371

21.1.1 Introdução - 371

21.1.1.1 Tensão num ponto - 371

21.1.1.2 Círculo de Mohr - 374

21.1.1.3 A Resistência ao Cisalhamento dos Solos - 376

21.1.1.4 Tensão Efetiva, Tensão Intrínseca e Coesão - 380

21.1.2 Teoria de Ruptura de Mohr-Coulomb - 381

21.1.3 Relações entre Tensões e Deformações - 383

21.1.3.1 Importância de Análise de Deformações - 383

21.1.3.2 Deformações Elásticas - 383

21.1.3.3 Coeficiente de Poisson - 385

21.1.4 Métodos de Determinação da Resistência ao Cisalhamento - 386

21.2 Resistência ao Cisalhamento dos Solos Não Coesivos - 393

21.2.1 Solo seco - 393

21.2.1.1 Mecanismos de Deformação e Cisalhamento: - 393

21.2.1.2 Resistência ao Cisalhamento - 394

21.2.1.3 Variações de Volume no Cisalhamento - 396

21.2.2 Solos Úmidos, Saturados e com Tensões Neutras - 398

21.2.2.1 Efeito da Água nos Solos - 398

21.2.2.2 Resistência ao Cisalhamento - 398

21.2.2.3 Origens das Tensões Neutras - 399

21.2.2.4 Idade dos Depósitos - 403

21.3 Resistência ao Cisalhamento de Solos Coesivos Saturados - 404

21.3.1 Tipos de Ensaio - 404

21.3.2 Resistência ao Cisalhamento das Argilas - 406

21.3.3 Variações de Volume no Cisalhamento - 409

21.3.4 Tensões Neutras e Parâmetros "A" e "B" - 410

21.3.5 Interpretação do Ensaio Drenado, ou Adensado Drenado, ou CD (Consolidated-Drained), ou Lento, ou S (Slow) - 413

21.3.6 Interpretação de Ensaio Não-Adensado Não drenado, ou UU (Unconsolidated-Undrained), ou Rápido, ou Q (Quick) Caso $j = 0^\circ$. - 414

21.3.6.1 Interpretação - 414

21.3.6.2 Sensibilidade - 419

21.3.7. Interpretação de Ensaio Adensado Não drenado, ou CU (Consolidated-Undrained), ou Adensado-Rápido, ou R (qRs) - 420

21.3.7.1 Interpretação - 420

21.3.7.2 Ensaio CU com Medição de Tensões Neutras - 423

21.3.8 Aplicações dos Três Procedimentos de Ensaio - 423

21.3.8.1 Resumo dos Três Ensaio - 423

21.3.8.2 Exemplos de Variações de Tensões Neutras por Carregamento - 423

21.4 Roteiro para Escolha de Ensaio - 428

21.5 Velocidade de Carregamento Creep - 428

21.6 Uso de Diagrama p q, Trajetória de Tensões - 429

21.7 Exercícios Resolvidos - 432

21.8 Exercícios Propostos - 439

APÊNDICE A - ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES - 443

A.1 Descrição - 443

A.2 Introdução - 443

A.3 O Ensaio de Compressão Simples - 444

APÊNDICE B - ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO - 449

B.1 Introdução - 449

B.2 Vantagens e Desvantagens do Ensaio - 450

B.3 O Equipamento de Cisalhamento Direto - 451

B.4 Areias - 451

B.5 Argilas - 452

B.6 Detalhes do Ensaio - 452

B.7 Apresentação dos Resultados - 456

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS - 457