

Sumário - Volume I

1. O Setor Elétrico Brasileiro e a geração termelétrica – 1

- 1.1. Introdução – 1
- 1.2. O novo modelo – 1
- 1.3. Caracterização do setor elétrico brasileiro – 7
- 1.4. Políticas energéticas e regulamentação do setor elétrico – 11
- 1.5. Regulamentação do setor de combustíveis – 25
- 1.6. Legislação de referência – 28

2. Suprimento energético para termelétricas – 31

- 2.1. Introdução – 31
- 2.2. Conceito e classificação dos combustíveis – 31
- 2.3. Propriedades, composição química e poder calorífico dos combustíveis – 31
- 2.4. Combustíveis fósseis – 36
- 2.5. Petróleo – 38
- 2.6. Óleo combustível – 44
- 2.7. Gás natural – 52
- 2.8. Carvão mineral – 63
- 2.9. Combustível nuclear – 74
- 2.10. Biomassa – 76
- 2.11. Combustíveis siderúrgicos residuais – 78
- 2.12. Termos técnicos – 79
- 2.13. Referências – 85

3. Fundamentos da geração termelétrica – 87

- 3.1. Introdução – 87
- 3.2. Definições e conceitos básicos – 87
- 3.3. Propriedades e fundamentos – 97
- 3.4. Primeira lei da termodinâmica – 102
- 3.5. Segunda lei da termodinâmica – 107
- 3.6. Cálculo das propriedades para as principais substâncias industriais – 112
- 3.7. Elementos de combustão – 119
- 3.8. Ciclos de potência a vapor – 125
- 3.9. Sistemas de potência a gás – 136
- 3.10. Centrais de Ciclos Combinados com turbinas a gás – 149
- 3.11. Otimização – 155
- 3.12. Referências – 156

4. Caldeiras de vapor convencionais e de recuperação – 171

- 4.1. Introdução – 171
- 4.2. Critérios para a classificação das caldeiras de vapor – 174
- 4.3. Estequiometria da combustão – 185
- 4.4. Balanço térmico, eficiência e cálculo térmico – 191

- 4.5. Sistemas de combustão: fornalhas e queimadores – 199
- 4.6. Características construtivas dos dispositivos e superfícies da caldeira – 211
- 4.7. Ventiladores e separadores de fuligem – 216
- 4.8. Corrosão nas superfícies de aquecimento e tratamento químico interno – 222
- 4.9. Exemplos de caldeiras industriais – 226
- 4.10. Caldeiras de recuperação de calor: Classificação e características construtivas – 232
- 4.11. Caldeiras de recuperação: Projeto, Seleção do *pinch-point* e temperaturas de aproximação – 237
- 4.12. Eficiência de Caldeiras de recuperação – 243
- 4.13. Referências – 247

5. Turbinas a vapor – 249

- 5.1. Introdução – 249
- 5.2. Histórico – 249
- 5.3. Classificação das turbinas de vapor – 251
- 5.4. Esquema térmico simplificado de uma instalação de turbina a vapor – 263
- 5.5. Rendimento do ciclo das turbinas – 264
- 5.6. Estágio de uma turbina a vapor – 269
- 5.7. Turbinas de múltiplos estágios – 299
- 5.8. Operação de turbinas em regime de carga variável – 313
- 5.9. Sistema de lubrificação – 318
- 5.10. Referências – 319

6. Turbinas a gás – 321

- 6.1. Introdução – 321
- 6.2. Cálculo térmico da turbina a gás – 327
- 6.3. Características dos principais componentes da turbina a gás – 341
- 6.4. Parâmetros de desempenho – 406
- 6.5. Ajuste dos parâmetros térmicos para as condições *on-site* – 427
- 6.6. Referências – 432

7. Motores de combustão Interna (MCI) Alternativos – 435

- 7.1. Introdução – 435
- 7.2. Histórico – 436
- 7.3. Classificação dos MCI alternativos – 439
- 7.4. Componentes principais de um MCI alternativo – 440
- 7.5. Ciclos de operação dos MCI alternativos – 441
- 7.6. Características construtivas e parâmetros de desempenho de MCI alternativos – 450
- 7.7. MCI na geração termelétrica – 457
- 7.8. Características dos sistemas auxiliares – 461
- 7.9. Emissões nos MCI – 469
- 7.10. Referências – 478

8. Equipamentos e sistemas auxiliares – 481

- 8.1. Introdução – 481
- 8.2. Condensadores – 481
- 8.3. Aquecedores regenerativos dos ciclos a vapor – 489
- 8.4. Desaeradores – 491
- 8.5. Torres de resfriamento – 495
- 8.6. Sistema de tratamento de água (desmineralização) – 502
- 8.7. Preparação e manuseio do combustível nas centrais termelétricas – 510
- 8.8. Aquecedores regenerativos dos ciclos de turbinas a gás – 516
- 8.9. Sistemas de refrigeração por absorção – 519
- 8.10. Referências – 536

9. Equipamentos e dispositivos elétricos das centrais termelétricas – 539

- 9.1. Introdução – 539
- 9.2. Geradores elétricos – 539
- 9.3. Operação em carga – 543
- 9.4. Operação em curto-circuito – 546
- 9.5. Sistema de excitação – 548
- 9.6. Sistema de proteção – 551
- 9.7. Alimentação de serviços auxiliares – 566
- 9.8. Supervisão das condições de operação e controle – 568
- 9.9. Referências – 571

10. Metalurgia, materiais e propriedades mecânicas – 573

- 10.1. Introdução – 573
- 10.2. Fundamentos metalúrgicos – 574
- 10.3. Materiais – 584
- 10.4. Propriedades mecânicas – 588
- 10.5. Oxidação e corrosão – 600
- 10.6. Materiais para componentes de caldeiras – 601
- 10.7. Materiais para componentes de turbinas a vapor – 607
- 10.8. Materiais para componentes de turbinas a gás – 617
- 10.9. Falhas metalúrgicas em componentes – 623
- 10.10. Referências – 630

Sumário - Volume II

11. Centrais termelétricas a vapor – 633

- 11.1. Introdução. Tipos de centrais termelétricas – 633
- 11.2. Elementos principais de uma central termelétrica com ciclo a vapor – 639
- 11.3. Rendimento da central termelétrica e do grupo turbogerador – 641
- 11.4. Influência dos parâmetros do vapor sobre o desempenho da central termelétrica – 649
- 11.5. Consumo de vapor, calor e combustível numa central termelétrica com ciclo a vapor simples – 654
- 11.6. Ciclos a vapor com reaquecimento – 656
- 11.7. Ciclos a vapor com aquecimento regenerativo – 661
- 11.8. Centrais termelétricas de cogeração com ciclo de vapor – 669
- 11.9. Balanço de vapor e água na central termelétrica – 675
- 11.10. Esquema térmico principal e completo das centrais termelétricas – 676
- 11.11. Referências – 678

12. Centrais Termelétricas de ciclo simples com turbinas a gás e de ciclo combinado – 679

- 12.1. Introdução – 679
- 12.2. Ciclos de turbinas a gás com regeneração – 680
- 12.3. Ciclos de turbinas a gás com resfriamento e recuperação de calor – 682
- 12.4. Ciclos de turbinas a gás com injeção de vapor e água – 686
- 12.5. Resfriamento do ar na entrada do compressor – 689
- 12.6. Alternativas propostas para o desenvolvimento das centrais termelétricas com turbinas a gás – 694
- 12.7. Introdução aos ciclos combinados – 702
- 12.8. Fundamentos termodinâmicos do ciclo combinado – 703
- 12.9. Classificação das centrais termelétricas de ciclo combinado – 704
- 12.10. Eficiência das centrais termelétricas de ciclo combinado – 706
- 12.11. Esquema térmico de diferentes centrais de ciclo combinado a gás e vapor – 711
- 12.12. Centrais de ciclo combinado para a geração termelétrica e/ou cogeração com carvão mineral – 719
- 12.13. Ciclos combinados com motor alternativo de combustão interna (MACI) – 727
- 12.14. Centrais de ciclo combinado usando RSU como combustível – 728
- 12.15. Estudos paramétricos em centrais termelétricas de ciclo combinado – 731
- 12.16. Referências – 739

13. Cogeração e geração distribuída – 743

- 13.1. Introdução – 743
- 13.2. Fundamentos – 744
- 13.3. O desenvolvimento da cogeração – 747
- 13.4. Aspectos tecnológicos – 752
- 13.5. Operação de sistemas de cogeração – 761
- 13.6. Desempenho de sistemas de cogeração – 772
- 13.7. Aspectos econômicos – 773
- 13.8. Potencial de cogeração – 781

- 13.9. Geração distribuída – 784
- 13.10. Referências – 786
- 14. Centrais nucleares – 789**
 - 14.1. Introdução – 789
 - 14.2. Licenciamento de usinas nucleares – 791
 - 14.3. A reação nuclear – 792
 - 14.4. Controle da reação nuclear – 794
 - 14.5. O reator nuclear – 796
 - 14.6. Usina nuclear de potência – 799
 - 14.7. Características de controle de um reator nuclear – 811
 - 14.8. Operação da usina nuclear – 812
 - 14.9. Controle e proteção da usina nuclear – 815
 - 14.10. Limitações operacionais da usina nuclear – 819
 - 14.11. Interação da central nuclear de Angra com o sistema elétrico brasileiro – 820
 - 14.12. Segurança numa usina nuclear – 821
 - 14.13. Esquema e balanço térmico – 824
 - 14.14. Referências – 826
- 15. Controle de usinas termelétricas – 827**
 - 15.1. Introdução – 827
 - 15.2. Controle da carga – 827
 - 15.3. Controle da combustível – 851
 - 15.4. Controle do ar de combustão – 871
 - 15.5. Controle do *bypass* da turbina – 880
 - 15.6. Controle da água de alimentação – 896
 - 15.7. Controle da temperatura do vapor – 916
 - 15.8. Sistemas de controle automático de centrais termelétricas de ciclo combinado – 926
 - 15.9. Referências – 939
- 16. Operação e manutenção – 941**
 - 16.1. Introdução – 941
 - 16.2. Regimes de operação – 942
 - 16.3. Gráfico de carga – 943
 - 16.4. Parâmetros que caracterizam o regime e o comportamento do equipamento durante a operação – 947
 - 16.5. Características energéticas – 959
 - 16.6. Operação de centrais termelétricas a vapor – 963
 - 16.7. Comportamento das centrais termelétricas a vapor a cargas parciais – 974
 - 16.8. Operação das centrais termelétricas com turbina a gás de ciclo simples – 980
 - 16.9. Operação das centrais termelétricas de ciclo combinado – 981
 - 16.10. Organização dos trabalhos de manutenção nas centrais termelétricas – 992
 - 16.11. Monitoramento do estado dos equipamentos. Testes de desempenho – 998
 - 16.12. Manutenção de turbinas a gás e centrais termelétricas de ciclo combinado – 1001
 - 16.13. Referências – 1004
- 17. Centrais termelétricas e o sistema elétrico – 1007**
 - 17.1. Introdução – 1007
 - 17.2. Aspectos das redes de transmissão e distribuição – 1008
 - 17.3. Geradores síncronos – 1010
 - 17.4. Sistemas de excitação e reguladores de tensão – 1030
 - 17.5. Turbinas térmicas – 1042
 - 17.6. Reguladores de velocidade – 1071

- 17.7. Controle de carga-freqüência – 1074
- 17.8. Regulação primária – 1077
- 17.9. Regulação secundária – 1088
- 17.10. Influências das térmicas na operação do sistema (Gomes, 2001) – 1092
- 17.11. Referências – 1103

18. Controle da poluição – 1105

- 18.1. Introdução – 1105
- 18.2. Energia e desenvolvimento – 1106
- 18.3. Impactos ambientais da geração termelétrica – 1116
- 18.4. Legislação ambiental vigente – 1118
- 18.5. Formação de NO_x – 1132
- 18.6. Métodos de controle de poluentes gasosos – 1135
- 18.7. Controle da emissão de poluentes em turbinas a gás – 1141
- 18.8. Métodos de controle de particulados – 1148
- 18.9. Controle do ruído – 1157
- 18.10. Efluentes líquidos em centrais termelétricas – 1158
- 18.11. Avanços tecnológicos e conservação da energia – 1161
- 18.12. Referências – 1169

19. Introdução à análise econômico-financeira de centrais termelétricas – 1173

- 19.1. Introdução – 1173
- 19.2. Fundamentos da análise econômico-financeira de projetos – 1174
- 19.3. Custos associados às centrais termelétricas – 1193
- 19.4. Financiamento de projetos – 1197
- 19.5. Termoeconomia aplicada – 1209
- 19.6. Referências – 1214

20. Exemplos de geração termelétrica no Brasil – 1217

- 20.1. Introdução – 1217
- 20.2. Complexo Termelétrico Manaus Energia S.A. – 1217
- 20.3. Complexo Termelétrico Jorge Lacerda – 1234
- 20.4. Projeto Integrado de Cuiabá – 1245
- 20.5. Usina termelétrica de Uruguiana – 1249
- 20.6. Usina termelétrica da Companhia Siderúrgica Nacional – CTE 2 – 1253
- 20.7. Planta de cogeração da cervejaria Brahma/Rio de Janeiro – 1255
- 20.8. Planta de cogeração do Ilha Praza Shopping Center – 1259
- 20.9. Referências – 1264