

INSTRUMENTAÇÃO INDUSTRIAL

VOLUME II

INSTRUMENTAÇÃO INDUSTRIAL

Segunda Edição

Volume II

Gustavo Vitorino Monteiro da Silva
Escola Superior de Tecnologia de Setúbal

FICHA TÉCNICA

Título

“Instrumentação Industrial – 2ª Edição”

Copyright © 2004 do autor

Autor



Gustavo Vitorino Monteiro da Silva
Engenheiro Electrotécnico
Mestre em Eng^a Electrotécnica e de Computadores
e-mail: gsilva@est.ips.pt

Foto do autor: Rita Caleiro – Gabinete de Promoção e Comunicação da EST

Edição



Escola Superior de Tecnologia de Setúbal
Rua do Vale de Chaves, Estefanilha
2914-508 SETÚBAL – PORTUGAL
Tel: 265 790 000 Fax: 265 721 869
e-mail: rel-ext@est.ips.pt

Comercialização e Capa



FXS, Gestão de Marketing, Lda.
Rua Prof. Mark Athias, 4, 3º Frente
1600-646 LISBOA – PORTUGAL
Tel: 217 524 285 Fax: 217 599 327
www.fxs.pt e-mail: info@fxs.pt

Impressão

Tipografia Peres
R. das Fontainhas, lote 2, Venda Nova
2700-391 AMADORA – PORTUGAL
Tel: 214 996 900 Fax: 214 990 493

ISBN Vol. I: 972-8431-22-8

Vol. II: 972-8431-23-6

Depósito Legal Vol. I: 213 357 / 004
Vol II: 213 358 / 004

Tiragem: 1000 exemplares
Cada exemplar consta de 2 volumes

Setúbal, Julho de 2004

CONTEÚDO RESUMIDO

<i>Volume I</i>	Pág.
1. A Instrumentação na Indústria	1
2. Condicionadores e Fontes	35
3. Posição, Deformação e Velocidade.....	91
4. Força, Binário, Peso e Aceleração	141
5. Pressão	165
6. Elementos Pneumáticos	195
7. Sensores de Nível.....	217
8. Temperatura	247
9. Caudalímetros	315
10. Sensores de Viscosidade	359

<i>Volume II</i>	Pág.
11. Sensores Ópticos	371
12. Cor Brancura e Imagem	415
13. Sensores de Fibra Óptica.....	437
14. Sensores por Infravermelhos.....	457
15. Sensores por Radiação	471
16. Ph, Condutividade, Oxigénio	485
17. Medidas Eléctricas	511
18. Aquisição de Dados.....	539
19. Redes de Campo.....	561
20. Instrumentação Médica	589
21. Controlo de Processos	603
22. Válvulas de Controlo.....	639
23. Instrumentação Intrinsecamente Segura.....	667
24. Metrologia	683
25. Constantes, Formulários e Tabelas.....	701
Bibliografia	723
Índice Remissivo.....	725

CONTEÚDO DO VOLUME II

	pág.
11. SENSORES ÓPTICOS.....	371
11.1. UM POUCO DE HISTÓRIA	371
11.2. NATUREZA DA LUZ.....	372
11.2.1. Os quanta de luz	372
11.2.2. As equações de Maxwell.....	373
11.2.3. Espectro de frequências.....	374
11.2.4. Ondas planas	375
11.2.5. Polarização.....	376
11.3. ÓPTICA GEOMÉTRICA	376
11.3.1. O domínio da Óptica Geométrica. Caminho óptico	376
11.3.2. Reflexão e Refracção. Leis de Snell-Descartes.....	378
11.3.3. Lentes, espelhos curvos e prismas	379
11.3.3.1. Lentes.....	379
11.3.3.2. Espelhos curvos	382
11.3.3.3. Prismas.....	383
11.4. INSTRUMENTOS ÓPTICOS.....	384
11.4.1. A máquina fotográfica	384
11.4.2. A vista humana	385
11.4.3. Defeitos na visão.....	387
11.4.4. A Lupa.....	388
11.4.5. O Microscópio	389
11.4.6. O Telescópio	390
11.5. FOTOMETRIA	391
11.5.1. Fotometria energética e visual	391
11.5.2. Definições de grandezas energéticas.....	392
11.5.2.1. Energia radiante	392
11.5.2.2. Potência radiante	392
11.5.2.3. Intensidade radiante	392
11.5.2.4. Irradiância	392
11.5.2.5. Radiância	393
11.5.3. Definições de grandezas fotométricas	393
11.5.3.1. Energia luminosa	393
11.5.3.2. Fluxo luminoso	393
11.5.3.3. Intensidade luminosa.....	393
11.5.3.4. Iluminância ou Iluminação.....	393
11.5.3.5. Luminância	393
11.5.4. Resumo e correspondência	394
11.5.5. Conversão entre grandezas	394
11.5.5.1. Radiação monocromática.....	394
11.5.5.2. Radiação com espectro contínuo.....	394
11.6. FONTES DE LUZ.....	395

11.6.1. Fontes de luz. Características	395
11.6.1.1. Potência radiante	395
11.6.1.2. Diagrama de radiação	396
11.6.1.3. Rendimento	396
11.6.1.4. Espectro de frequências	396
11.6.1.5. Coerência.....	397
11.6.1.6. Fiabilidade e preço	398
11.6.2. Emissão espontânea e emissão estimulada	398
11.6.2.1. Níveis de energia e populações	398
11.6.2.2. Absorção.....	399
11.6.2.3. Emissão espontânea.....	399
11.6.2.4. Emissão estimulada	399
11.6.3. Tipos de fontes luminosas	400
11.6.3.1. Lâmpadas de incandescência.....	400
11.6.3.2. Lasers de cristal e de gás	400
11.6.3.3. Díodos emissores de luz	401
11.6.3.4. Lasers de semicondutores.....	402
11.6.3.5. Classificação dos lasers. Protecção.....	403
11.7. DETECTORES ÓPTICOS	404
11.7.1. Introdução.....	404
11.7.2. Foto-resistência.....	405
11.7.3. Fotodiodo	407
11.7.3.1. Modo fotocondutor	409
11.7.3.2. Modo fotovoltaico	410
11.7.4. Fotodiodo PIN.....	411
11.7.5. Fotodiodo de avalanche	411
11.7.6. Fototransistor.....	411
11.7.7. Fototiristor	411
11.8. PROBLEMAS.....	412
12. COR, BRANCURA E IMAGEM.....	415
12.1. INTRODUÇÃO	415
12.2. COLORIMETRIA	416
12.2.1. Método aditivo	417
12.2.2. Método subtractivo.....	417
12.3. SISTEMA DE CORES RGB	418
12.4. SISTEMA DE CORES XYZ	419
12.5. SISTEMA DE COORDENADAS XY. DIAGRAMA CROMÁTICO CIE	420
12.6. SISTEMA DE CORES SUBTRACTIVO	422
12.7. SISTEMA DE COORDENADAS $L^*A^*B^*$	424
12.8. BRANCURA DE UMA SUPERFÍCIE	425
12.9. CAPTURA E REPRODUÇÃO DE IMAGENS	427
12.9.1. A imagem e suas características	427
12.9.2. Amostragem de uma imagem. Linhas e varrimento	428
12.9.3. Captura de imagens	430
12.9.4. Reprodução de imagens dinâmicas	431
12.9.4.1. Tubo de raios catódicos	431
12.9.4.2. Écran de matriz activa	433
12.10. PROBLEMAS.....	435

13. SENSORES DE FIBRA ÓPTICA.....	437
13.1. CONCEITOS PRÉVIOS	437
13.1.1. Constituição e princípios.....	437
13.1.2. Cone de aceitação. Abertura numérica	438
13.1.3. Atenuação	439
13.1.4. Modos de propagação	442
13.2. CLASSIFICAÇÃO E ARQUITECTURA	444
13.2.1. Sensores extrínsecos e intrínsecos	444
13.2.2. Arquitectura.....	445
13.3. SENSORES DE MODULAÇÃO DE INTENSIDADE	447
13.3.1. Microcurvas.....	447
13.3.2. Transmissivo/Reflectivo.....	447
13.4. SENSORES DE MODULAÇÃO DE FASE.	448
13.4.1. Interferómetros	448
13.4.2. Interferómetro de Mach-Zehender.....	448
13.4.3. Interferómetro de Michelson	449
13.4.4. Interferómetro de Fabry-Pérot	449
13.4.5. Interferómetro de Sagnac	450
13.4.6. Detecção de fase.....	450
13.5. SENSORES DE MODULAÇÃO DE POLARIZAÇÃO.....	451
13.5.1. Rotação da polarização. Efeito de Faraday	451
13.5.2. O amperímetro de FO.....	451
13.6. APLICAÇÕES DIVERSAS.....	452
13.6.1. O giroscópio de FO	452
13.7. PROBLEMAS.....	455
14. SENSORES POR INFRAVERMELHOS	457
14.1. A RADIAÇÃO INFRAVERMELHA	457
14.1.1. Espectro da radiação.....	457
14.1.2. Interação com a matéria.....	458
14.2. TIPOS BÁSICOS DE SENSORES	461
14.2.1. Sensores por absorção.....	461
14.2.1.1. Analisadores não dispersivos	461
14.2.1.2. Analisadores dispersivos.....	462
14.3. FONTES DE IV	463
14.3.1. Fontes térmicas.....	463
14.3.2. Díodo emissor de luz	465
14.3.3. Laser de IV.....	467
14.4. DETECTORES DE IV	467
14.4.1. Detectores térmicos	467
14.4.2. Detectores pneumáticos.....	468
14.4.3. Bolómetros.....	468
14.4.4. Detectores piroeléctricos.....	469
14.4.5. Detectores de semicondutores	469
14.4.6. Câmaras de infravermelhos.....	470
14.5. APLICAÇÕES	470
14.6. PROBLEMAS PROPOSTOS.....	470
15. SENSORES POR RADIAÇÃO.....	471
15.1. RADIOACTIVIDADE E RADIAÇÃO.	471
15.1.1. Radiação α	471

15.1.2. Radiação β	472
15.1.3. Radiação β^+	472
15.1.4. Radiação n	472
15.1.5. Radiação γ	472
15.2. VELOCIDADE DE DECAIMENTO E ACTIVIDADE	473
15.3. ABSORÇÃO DA RADIAÇÃO	474
15.4. PERIGOS DA RADIOACTIVIDADE	474
15.4.1. Dose de energia.....	474
15.4.2. Dose de equivalência	475
15.4.3. Lesões sobre o organismo	475
15.4.3.1. Lesões somáticas.	475
15.4.3.2. 2. Lesões genéticas.	476
15.4.4. Contaminação	476
15.4.5. Medidas de protecção. Cuidados	477
15.4.6. Zonas de protecção	477
15.4.7. Licenciamento	478
15.4.8. Armazenamento e transporte.....	478
15.5. PRINCÍPIO DE UM SENSOR	479
15.6. DETECTORES DE RADIAÇÃO.....	480
15.6.1. Dosímetro.....	480
15.6.2. Detectores de gás ionizado	480
15.6.3. Detectores de cintilação.....	482
15.6.4. Detectores de semicondutor	482
15.7. FONTES RADIOACTIVAS.....	483
15.8. PROBLEMAS.....	484
16. PH, CONDUTIVIDADE, OXIGÉNIO	485
16.1. SENSORES DE PH	485
16.1.1. Introdução.....	485
16.1.2. Conceitos básicos e pH	485
16.1.3. Indicadores. Equação de Nernst	491
16.1.4. O eléctrodo de hidrogénio.....	492
16.1.5. Eléctrodos de vidro	493
16.1.6. O sistema de medida	495
16.1.7. Cuidados na utilização.....	496
16.1.8. Escolha do eléctrodo de referência.....	497
16.1.9. Eléctrodos integrados. Sensores inteligentes	498
16.1.10. Calibração.....	499
16.2. SENSORES DE CONDUTIVIDADE	500
16.2.1. Definição de Condutividade.....	500
16.2.2. Eléctrodos de Medida.....	501
16.2.2.1. Eléctrodos em contacto com a solução.....	501
16.2.2.2. Eléctrodos sem contacto	501
16.2.3. Medida de outros tipos de grandezas.....	503
16.3. SENSORES DE OXIGÉNIO	503
16.3.1. Introdução.....	503
16.3.2. Célula de Polarização.....	504
16.3.3. Célula Galvânica	505
16.3.4. Sensor de Cerâmica	506
16.3.5. Sensor Paramagnético	508
16.4. PROBLEMAS.....	508

16.5. QUADRO COMPARATIVO.....	510
17. MEDIDAS ELÉCTRICAS.....	511
17.1. INTRODUÇÃO. CONCEITOS BÁSICOS.....	511
17.1.1. <i>Corrente eléctrica</i>	511
17.1.2. <i>Tensão eléctrica</i>	512
17.1.3. <i>Potência e energia</i>	514
17.1.4. <i>Sistemas trifásicos</i>	515
17.2. GALVANÓMETRO DE QUADRO MÓVEL.....	519
17.3. INSTRUMENTOS ELECTRODINÁMICOS. WATTÍMETRO.....	521
17.3.1. <i>Wattímetro em regime alternado sinusoidal</i>	524
17.3.2. <i>Potência em sistemas trifásicos</i>	524
17.4. CONTADORES DE ENERGIA.....	526
17.5. OSCILOSCÓPIO.....	528
17.6. INSTRUMENTOS ELECTRÓNICOS.....	530
17.6.1. <i>Multímetro</i>	530
17.6.2. <i>Contadores e frequencímetros</i>	531
17.6.3. <i>Osciloscópio digital</i>	533
17.6.4. <i>Wattímetro e contador de energia</i>	535
17.7. PROBLEMAS PROPOSTOS.....	537
18. AQUISIÇÃO DE DADOS.....	539
18.1. INTRODUÇÃO.....	539
18.2. OBTENÇÃO DE SINAIS DIGITAIS.....	540
18.2.1. <i>Condicionamento e Filtragem</i>	540
18.2.2. <i>Amostragem</i>	542
18.2.3. <i>Conversão Digital/Analógica</i>	543
18.2.4. <i>Conversão Analógica/Digital</i>	545
18.2.4.1. <i>Método Paralelo (ou Flash)</i>	546
18.2.4.2. <i>Método da Dupla Rampa</i>	547
18.2.4.3. <i>Método das Aproximações Sucessivas</i>	548
18.3. SISTEMAS DE AQUISIÇÃO DE DADOS.....	550
18.3.1. <i>Placas de Aquisição de Dados</i>	551
18.3.1.1. <i>Constituição Interna</i>	551
18.3.1.2. <i>Instalação e Programação</i>	553
18.3.1.3. <i>Exemplo</i>	553
18.3.2. <i>Sistemas Automáticos de Medida</i>	555
18.3.2.1. <i>Interface GPIB</i>	556
18.3.2.2. <i>Exemplo</i>	558
18.4. CONCLUSÕES.....	560
19. REDES DE CAMPO.....	561
19.1. O CONCEITO DE REDE DE CAMPO.....	561
19.2. EVOLUÇÃO HISTÓRICA.....	563
19.3. TIPOS DE REDES.....	565
19.4. VANTAGENS DA INSTRUMENTAÇÃO EM REDE.....	566
19.5. ESTRUTURA DE UMA REDE.....	568
19.5.1. <i>Divisão da rede</i>	568
19.5.2. <i>Arquitectura dos segmentos HI</i>	570
19.5.2.1. <i>Ligação em barramento (bus)</i>	570
19.5.2.2. <i>Ligação em árvore (tree)</i>	571
19.5.2.3. <i>Ligação em margarida (daisy)</i>	571

19.5.3. Terminações	572
19.5.4. Fonte de alimentação e impedância da FA	572
19.5.5. Caixas de junção	572
19.5.6. Localização dos transmissores	573
19.5.7. Cabos. Secções e comprimentos	574
19.5.8. Selecção dos Instrumentos	576
19.5.9. Instrumentação intrinsecamente segura	576
19.5.10. Diagramas P&I	577
19.5.11. Redundância nos troços de rede	578
19.6. ARQUITECTURA DA REDE	579
19.6.1. Codificação dos sinais	579
19.6.2. Níveis Hierárquicos	580
19.6.3. Pilha de Comunicação	581
19.6.3.1. Camada de enlace de dados	581
19.6.3.2. Sub-Camada de acesso à rede	584
19.6.3.3. Sub-Camada de especificação de mensagens	584
19.6.4. Camada do Utilizador. Blocos	586
19.7. OUTRAS REDES DE INSTRUMENTAÇÃO	588
19.7.1. Rede CAN	588
19.7.2. Rede DeviceNet	588
19.7.3. Rede Profibus	588
20. INSTRUMENTAÇÃO MÉDICA	589
20.1. INTRODUÇÃO	589
20.2. TENSÃO ARTERIAL	589
20.3. ECOGRAFIA	591
20.4. RAIOS-X	593
20.5. TOMOGRAFIA AXIAL COMPUTORIZADA	595
20.5.1 Introdução	595
20.5.2 A transformada Radon	596
20.5.3 A máquina de tomografia	597
20.6. RESSONÂNCIA MAGNÉTICA	598
20.6.1 Introdução	598
20.6.2 Princípio de funcionamento	599
20.6.3 Descrição do equipamento	600
20.7. CINTIGRAFIA	602
21. CONTROLO DE PROCESSOS	603
21.1. INTRODUÇÃO	603
21.1.1 Sistema de controlo	603
21.1.2 Diagramas de cadeias de controlo	605
21.1.3 Modelos do processo	606
21.1.4 Justificação funcional e económica	606
21.2. DINÂMICA DOS PROCESSOS	607
21.2.1 Processos de 1ª ordem	608
21.2.2 Transformada de Laplace	610
21.2.2.1. TL de alguns sinais correntes	610
21.2.2.2. Propriedades da TL	610
21.2.2.3. Função de transferência de um SLIT	611
21.2.3 Processos de 2ª ordem	612
21.2.4 Resposta em frequência	616

21.3. CONTROLADORES	617
21.3.1 Controladores baseados no erro	617
21.3.2 Controlador ON/OFF	619
21.3.3 Controlador PID	621
21.3.3.1. Controlador PID analógico	621
21.3.3.2. Controlador PID discreto	623
21.3.3.3. Controladores P e PI e PID modificado	624
21.3.3.4. Ajuste do controlador PID	625
21.3.4 Controlador Difuso	626
21.3.5 Controlo em cascata, “ratio” e “bias”	630
21.3.5.1. Controlo em cascata	630
21.3.5.2. Controlo em “ratio”	630
21.3.5.3. Controlo em “bias”	630
21.3.5.4. Modos de funcionamento	631
21.3.5.5. Inicialização das cadeias	631
21.4. CONTROLO MULTIVARIÁVEL	632
21.5. SISTEMAS DE CONTROLO DISTRIBUÍDO	634
21.5.1 Objectivos de um DCS	634
21.5.2 Constituição	634
21.5.3 Organização hierárquica	635
21.5.4 Justificação funcional	635
21.5.5 Justificação económica	636
21.6. SISTEMAS DE CONTROLO EM REDE	636
21.7. PROBLEMAS	637
22. VÁLVULAS DE CONTROLO	639
22.1. INTRODUÇÃO	639
22.2. CLASSIFICAÇÃO E SIMBOLOGIA	640
22.3. CURVAS CARACTERÍSTICAS	643
22.3.1 Características inerentes	643
22.3.2 Características instaladas	645
22.3.3 Ganho instalado	647
22.4. DESEMPENHO DE UMA VÁLVULA	648
22.4.1 Cavitação	648
22.4.2 “Flashing”	648
22.4.3 Ruído	649
22.4.4 Corrosão	650
22.4.5 Incrustações	650
22.5. SELECÇÃO E DIMENSIONAMENTO	650
22.5.1 Selecção do tipo de válvula	650
22.5.2 Fórmulas para cálculo de válvulas	653
22.5.2.1. Líquidos sem cavitação nem flashing	653
22.5.2.2. Líquidos com cavitação	653
22.5.2.3. Gases e vapor	653
22.5.3 Dimensionamento da válvula	654
22.5.3.1. Utilização de software específico	654
22.5.3.2. Utilização de gráficos e fórmulas	655
22.5.3.3. Utilização de fórmulas genéricas	656
22.6. ACTUADORES	657
22.6.1 Actuador pneumático	657
22.6.1.1 Actuador de diafragma	657

22.6.1.2 Actuador de êmbolo	658
22.6.2 Actuador eléctrico.....	659
22.6.2.1. Actuador de motor rotativo.....	659
22.6.2.2. Actuador de solenóide	660
22.6.3 Comparação A. pneumático / A. eléctrico.....	661
22.7. POSICIONADOR.....	662
22.8. ESPECIFICAÇÃO, INSTALAÇÃO E MANUTENÇÃO.....	663
22.8.1 Especificação	663
22.8.2 Instalação.....	663
22.8.3 Manutenção.....	664
22.9. PROBLEMAS.....	665
23. INSTRUMENTAÇÃO INTRINSECAMENTE SEGURA	667
23.1. INTRODUÇÃO.....	667
23.2. AS DIRECTIVAS ATEX	667
23.3. A IGNIÇÃO DOS MATERIAIS	668
23.3.1. Temperatura de ignição	668
23.3.2. Zonas de risco	669
23.4. CIRCUITO INTRINSECAMENTE SEGURO	671
23.5. DISPOSITIVOS SIMPLES E NÃO SIMPLES	673
23.6. CORRENTES DE IGNIÇÃO	673
23.7. GRUPOS E CATEGORIAS DE APARELHOS	674
23.8. BARREIRAS DE SEGURANÇA.....	674
23.9. BARREIRAS PARA DIVERSOS DISPOSITIVOS	675
23.9.1. Barreiras para termo-resistências	676
23.9.2. Barreiras para transmissores.....	677
23.9.3. Barreiras para outro dispositivos	678
23.10. TÉCNICAS DE PROTECÇÃO.....	679
23.11. MARCAÇÃO DOS APARELHOS	680
23.12. INSTALAÇÃO	681
23.13. MANUTENÇÃO E REPARAÇÃO.....	682
23.14. PROBLEMAS RESOLVIDOS.....	682
24. METROLOGIA.....	683
24.1. CONCEITOS BÁSICOS	683
24.2. SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES	684
24.2.1. Unidades de base, derivadas e suplementares.	685
24.2.1.1. Unidades de base do SI.....	685
24.2.1.2. Definição das unidades de base do SI.....	686
24.2.1.3. Definição das unidades suplementares.	686
24.2.1.4. Unidades derivadas.....	686
24.2.2. Normas sobre a escrita das grandezas, unidades e símbolos.	688
24.2.3. Prefixos a usar com os símbolos das unidades.	689
24.2.4. Nomes e símbolos especiais autorizados com o SI.....	689
24.3. CARACTERÍSTICAS DOS SENSORES	690
24.3.1. Características estáticas. Calibração.	690
24.3.1.1. Gama de medida.....	690
24.3.1.2. Alcance.....	690
24.3.1.3. Calibração.....	690
24.3.1.4. Histerese	691
24.3.1.5. Curva de erro	691

24.3.1.6. Exactidão.	692
24.3.1.7. Repetibilidade ou precisão.	692
24.3.1.8. Linearidade.	693
24.3.1.9. Sensibilidade.	693
24.3.1.10. Resolução.	693
24.3.1.11. Estabilidade.	693
24.3.2. <i>Características dinâmicas</i>	693
24.3.2.1. Banda passante.	694
24.3.2.2. Tempo de resposta. Constante de tempo.	695
24.3.3. <i>Características de fiabilidade</i>	695
24.3.3.1. Sobrecarga.	695
24.3.3.2. Número de operações.	695
24.3.3.3. Tempo de vida.	696
24.3.4. <i>Características dos actuadores</i>	696
24.4. SIMBOLOGIA UTILIZADA EM INSTRUMENTAÇÃO.	696
24.4.1. <i>Linhas de instrumentação</i>	696
24.4.2. <i>Símbolos da instrumentação</i>	697
24.4.3. <i>Identificação dos sensores</i>	697
24.5. PROBLEMAS.	698
25. CONSTANTES, FORMULÁRIOS E TABELAS.	701
25.1. CONSTANTES MATEMÁTICAS.	701
25.2. CONSTANTES FUNDAMENTAIS DA FÍSICA.	701
25.3. FORMULÁRIO DE MATEMÁTICA.	702
25.3.1 <i>Álgebra elementar</i>	702
25.3.2 <i>Logaritmos e exponenciais</i>	702
25.3.3 <i>Geometria</i>	702
25.3.4 <i>Limites</i>	702
25.3.5 <i>Séries</i>	703
25.3.6 <i>Trigonometria</i>	703
25.3.7 <i>Derivadas</i>	703
25.3.8 <i>Integrais indefinidos</i>	704
25.4. TRANSFORMADA DE LAPLACE UNILATERAL.	705
25.4.1 <i>Tabelas de TL</i>	705
25.4.2 <i>Propriedades da TL</i>	706
25.5. FORMULÁRIO DE FÍSICA.	707
25.5.1 <i>Mecânica dos sólidos</i>	707
25.5.2 <i>Mecânica dos fluidos</i>	707
25.5.3 <i>Electrotecnia</i>	707
25.6. TABELA PERIÓDICA DE ELEMENTOS.	709
25.7. TABELA DE CONVERSÃO DE UNIDADES.	710
25.8. CARACTERÍSTICAS DE ALGUNS MATERIAIS.	712
25.9. TERMO-RESISTÊNCIA PT-100.	713
25.10. TABELAS DE TERMOPARES.	714
25.11. COEFICIENTES POLINOMIAIS PARA TERMOPARES.	719
25.12. GRAU DE PROTECÇÃO IP.	720
25.13. ESPECTRO DA RADIAÇÃO ELECTROMAGNÉTICA.	721
25.14. CÓDIGO DE CORES PARA RESISTÊNCIAS E CONDENSADORES.	722
BIBLIOGRAFIA.	723
ÍNDICE REMISSIVO.	725

