

Sumário

Introdução ao método dos elementos finitos

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

CAPÍTULO 2 - PROBLEMA DE VALOR DE CONTORNO UNIDIMENSIONAL - 5

2.1 Formulação clássica - 5

2.2 Formulação variacional - 5

2.3 Aproximação por elementos finitos - 8

2.4 Condições para convergência do MEF - 11

2.5 Exercícios propostos - 13

CAPÍTULO 3 - ELASTICIDADE PLANA - 15

3.1 Introdução - 15

3.2 Formulação clássica do problema de elasticidade plana - 16

3.3 Formulação variacional - 18

3.4 Princípio dos trabalhos virtuais - 19

3.5 Energia potencial total - 19

3.6 Formulação variacional discreta - 21

CAPÍTULO 4 - ESTIMATIVAS DE ERRO - 27

- 4.1 Estimativas de erro globais e locais - 27
- 4.2 Taxas de convergência - 29
- 4.3 Exemplo numérico (estado plano de deformação) - 30

CAPÍTULO 5 - ELEMENTOS DE BARRA - 33

- 5.1 Barra submetida a esforços axiais - 33
- 5.2 Barra submetida a esforços de flexão - 35

CAPÍTULO 6 - ELEMENTOS ISOPARAMÉTRICOS - 41

- 6.1 Integração no domínio real - 41
- 6.2 Mapeamento isoparamétrico - 42
- 6.3 Mapeamento: generalização - 47
- 6.4 Elementos isoparamétricos de continuidade C_0 - 48
- 6.5 Exercícios propostos - 69

CAPÍTULO 7 - INTEGRAÇÃO NUMÉRICA - 71

- 7.1 Integração numérica de Gauss - 71
- 7.2 Regras de integração para triângulos e tetraedros - 75

CAPÍTULO 8 - ELASTICIDADE TRIDIMENSIONAL - 77

- 8.1 Descrições Lagrangeana e Euleriana de movimento - 77
- 8.2 Tensões - 79
- 8.3 Deformações - 82

- 8.4 Relações constitutivas - 86
- 8.5 Mudança de eixos - 88
- 8.6 Formulação clássica do problema de elasticidade tridimensional - 90
- 8.7 Formulação do MEF - 91
- 8.8 Não linearidade geométrica (formulação Lagrangeana) - 93
- 8.9 Estabilidade linear e modos de flambagem - 100
- 8.10 Exemplos numéricos - 101

CAPÍTULO 9 - ELASTICIDADE INCOMPRESSÍVEL - 109

- 9.1 Introdução - 109
- 9.2 Formulação mista para sólidos compressíveis e incompressíveis - 109

CAPÍTULO 10 - PLACAS E CASCAS - 117

- 10.1 Introdução - 117
- 10.2 Teoria de placas finas e elementos de continuidade C1 - 118
- 10.3 Formulação de Reissner-Mindlin e elementos não-conformes de continuidade C0 - 121
- 10.4 Elemento tridimensional degenerado - 125

CAPÍTULO 11 - PLASTICIDADE - 153

- 11.1 Equações constitutivas - 153
- 11.2 Implementação computacional - 156

11.3 Exemplos numéricos - 161

CAPÍTULO 12 - CONSERVAÇÃO DE MASSA - 163

CAPÍTULO 13 - PROBLEMAS DE POTENCIAL - 167

13.1 Introdução - 167

13.2 Formulação clássica - 167

13.3 Formulação variacional - 168

13.4 Formulação variacional discreta - 169

13.5 Escoamento potencial para fluido incompressível - 169

13.6 Escoamentos em meios porosos (lei de Darcy) - 170

13.7 Condução de calor (lei de Fourier) - 170

13.8 Exemplos numéricos - 171

CAPÍTULO 14 - PROBLEMAS DEPENDENTES DO TEMPO - 173

14.1 Formulação semi-discreta - 173

14.2 Formulação espaço-tempo - 174

14.3 Algoritmos de integração direta - 178

14.4 Estabilidade dos métodos de integração direta - 186

14.5 Forma incremental dos algoritmos preditores multi-corretores - 190

14.6 Superposição modal - 194

CAPÍTULO 15 - DINÂMICA DE CORPOS SÓLIDOS DEFORMÁVEIS - 203

CAPÍTULO 16- PROBLEMAS TERMOMECAÂNICOS - 207

16.1 Modelo matemático do problema de condução de calor - 207

16.2 Deformações térmicas - 208

16.3 Exemplo numérico - 209

CAPÍTULO 17 - PORO-MECAÂNICA - 213

17.1 Modelo matemático - 213

17.2 Variação das propriedades mecânicas - 215

17.3 Variação das propriedades hidráulicas - 218

17.4 Variação da densidade do meio poroso - 219

17.5 Formulação variacional das equações de equilíbrio - 219

17.6 Formulação variacional da equação de conservação de massa do fluido -
223

17.7 Sistema final de equações poro-mecânicas elásticas - 225

17.8 Plasticidade do esqueleto sólido e da porosidade - 227

17.9 Sistemas de equações simétrico e não simétrico - 230

17.10 Exemplos numéricos - 230

CAPÍTULO 18 - PROBLEMAS DE POTENCIAL DEPENDENTES DO TEMPO - 235

- 18.1 Formulação clássica geral - 235
- 18.2 Formulação do MEF no domínio do tempo - 235
- 18.3 Ondas acústicas de pequena amplitude - 236
- 18.4 Propagação de ondas em meio elástico - 238
- 18.5 Ondas eletromagnéticas no vácuo - 239
- 18.6 Exemplos numéricos - 241

CAPÍTULO 19 - FENÔMENOS DE TRANSPORTE - 245

- 19.1 Modelo matemático - 245
- 19.2 Formulação variacional espacial - 246
- 19.3 Formulação semi-discreta (Galerkin) - 246
- 19.4 Formulação semi-discreta (SUPG) - 248
- 19.5 Exemplo numérico - 249

CAPÍTULO 20 - SISTEMAS LINEARES DE EQUAÇÕES ALGÉBRICAS - 255

- 20.1 Sistemas consistentes com solução única - 257
- 20.2 Sistemas consistentes com infinitas soluções - 258
- 20.3 Sistemas inconsistentes - 260
- 20.4 Sistemas homogêneos com solução única (trivial) - 261
- 20.5 Sistemas homogêneos com infinitas soluções - 262

CAPÍTULO 21 - MÉTODOS ITERATIVOS PARA SOLUÇÃO DE SISTEMAS

LINEARES - 265

21.1 Método de Jacobi - 265

21.2 Método de Gauss-Seidel - 266

21.3 Exemplos (Jacobi e Gauss-Seidel) - 266

21.4 Forma quadrática - 268

21.5 Método “Steepest descent” - 269

CAPÍTULO 22 - ESTRUTURAS DE DADOS - 273

22.1 Introdução - 273

22.2 Estrutura de dados skyline - 277

22.3 Estrutura de dados elemento-por-elemento - 278

22.4 Estrutura de dados por arestas - 283

22.5 Estrutura de dados CSRC - 286

REFERÊNCIAS - 289