
SUMÁRIO

Prefácio a 3ª edição	V
Prefácio	VII
Capítulo 1 INTRODUÇÃO	1
1.1 CONCEITOS BÁSICOS DE INSTRUMENTAÇÃO PARA CONTROLE DE PROCESSOS	1
1.1.1 Sistema em Malha Aberta	2
1.1.2 Sistema em Malha Fechada	3
1.2 CARACTERÍSTICAS GERAIS DE INSTRUMENTOS	5
1.2.1 Classes de Instrumentos	5
1.2.2 Definições	6
1.3 IDENTIFICAÇÃO E SÍMBOLOS DE INSTRUMENTOS	8
1.3.1 Padronização ISA (<i>The Instrumentation, Systems and Automation Society, Antigamente Denominada Instrument Society of America</i>)	8
1.3.2 Exemplos de Simbologia	14
1.4 REFERÊNCIAS	14
ANEXOS – EXEMPLOS DE SIMBOLOGIA	15
Capítulo 2 PRESSÃO	21
2.1 INTRODUÇÃO	21
2.2 GENERALIDADES	21
2.2.1 Unidades de Pressão	21
2.2.2 Definições de Pressão	23
2.2.3 Pressões Estática, Dinâmica, Total e Diferencial	24
2.2.4 Teorema de Stevin	26
2.2.5 Princípio de Pascal	27

2.3	ELEMENTOS MECÂNICOS PARA MEDIÇÃO DE PRESSÃO	28
2.3.1	Elementos Mecânicos de Medição Direta de Pressão	28
2.3.2	Elementos Mecânicos Elásticos de Medição de Pressão.	31
2.4	TRANSMISSORES DE PRESSÃO	39
2.4.1	Transmissores Pneumáticos de Pressão	40
2.4.2	Transmissores Eletrônicos de Pressão.	41
2.5	CALIBRAÇÃO DE INSTRUMENTOS DE PRESSÃO	45
2.5.1	Comparação com Elemento Mecânico de Medição Direta de Pressão	45
2.5.2	Calibração Utilizando Teste de Peso Morto	46
2.5.3	Comparação com Manômetro-Padrão	47
2.6	REFERÊNCIAS.	48
Capítulo 3	VAZÃO	49
3.1	INTRODUÇÃO	49
3.2	CARACTERÍSTICAS DOS FLUIDOS	51
3.2.1	Líquidos	53
3.2.2	Gases	57
3.2.3	Vapor d'Água.	63
3.3	MEDIDORES DEPRIMOGENIOS	64
3.3.1	Teoria Resumida	64
3.3.2	Placas de Orifício Clássicas	72
3.3.3	Placas de Orifício Especiais	82
3.3.4	Bocais de Vazão	86
3.3.5	Venturis	88
3.3.6	Medidores Diferenciais de Inserção	90
3.3.7	Medidores Especiais por Diferença de Pressão.	95
3.4	MEDIDORES LINEARES	97
3.4.1	Medidores de Área Variável	98
3.4.2	Medidores a Efeito Coriolis	100
3.4.3	Medidores Eletromagnéticos	105
3.4.4	Medidores Térmicos	108
3.4.5	Turbinas	109
3.4.6	Medidores Ultrassônicos.	114
3.4.7	Medidores de Vórtices	117
3.5	MEDIDORES ESPECIAIS	119
3.5.1	Medidores de Força	119
3.5.2	Correlação	120
3.5.3	<i>Laser</i>	121

3.6	MEDIDORES VOLUMÉTRICOS	122
3.6.1	Diafragma	122
3.6.2	Disco de Nutação	123
3.6.3	Palhetas	124
3.6.4	Pistão Oscilante	125
3.6.5	Pistões Recíprocos	125
3.6.6	Rotor	126
3.6.7	Semi-Imerso	127
3.7	MEDIÇÃO EM CANAIS ABERTOS	128
3.7.1	Vertedores	128
3.7.2	Calhas Parshall	131
3.8	AFERIÇÃO	132
3.8.1	Aferição de Medidores de Vazão de Líquidos	134
3.8.2	Aferição de Medidores de Vazão de Gases	138
3.8.3	Conclusão sobre a Aferição de Medidores de Vazão	140
3.9	REFERÊNCIAS	141
Capítulo 4	NÍVEL	143
4.1	INTRODUÇÃO	143
4.2	VISORES DE NÍVEL	144
4.2.1	Visores de Vidro Tubular	145
4.2.2	Visores de Vidro Plano	147
4.2.3	Recomendações para Instalação e Operação Eficiente de um Visor de Vidro	150
4.2.4	Visores de Vidro Bicolores	152
4.3	DISPOSITIVOS DO TIPO FLUTUADOR (OU BOIA)	153
4.3.1	Flutuador <i>versus</i> Deslocador	153
4.3.2	O Flutuador	154
4.3.3	Medidores Flutuador-Haste	157
4.3.4	Medidores Flutuador-Cabo	158
4.4	DISPOSITIVOS DO TIPO DESLOCADOR	160
4.4.1	O Deslocador	160
4.4.2	Constituição do Transdutor Tipo Deslocador	162
4.4.3	O Instrumento <i>Displacer</i>	164
4.4.4	Instrumento Tipo Deslocador Utilizando Mola Balanceadora	167
4.4.5	Montagem de Instrumentos do Tipo Deslocador	169
4.4.6	Calibração de Instrumentos do Tipo Deslocador	171

4.5	DISPOSITIVOS DO TIPO PRESSÃO DIFERENCIAL	174
4.5.1	Princípio de Funcionamento	174
4.5.2	Instalação	174
4.6	DISPOSITIVOS DO TIPO ULTRASSÔNICO	176
4.6.1	Aplicação	176
4.6.2	Princípios Físicos	176
4.6.3	Medidor Contínuo de Nível do Tipo Ultrassônico	179
4.6.4	Conclusões	180
4.7	DISPOSITIVOS DO TIPO RADAR	181
4.7.1	Princípio de Funcionamento	181
4.7.2	Tipos de Antenas	183
4.7.3	Aplicações	183
4.8	DISPOSITIVOS DO TIPO CAPACITIVO	185
4.8.1	Princípio de Funcionamento	187
4.8.2	Recomendações de Utilização	188
4.8.3	Dimensionamento de Sondas Capacitivas	190
4.8.4	Formas Construtivas	190
4.9	DISPOSITIVOS DO TIPO ELETROMECAÂNICO	191
4.9.1	Princípio de Funcionamento	191
4.9.2	Medidores Semicontínuos ou Cíclicos	191
4.9.3	Medidores Contínuos ou de Compensação	192
4.9.4	Aplicação e Instalação	193
4.10	CHAVES DE NÍVEL	193
4.10.1	Chaves de Nível do Tipo Flutuador (ou Boia)	193
4.10.2	Chaves de Nível Tipo “Tandem”	195
4.10.3	Chaves de Nível do Tipo Deslocador	196
4.10.4	Chaves de Nível do Tipo Pás Rotativas	200
4.10.5	Chaves de Nível do Tipo Ultrassônico	201
4.11	DISPOSITIVOS DO TIPO PESAGEM	202
4.11.1	Princípio de Funcionamento	202
4.11.2	Conceitos Básicos	203
4.11.3	Características de Instalação	204
4.11.4	Erros	204
4.11.5	Recomendações para Operação Eficiente	206
4.12	REFERÊNCIAS	206
Capítulo 5	TEMPERATURA	207
5.1	INTRODUÇÃO	207
5.1.1	Importância	207

5.1.2	Conceitos	207
5.1.3	Escala Termométrica	208
5.1.4	Especificação do Sistema	209
5.2	INDICADORES DE TEMPERATURA	211
5.2.1	Indicadores Cromáticos	211
5.2.2	Indicadores Pirométricos	212
5.3	MEDIDORES TRADICIONAIS	212
5.3.1	Termômetros Bimetálicos	212
5.3.2	Termômetros de Haste de Vidro	214
5.3.3	Sistemas de Bulbo-Capilar	215
5.4	TERMÔMETROS DE RESISTÊNCIA	217
5.4.1	Bulbos de Resistência de Fio Metálico	217
5.4.2	Termistores	220
5.5	TERMOPARES	222
5.5.1	Princípios	222
5.5.2	Associação de Termopares	226
5.5.3	Tipos de Termopares	228
5.5.4	Limites de Erro	230
5.5.5	Construção e Proteção dos Termopares	231
5.5.6	A Junta de Referência	234
5.5.7	Fios e Cabos de Extensão e Compensação	235
5.5.8	Considerações sobre a Instalação	237
5.6	PIRÔMETROS DE RADIAÇÃO	237
5.6.1	Princípios	237
5.6.2	Pirômetros Óticos	240
5.6.3	Pirômetros Infravermelhos	241
5.7	TERMOGRAFIA	242
5.8	SENSORES DIVERSOS	243
5.8.1	Sondas Pneumáticas	243
5.8.2	Sensores Fluídicos	244
5.8.3	Semicondutores	244
5.8.4	Ultrassom	244
5.8.5	Reflectometria Acústica no Domínio do Tempo	245
5.8.6	Cristais de Quartzo	245
5.8.7	Cristais Líquidos	245
5.8.8	Ruído Térmico	245
5.8.9	Sensor de Sal Paramagnético	246
5.8.10	Espectroscopia	246

5.9 CALIBRAÇÃO E AJUSTE	246
5.10 TRANSMISSORES	247
Capítulo 6 ANALISADORES	249
6.1 INTRODUÇÃO	249
6.1.1 Conceitos	249
6.1.2 Aplicação	251
6.1.3 Particularidades	251
6.1.4 Montagem	252
6.2 CONDICIONAMENTO DAS AMOSTRAS	253
6.2.1 Importância	253
6.2.2 Implantação do Sistema de Condicionamento da Amostra	254
6.2.3 Captação da Amostra	255
6.2.4 Transporte da Amostra	258
6.2.5 Condicionamento da Pressão e da Temperatura	259
6.2.6 Secagem	259
6.2.7 Filtros	261
6.2.8 Outros Componentes	261
6.2.9 Os Padrões	261
6.2.10 Coleta e Descarte da Amostra	262
6.3 ANALISADORES DE GASES	262
6.3.1 Analisadores de Oxigênio	262
6.3.2 Analisadores por Absorção de Radiação	267
6.3.3 Analisadores por Condutividade Térmica	273
6.4 ANALISADORES DE LÍQUIDOS	275
6.4.1 Analisadores de pH	275
6.4.2 Analisadores Íon Seletivos	279
6.4.3 Analisadores de Potencial Redox	279
6.4.4 Analisadores por Condutividade Elétrica	281
6.4.5 Outros Analisadores no Tratamento de Água	287
6.5 CROMATÓGRAFOS	290
6.5.1 O Cromatógrafo a Gás	292
6.5.2 O Gás de Arraste	292
6.5.3 O Seletor de Amostras (<i>Stream Selector</i>)	293
6.5.4 A Injeção da Amostra	293
6.5.5 As Colunas	294
6.5.6 Configuração das Colunas	294
6.5.7 O Forno – Programação de Temperatura	295
6.5.8 Detectores	295
6.5.9 Controlador – Interfaces	297

6.6 ESPECTÔMETROS DE MASSA	298
6.6.1 Introdução	298
6.6.2 Princípio de Operação	299
6.6.3 Aplicações	301
6.7 VALIDAÇÃO E DIVERGÊNCIAS COM O LABORATÓRIO	301
6.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	302
Capítulo 7 TRANSMISSORES	303
7.1 CONCEITOS	303
7.2 O TRANSMISSOR – DEFINIÇÃO	304
7.3 ALIMENTAÇÃO	304
7.3.1 Alimentação a Quatro Fios	304
7.3.2 Alimentação a Dois Fios	304
7.3.3 Alimentação a Três Fios	305
7.4 PROTEÇÃO	305
7.5 A INDICAÇÃO LOCAL	306
7.6 CONEXÃO AO SENSOR OU TRANSDUTOR	307
7.7 SINAIS DE SAÍDA	308
7.8 TRANSMISSORES E CONVERSORES	308
7.9 TRANSMISSORES INTELIGENTES	309
Capítulo 8 SISTEMAS DE INSTRUMENTAÇÃO INDUSTRIAL EM ATMOSFERAS EXPLOSIVAS – REQUISITOS PARA INSTALAÇÃO	311
8.1 INTRODUÇÃO	311
8.2 A NORMALIZAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA DA ABNT SOBRE ATMOSFERAS EXPLOSIVAS	314
8.2.1 Objetivos e Estrutura da ABNT	314
8.2.2 O Comitê Brasileiro CB-03 da ABNT e o COBEI	314
8.2.3 O Subcomitê SC-31 do COBEI – Atmosferas Explosivas e a Normalização Técnica Equivalente NBR IEC Publicada pela ABNT	315
8.3 OS COMPONENTES DO RISCO ENVOLVIDOS EM INSTALAÇÕES DE INSTRUMENTAÇÃO INDUSTRIAL EM ÁREAS CLASSIFICADAS	23
8.3.1 Os Componentes do Triângulo da Explosão e a Participação dos Equipamentos Elétricos e de Instrumentação como Possíveis Fontes de Ignição	322
8.3.2 Propriedades Físico-Químicas e de Explosividade das Substâncias Inflamáveis	323

8.4 REQUISITOS PARA ESTUDOS DE CLASSIFICAÇÃO DE ÁREAS CONTENDO GASES INFLAMÁVEIS E POEIRAS COMBUSTÍVEIS	68
8.4.1 Objetivos dos Estudos de Classificação de Áreas Contendo Atmosferas Explosivas de Gases Inflamáveis e Poeiras Combustíveis	328
8.4.2 Princípios de Segurança Considerados nos Estudos de Classificação de Áreas.	330
8.4.3 Equipe Multidisciplinar para a Realização dos Trabalhos de Elaboração dos Estudos de Classificação de Áreas	331
8.4.4 Identificação das Fontes de Risco de Liberação de Substâncias Inflamáveis para os Estudos de Classificação de Áreas	332
8.4.5 Tipos de Zonas e de Grupos de Áreas Classificadas de Gases Inflamáveis e de Poeiras Combustíveis	334
8.4.6 Temperatura de Ignição e Classes de Temperatura de Superfície dos Equipamentos	341
8.4.7 Documentação de Estudos de Classificação de Áreas de Gases Inflamáveis e Poeiras Combustíveis.	342
8.4.8 Exemplos de Desenhos Clássicos e Tradicionais de Plantas e de Cortes de Classificação de Áreas.	344
8.4.9 Estudos de Classificação de Áreas Utilizando Maquetes Eletrônicas Elaboradas em CAD3D com Banco de Dados Orientados a Objetos	347
8.4.10 Documentação de Classificação de Áreas Utilizando Bancos de Dados Orientados a Objetos – Gerenciamento desde o Projeto até as Atividades de Reparos.	350
8.4.11 Sinalização de Segurança para a Identificação Visual da Existência de Áreas Classificadas Contendo Atmosferas Explosivas.	351
8.4.12 Resultados, Benefícios e Aplicação dos Estudos de Classificação de Áreas	352
8.4.13 Procedimentos para a Emissão de Permissões de Trabalho Seguro em Áreas Classificadas Livres de Gases Inflamáveis . . .	353
8.5 TÉCNICAS E TIPOS DE PROTEÇÃO DE EQUIPAMENTOS PARA ÁREAS CLASSIFICADAS DE GASES INFLAMÁVEIS E POEIRAS COMBUSTÍVEIS.	354
8.5.1 Conceitos Gerais de Equipamentos Elétricos e de Instrumentação Protegidos para Áreas Classificadas de Gases Inflamáveis e Poeiras Combustíveis	355
8.5.2 Tipo de Proteção por Invólucros à Prova de Explosão (Ex“d”) . . .	356

8.5.3	Proteção por Pressurização ou por Diluição Contínua de Invólucro (Ex “p”).	362
8.5.4	Proteção de Equipamentos por Segurança Intrínseca (Ex “i”) . . .	365
8.5.5	Proteção de Equipamentos por Segurança Aumentada (Ex“e”) . .	374
8.5.6	Equipamentos e Instrumentos não Acendíveis (Ex“nA”)	376
8.5.7	Caixas de Areia para Passagem de Cabos em Fronteiras de Áreas Classificadas e Seguras	377
8.6	GRAUS DE PROTEÇÃO PROVIDOS PELOS INVÓLUCROS CONTRA O INGRESSO DE ÁGUA E POEIRA (ÍNDICES IP)	378
8.7	EPL – NÍVEIS DE PROTEÇÃO PROVIDOS PELOS EQUIPAMENTOS “EX”	381
8.7.1	Razões para Introdução dos Conceitos de EPL na Normalização Internacional (IEC) e na Brasileira (ABNT) sobre Atmosferas Explosivas	381
8.7.2	Histórico de Evolução do Conceito de EPL e Adoção pelas Normas Técnicas Internacionais do TC 31	381
8.7.3	Designação e Definições dos EPL	383
8.7.4	Generalidades e Definições sobre EPL	384
8.7.5	Proteção Proporcionada pelos Equipamentos “Ex” contra o Risco de Ignição	385
8.7.6	Metodologia “Tradicional” de Seleção de Equipamentos de Acordo com Zonas	386
8.7.7	Seleção de Equipamentos para Gases Inflamáveis e Poeiras Combustíveis de Acordo com os EPL.	387
8.7.8	Seleção de Equipamentos para Utilização em Locais que Requerem EPL ‘Ga’ ou ‘Da’	390
8.7.9	Seleção de Equipamentos para Utilização em Locais que Requerem EPL ‘Gb’ ou ‘Db’	392
8.7.10	Seleção de Equipamentos para Utilização em Locais que Requerem EPL ‘Gc’ ou ‘Dc’.	392
8.7.11	Fluxograma de Seleção de EPL Segundo Metodologia “Tradicional” ou Metodologia Baseada em Avaliação Adicional de Risco	393
8.8	REQUISITOS DE MARCAÇÃO DE EQUIPAMENTOS “EX” DE ACORDO COM A ABNT NBR IEC 600790, INCLUINDO A MARCAÇÃO DE EPL	395
8.9	O SISTEMA BRASILEIRO E INTERNACIONAL DE CERTIFICAÇÃO COMPULSÓRIA DE CONFORMIDADE PARA EQUIPAMENTOS, SISTEMAS, SERVIÇOS E COMPETÊNCIAS PESSOAIS “EX”	399

8.10 REQUISITOS GERAIS PARA A ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DE EQUIPAMENTOS E DE CRITÉRIOS DE PROJETO PARA INSTALAÇÕES DE INSTRUMENTAÇÃO EM ÁREAS CLASSIFICADAS	405
8.11 REQUISITOS ESPECÍFICOS PARA A ESPECIFICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS OU DE SISTEMAS QUE UTILIZAM TRANSMISSÃO COM ENERGIA IRRADIANTE ELETROMAGNÉTICA OU ULTRASSÔNICA.	407
8.11.1 Potência Máxima Permitida por Fontes de Frequência de Rádio em Áreas Classificadas de Gases e Poeiras	407
8.11.2 Equipamentos ou Sistemas de Transmissão que Utilizam Lasers ou Outras Fontes Óticas de Ondas Contínuas	408
8.11.3 Equipamentos ou Sistemas de Transmissão Contendo Fontes que Utilizam Energia Irradiante com Ondas Ultrassônicas	409
8.12 REQUISITOS ESPECÍFICOS PARA A ESPECIFICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS PARA INSTALAÇÃO EM ÁREAS CLASSIFICADAS CONTENDO POEIRAS COMBUSTÍVEIS DO GRUPO III.	410
8.12.1 Grau de Proteção do Invólucro para Áreas Classificadas dos Tipos Zonas 20, 21 e 22.	410
8.12.2 Máxima Temperatura de Superfície Determinada sem uma Camada de Poeira	410
8.12.3 Máxima Temperatura de Superfície com Relação a Camadas de Poeira.	410
8.12.4 Limitações de Temperatura Devido à Presença de Poeiras em Forma de Nuvem	411
8.12.5 Limitações de Temperatura Devido à Presença de Poeira em Forma de Camada	411
8.13 CRITÉRIOS E REQUISITOS PARA SERVIÇOS DE INSTALAÇÃO, OPERAÇÃO, MANUTENÇÃO, INSPEÇÃO E REPAROS DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS EM ÁREAS CLASSIFICADAS	411
8.13.1 Instalação dos Equipamentos Elétricos e de Instrumentação em Atmosferas Explosivas.	411
8.13.2 Serviços de Inspeção e de Manutenção de Equipamentos e de Instalações Elétricas e de Instrumentação em Atmosferas Explosivas	412
8.13.3 Operação dos Equipamentos Elétricos e de Instrumentação em Áreas Classificadas	417
8.13.4 Serviços de Reparo, Revisão e Recuperação de Equipamentos Elétricos e de Instrumentação para Áreas Classificadas.	417

8.14 FONTES DE REFERÊNCIAS DAS FOTOS E FIGURAS UTILIZADAS PARA ILUSTRAÇÃO NESTE CAPÍTULO SOBRE REQUISITOS PARA INSTALAÇÕES DE SISTEMAS DE INSTRUMENTAÇÃO INDUSTRIAL EM ATMOSFERAS EXPLOSIVAS	420
Capítulo 9 VÁLVULAS DE CONTROLE.....	421
9.1 INTRODUÇÃO	421
9.1.1 A Válvula na Malha de Controle	421
9.1.2 Componentes de uma Válvula de Controle	422
9.2 TIPOS DE VÁLVULAS DE CONTROLE	436
9.2.1 Válvulas Globo	436
9.2.2 Válvulas Esfera	441
9.2.3 Válvulas Borboleta	443
9.2.4 Válvulas Especiais	447
9.3 APLICAÇÃO DE VÁLVULAS DE CONTROLE	451
9.3.1 Queda de Pressão Através da Válvula	452
9.3.2 Característica de uma Válvula de Controle	453
9.3.3 Rangeabilidade de uma Válvula de Controle	457
9.3.4 Cavitação	458
9.3.5 Escoamento Laminar	460
9.3.6 Escoamento em Duas Fases (Bifásico)	460
9.4 SELEÇÃO, DIMENSIONAMENTO E ESPECIFICAÇÃO DE VÁLVULAS DE CONTROLE: EXEMPLOS PRÁTICOS.....	460
9.4.1 Seleção	460
9.4.2 Dimensionamento	464
9.4.3 Especificação de Válvulas de Controle	468
9.4.4 Exemplos Práticos	470
9.5 ACESSÓRIOS DE VÁLVULAS DE CONTROLE	472
9.5.1 Posicionadores	472
9.5.2 Chaves-Limite	473
9.5.3 Volantes	474
9.5.4 Válvulas Solenoide	474
9.5.5 Transmissores de Posição	474
9.6 VÁLVULAS REGULADORAS DE PRESSÃO	475
9.6.1 Válvulas de Operação Direta	475
9.6.2 Válvulas Piloto Operadas	476
9.6.3 Seleção, Dimensionamento e Especificação de Válvulas Reguladoras de Pressão	477

9.7	RUÍDO EM VÁLVULAS DE CONTROLE	478
9.8	INTERLIGAÇÃO DE VÁLVULAS EM REDE.....	479
9.9	VÁLVULAS DE CONTROLE X VARIADORES DE VELOCIDADE ..	481
9.9.1	Introdução.....	481
9.9.2	Controle de Vazão com Válvula na Descarga.....	482
9.9.3	Controle de Vazão por Meio de Variadores de Velocidade.....	483
9.9.4	Estudos Efetuados com Relação à Utilização de Inversores de Frequência	486
9.9.5	Conclusão da Análise Comparativa	487
9.10	REFERÊNCIAS.....	487
Capítulo 10	TEORIA DE CONTROLE	489
10.1	INTRODUÇÃO	489
10.2	OBJETIVOS DO CONTROLE DE PROCESSOS.....	490
10.3	PRINCIPAIS PROBLEMAS PARA O CONTROLE DE PROCESSOS	491
10.3.1	Atrasos do Processo.....	492
10.3.2	Atrasos na Medição	493
10.3.3	Atrasos na Transmissão	495
10.4	DEFINIÇÕES BÁSICAS: CONTROLE MANUAL, CONTROLE POR REALIMENTAÇÃO (<i>FEEDBACK</i>), CONTROLE POR ANTECIPAÇÃO (<i>FEEDFORWARD</i>), GANHO E ATRASO.....	496
10.4.1	Controle Manual Típico.....	496
10.4.2	Controle por Realimentação (<i>Feedback</i>)	496
10.4.3	Controle por Antecipação (<i>Feedforward</i>)	497
10.4.4	Ganho e Atraso.....	499
10.5	SISTEMAS DE PRIMEIRA ORDEM: FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA	505
10.5.1	Perturbação em Degrau	501
10.5.2	Perturbação Senoidal	501
10.6	RESPOSTA DE UM SISTEMA DE PRIMEIRA ORDEM A UMA PERTURBAÇÃO DEGRAU E SENOIDAL: CONSTANTE DE TEMPO, DEFASAGEM	504
10.6.1	Resposta a um Degrau.....	504
10.6.2	Resposta a uma Senoide	505
10.7	EXEMPLOS FÍSICOS DE SISTEMA DE PRIMEIRA ORDEM: RESISTÊNCIA, CAPACITÂNCIA.....	507
10.8	SISTEMAS DE ORDEM SUPERIOR: TEMPO MORTO, SISTEMAS DE PRIMEIRA ORDEM EM SÉRIE	509

10.9 OS COMPONENTES DE UM SISTEMA DE CONTROLE.....	511
10.9.1 Sensor/Transmissor e Controlador.....	511
10.9.2 Elementos Finais de Controle.....	513
10.10 AÇÕES DE CONTROLE LIGA-DESLIGA (<i>ON-OFF</i>), AUTO-OPERADO, PROPORCIONAL, PROPORCIONAL-INTEGRAL, PROPORCIONAL DERIVATIVA, PROPORCIONAL-INTEGRAL-DERIVATIVA	516
10.10.1 Controle Liga-Desliga (<i>on-off</i>).....	516
10.10.2 Controle Auto-Operado.....	517
10.10.3 Controle Proporcional.....	518
10.10.4 Controle Proporcional-Integral (PI).....	522
10.10.5 Controle Proporcional-Derivativo (PD).....	525
10.10.6 Controle Proporcional-Integral-Derivativo (PID).....	527
10.11 ESTABILIDADE E SINTONIA DE CONTROLADORES – MALHA FECHADA: ZIEGLER E NICHOLS; HARRIOTT – MALHA ABERTA (CURVA DE REAÇÃO DO PROCESSO): ZIEGLER E NICHOLS; COHEN E COON	530
10.11.1 Estabilidade.....	530
10.11.2 Sintonia de Controladores.....	532
10.12 CONTROLE EM CASCATA, CONTROLE DE RAZÃO, CONTROLE SELETIVO, CONTROLE EM <i>RANGE</i> DIVIDIDO (<i>SPLIT RANGE</i>)	538
10.12.1 Controle em Cascata	538
10.12.2 Controle de Razão	541
10.12.3 Controle Seletivo.....	543
10.12.4 Controle em Faixa Dividida (<i>Split Range</i>).....	546
10.13 REFERÊNCIAS.....	548
Capítulo 11 RECEPTORES.....	549
11.1 INTRODUÇÃO.....	549
11.2 TRANSDUTORES E CONVERSORES.....	550
11.2.1 Transdutores de Corrente para Pneumático.....	551
11.2.2 Conversores Pneumáticos para Corrente.....	552
11.2.3 Conversores de Tensão para Corrente.....	553
11.2.4 Conversores de Tensão para Pressão	554
11.2.5 Conversores de Corrente para Corrente.....	555
11.3 RELÉS DE COMPUTAÇÃO E RELÉS ELETRÔNICOS DE ALARME	555
11.3.1 Relés Pneumáticos de Multiplicação e Divisão.....	556
11.3.2 Relés Eletrônicos de Multiplicação e Divisão	557
11.3.3 Relés Pneumáticos de Soma e Subtração	557

11.3.4 Relés Eletrônicos de Soma e Subtração.	558
11.3.5 Extratores de Raiz Quadrada Eletrônicos.	559
11.3.6 Relé de Computação Seletor do Menor Sinal, Maior Sinal e Limitador de Sinal	559
11.3.7 Relés Pneumáticos e Eletrônicos de Alarme	560
11.4 INDICADORES ANALÓGICOS E INDICADORES DIGITAIS	561
11.5 CONTROLADORES	564
11.6 REGISTRADORES	565
11.6.1 Registradores Analógicos	565
11.6.2 Registradores Digitais	566
11.7 INTEGRADORES E TOTALIZADORES	567
11.8 FUNÇÕES DE ALARME E SINALIZAÇÃO	567
11.9 REFERÊNCIAS	569
Capítulo 12 CLP	571
12.1 INTRODUÇÃO	571
12.1.1 A Finalidade	571
12.1.2 A Origem	571
12.1.3 Primeira Aplicação	572
12.2 OS AVANÇOS TECNOLÓGICOS	573
12.2.1 Entre 1970 e 1974	573
12.2.2 De 1975 a 1980	573
12.3 APLICAÇÕES ATUAIS	573
12.3.1 Melhorias de Desempenho	574
12.4 ARQUITETURAS REDUNDANTES.	574
12.4.1 Redundância de UCP	575
12.4.2 Os Sistemas para “Missão Crítica”	575
12.5 O <i>HARDWARE</i>	576
12.5.1 Algumas Tendências do <i>Hardware</i>	576
12.6 LINGUAGENS DE PROGRAMAÇÃO	577
12.6.1 A Origem da Linguagem Histograma de Contatos	577
12.6.2 As Outras Linguagens mais Expressivas	578
12.6.3 Traduzindo em Linguagens Diferentes	579
12.6.4 Os Blocos Funcionais	580
12.6.5 A Linguagem Estruturada GRAFCET ou SFC	582
12.7 O USO DE MICROCOMPUTADORES COMO CLPS	583

12.8 A UNIDADE CENTRAL DE PROCESSAMENTO (UCP) OU DO INGLÊS CPU	584
12.8.1 A Varredura	584
12.8.2 Os Dispositivos de Acesso Frontal nas UCPs	585
12.9 A MODULARIDADE	586
12.10 MEMÓRIAS	586
12.11 ENTRADAS E SAÍDAS	586
12.11.1 A Isolação das Entradas e Saídas	588
12.12 OS ENDEREÇOS	589
12.13 A PROGRAMAÇÃO	590
12.14 O CLP E AS COMUNICAÇÕES	591
12.14.1 A Comunicação Interna	592
12.14.2 A Comunicação Externa	592
12.15 ARQUITETURA DOS SISTEMAS DE CONTROLE COM CLPS ..	592
12.16 CONFIABILIDADE E DIAGNÓSTICOS	593
12.16.1 Técnicas de Diagnóstico	593
12.16.2 Temporizador Cão de Guarda (<i>Watchdog Timer</i>)	593
12.16.3 Verificação de Paridade	594
12.16.4 Soma de Verificação	594
12.17 ALGUMAS LIMITAÇÕES DE APLICAÇÕES PARA CLPS	595
12.18 TENDÊNCIAS ATUAIS	596
12.18.1 As Arquiteturas Híbridas	596
12.18.2 Componentes de Terceiros e Clonagem de CLPs	596
12.18.3 A Integração do Sistema	596
12.18.4 Os PACs	597
Capítulo 13 SDCC E REDES DE COMUNICAÇÃO	599
13.1 INTRODUÇÃO	599
13.1.1 Finalidade e Definições	599
13.1.2 A Origem	600
13.1.3 Primórdios no Brasil	603
13.1.4 A Interface Via Tubos de Raios Catódicos e Teclados	603
13.2 A INTERFACE COM O PROCESSO	603
13.3 A CONFIGURAÇÃO	604
13.3.1 Configurando um SDCC	604
13.3.2 A Falta de Padronização entre os Fornecedores	605

13.4 AS TELAS DE OPERAÇÃO	607
13.4.1 Telas que Simulam um Painel de Operação Convencional	607
13.4.2 Outros Tipos de Telas de Operação	610
13.5 O CONTROLE PELO SDCD	613
13.5.1 Os Algoritmos de Controle	613
13.5.2 As Promessas do que um SDCD Pode Fazer	614
13.6 AS ESTAÇÕES E VIAS DE DADOS DE UM SDCD.....	614
13.6.1 Funções e Dispositivos nas Redes de Comunicação.....	614
13.6.2 As Vias de Dados	615
13.7 A TENDÊNCIA DA EVOLUÇÃO ATUAL	617
13.7.1 A “Abertura” dos Sistemas	617
13.8 AS REDES INDUSTRIAIS DE COMUNICAÇÃO E CONTROLE ..	617
13.8.1 A Interconectividade	617
13.8.2 Redes Industriais de Comunicação e de Controle	618
13.8.3 Classificação das Redes.....	618
13.8.4 Os Níveis Funcionais nas Redes	619
13.8.5 Redes LAN Industriais	619
13.8.6 Barramentos de Campo	620
13.9 O USO DE FIBRA ÓTICA EM REDES INDUSTRIAIS.....	625
13.9.1 O Uso de Fibra Ótica em Áreas Classificadas	626
13.9.2 Os Tipos de Fibras Óticas para Aplicações Industriais.....	626
13.10 NOVAS DECISÕES	627
13.10.1 A “Classificação” dos Sistemas Modernos	627
13.10.2 Decisões na Configuração e Arquitetura	627
Capítulo 14 INTERTRAVAMENTO E SISTEMAS DE SEGURANÇA	629
14.1 INTRODUÇÃO	629
14.1.1 A Evolução dos Sistemas de Segurança do Processo Industrial	629
14.1.2 Os Modelos Modernos	630
14.1.3 Os Paradigmas Estão Sendo Revisados	631
14.1.4 Formas de Operação	633
14.1.5 Finalidades	633
14.1.6 Outros Elementos de Proteção.....	633
14.2 O CONCEITO DE RISCO.....	634
14.2.1 A Redução do Risco	634
14.2.2 Conceitos em Risco	634
14.3 DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE INTEGRIDADE DE	
SEGURANÇA (SIL).....	635
14.3.1 A Identificação dos Riscos	636

14.3.2 Escolha do SIL	636
14.3.3 Verificação do SIL Atingido	638
14.4 AS NORMAS MODERNAS PARA OS SIS	639
14.5 TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS	640
14.5.1 Sistema de Segurança e Sistema de Controle	640
14.5.2 As Arquiteturas mais Comuns	640
14.5.3 Missão Crítica	642
14.5.4 O Conceito de Probabilidade de Falha e o SIL	644
14.5.5 A Probabilidade de Falha sob Demanda (PFD)	645
14.6 O CICLO DE VIDA DO SIS	647
Capítulo 15 WIRELESS	649
15.1 O DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA	649
15.2 OS DESAFIOS PARA A NOVA TECNOLOGIA	650
15.3 AS LIMITAÇÕES DOS DADOS	654
15.4 TOPOLOGIA	656
15.4.1 Topologia em Estrela	657
15.4.2 Topologia em Rede	657
15.4.3 Topologia em Grupos de Árvores	658
15.5 TÉCNICAS PARA ROBUSTECER A COMUNICAÇÃO INDUSTRIAL	96
15.6 DISTÂNCIAS DE COBERTURA E PROTOCOLOS TÍPICOS	661
15.6.1 Os “Dispositivos Auxiliares” das Redes de Comunicação	662
15.6.2 As Maneiras de Transmitir os Sinais	663
15.7 AS ESCOLHAS TECNOLÓGICAS	663
15.7.1 As Normas IEEE 802.11	663
15.7.2 As Normas IEEE 802.15	663
15.7.3 O Comitê SP-100 da ISA	664
15.7.4 O <i>Wireless</i> HART	666
15.7.5 A Norma IEEE 802.15.4 e seu Protocolo	666
15.8 A QUALIDADE DE SERVIÇO DOS ENLACES <i>WIRELESS</i>	667
15.9 DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÕES FUTURAS	667
15.10 REFERÊNCIAS	667