Sumário

Apresentação IX
Prefácio XI
Introdução XIII
Nomenclatura. XV

CAPÍTULO 1
Introdução aos Sistemas de Controle Avançado e Otimização de Processos . . . 1
1.1 INTRODUÇÃO AO CONTROLE AVANÇADO DE PROCESSOS . . . 3
1.2 O QUE É CONTROLE AVANÇADO DE PROCESSOS? 6
1.3 PROJETO DE UM SISTEMA DE CONTROLE AVANÇADO 11
1.4 BENEFÍCIOS DOS SISTEMAS DE CONTROLE AVANÇADO 22
1.5 CONCLUSÕES 31
1.6 REFERÊNCIAS 32

CAPÍTULO 2
Instrumentação e Controle Regulatório 35
2.1 AVALIAÇÃO DO CONTROLE REGULATÓRIO 37
2.2 INSTRUMENTAÇÃO ASSOCIADA AO CONTROLE REGULATÓRIO 42
2.3 ESTRATÉGIA DE CONTROLE REGULATÓRIO. 46
2.3.1 Análise de uma Estratégia de Controle Regulatório – Caso 1 46
2.3.2 Análise de uma Estratégia de Controle Regulatório – Caso 2 52
2.3.3 Análise de uma Estratégia de Controle Regulatório – Caso 3 54
2.4 ALTERAÇÃO DOS *SETPOINTS* PARA AUMENTAR A ESTABILIDADE DO PROCESSO 57

2.5 SINTONIA DO CONTROLE REGULATÓRIO 59
2.5.1 Exemplo de Aplicação do ***BR-Tuning*** 60
2.5.2 Outros Exemplos de Sintonia do Controle Regulatório 63
2.6 REFERÊNCIAS 67

CAPÍTULO 3
Sensores Virtuais e Analisadores de Processos 69
3.1 ENSAIOS EM LABORATÓRIO 71
3.2 ANALISADORES DE PROCESSO 72
3.3 INFERÊNCIAS DE PROPRIEDADES 76
3.3.1 Aspectos Básicos para Geração de Inferências de Propriedades 79
3.4 EXEMPLO DE INFERÊNCIA BASEADA EM REDES NEURAIS 89
3.5 REFERÊNCIAS 92

CAPÍTULO 4
Projeto Conceitual do Controle Avançado 95
4.1 INTRODUÇÃO 97
4.2 A EQUIPE DE IMPLANTAÇÃO 98
4.3 O ESCOPO DO PROJETO 100
4.4 OBJETIVOS, DIRETRIZES DE OPERAÇÃO E VARIÁVEIS 104
4.4.1 Objetivos com Impacto Econômico 104
4.4.2 Objetivos Operacionais 105
4.4.3 Diretrizes de Operação 106
4.4.4 Seleção de Variáveis 107
4.4.5 Variáveis Determinadas por Cálculos 108
4.4.6 A Seleção de Variáveis Controladas 108
4.4.7 A Seleção de Variáveis Perturbação 110
4.4.8 Variáveis Auxiliares 110
4.4.9 A Lista de Variáveis e a Matriz de Influências 111
4.4.10 Modos de Operação Diferentes e Degradados 111
4.5 DEFINIÇÕES DE *HARDWARE* E *SOFTWARE* 112
4.6 AVALIAÇÃO PRELIMINAR DAS CONDIÇÕES DA PLANTA 114
4.7 CRONOGRAMA DE IMPLANTAÇÃO 114
4.8 DOCUMENTAÇÃO 114
4.9 REFERÊNCIAS 115

CAPÍTULO 5

Identificação de Processos 117

5.1 IDENTIFICAÇÃO DE PROCESSOS 119
5.1.1 Planejamento e Execução dos Testes na Planta. 120
5.1.2 Definição da Classe de Modelos 132
5.1.3 Ajuste dos Parâmetros do Modelo. 136
5.1.4 Validação do Modelo Obtido 139
5.2 FERRAMENTA DE VISUALIZAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE PROCESSOS (VIP) 142
5.3 EXEMPLO DE IDENTIFICAÇÃO DE MODELOS DINÂMICOS 159
5.4 TÓPICOS AVANÇADOS E PERSPECTIVAS FUTURAS PARA IDENTIFICAÇÃO 161
5.5 REFERÊNCIAS 164

CAPÍTULO 6

Introdução aos Algoritmos de Controle Preditivo 167

6.1 CONTROLE PREDITIVO MULTIVARIÁVEL (CPM) 169
6.2 DETALHES DO CONTROLADOR PREDITIVO MULTIVARIÁVEL (CPM) 174
6.3 O ALGORITMO DMC (*DYNAMIC MATRIX CONTROL*) 176
6.3.1 *Dynamic Matrix Control* (DMC) – Caso Monovariável (SISO) 177
6.3.2 *Dynamic Matrix Control* (DMC) – Caso Multivariável (MIMO) . . . 180
6.3.3 Exemplos de Simulações do Desempenho de um CPM 183
6.4 REFERÊNCIAS 188

CAPÍTULO 7

Algoritmos para Controle Preditivo Multivariável (CPM) 191

7.1 CONTROLADOR QDMC (*QUADRATIC DYNAMIC MATRIX CONTROL*) 193
7.2 CONTROLADOR LDMC (*LINEAR DYNAMIC MATRIX CONTROL*). . 199
7.3 HORIZONTE DE CONTROLE NÃO IGUALMENTE ESPAÇADO . . 200
7.4 CONTROLADOR DMC PARA SISTEMAS INTEGRADORES. 202
7.5 IMPLEMENTAÇÃO DE UM CONTROLADOR PREDITIVO MULTIVARIÁVEL. 207
7.6 REFERÊNCIAS 210

CAPÍTULO 8

Otimização em Tempo Real de Processos 211

8.1 INTRODUÇÃO 213
8.2 CONTROLADOR PREDITIVO MULTIVARIÁVEL (CPM) COM OTIMIZADOR 220
8.2.1 Predição em Malha Aberta 221
8.2.2 Camada de Otimização (LP) do Controle Avançado 222
8.3 OTIMIZADOR SIMPLIFICADO EM TEMPO REAL 223
8.3.1 Problema de Programação Linear (LP – *Linear Programming*) 227
8.3.2 Detalhes do Otimizador para Evitar Solução Inviável 228
8.3.3 Detalhes das Restrições do Otimizador 229
8.3.4 Otimização por Meio do Controle Avançado 231
8.3.5 Interligação do RTO com a Camada de Otimização do CAV 235
8.4 REFERÊNCIAS 236

CAPÍTULO 9

Sintonia do Controle Preditivo Multivariável – CPM 239

9.1 INTRODUÇÃO 241
9.2 PROCESSO DE SINTONIA DO CONTROLADOR PREDITIVO 243
9.2.1 Sintonia da Camada Dinâmica 243
9.2.2 Sintonia da Camada de Otimização 246
9.3 METODOLOGIA DE SINTONIA DO CONTROLADOR PREDITIVO DO TIPO DMC 246
9.3.1 Sintonia da Camada de Controle do CPM 250
9.3.2 Sintonia da Camada de Otimização do CPM 254
9.3.3 Comissionamento e Sintonia do CPM 256
9.4 SINTONIA DO CONTROLADOR PREDITIVO – SICON 257
9.5 METODOLOGIA AUTOMÁTICA DE SINTONIA DO CONTROLADOR PREDITIVO 260
9.6 EXEMPLO DE UMA SINTONIA DE UM CONTROLADOR PREDITIVO 263
9.6.1 Pré-Sintonia da Camada de Otimização do Controlador 265
9.7 REFERÊNCIAS 278

CAPÍTULO 10

Implementações de Controle Avançado em Plantas de Gás Natural 281

10.1 PLANTA DE RECUPERAÇÃO DE GÁS NATURAL (URGN) 285
10.1.1 Avaliação do Controle Regulatório 287
10.1.2 Implantação do Controle Avançado 290
10.1.3 Avaliação dos Benefícios do Controle Avançado da URGN. 294
10.2 PLANTA DE PROCESSAMENTO DE GÁS NATURAL (UPGN) 296
10.2.1 Avaliação do Controle Regulatório 299
10.2.2 Implantação do Controle Avançado 301
10.2.3 Avaliação dos Benefícios do Controle Avançado da UPGN 306
10.3 REFERÊNCIAS 311

CAPÍTULO 11

Implementações de Controle Avançado em Unidades de Refino de Petróleo . . 313

11.1 INTRODUÇÃO 315
11.2 CONTROLE AVANÇADO EM UNIDADES DE DESTILAÇÃO 317
11.2.1 Controle Avançado de uma Unidade de Destilação 320
11.3 CONTROLE AVANÇADO EM UNIDADES DE CRAQUEAMENTO . . 334
11.3.1 Controle Avançado de uma Unidade de Craqueamento (FCC) 337
11.4 CONTROLE AVANÇADO EM UNIDADES DE COQUEAMENTO . . 346
11.4.1 Controle Avançado de uma Unidade de Coqueamento 348
11.5 REFERÊNCIAS 353

CAPÍTULO 12

Implementações de Controle Avançado em Unidades de Tratamento em Refinarias 355

12.1 INTRODUÇÃO. 357
12.2 UNIDADES DE HIDROTRATAMENTO. 357
12.2.1 Controle Avançado de uma Unidade de Hidrotratamento. 363
12.2.2 Avaliação do Controle Regulatório 363
12.2.3 Implantação do Controle Avançado 370
12.2.4 Avaliação dos Benefícios do Controle Avançado 371
12.3 OUTROS SISTEMAS DE CONTROLE AVANÇADO 372
12.3.1 Unidade de Recuperação de Enxofre (URE). 372

12.3.2 Sistema de Geração de Vapor (Área de Utilidades) 376
12.3.3 Sistema de Mistura em Linha (*Blending*) 377
12.4 REFERÊNCIAS 380

CAPÍTULO 13
Implementações de Controle Avançado em Unidades Petroquímicas e de Fertilizantes. 383
13.1 CONTROLE AVANÇADO EM CENTRAIS DE PRODUTOS PETROQUÍMICOS 385
13.1.1 Controle Avançado dos Fornos de Pirólise 387
13.1.2 Controle Avançado das outras Áreas da Unidade. 393
13.2 CONTROLE AVANÇADO EM UNIDADES DE FERTILIZANTES. . . 398
13.2.1 Controle Avançado de uma Unidade de Fertilizantes (Amônia). . . . 400
13.3 REFERÊNCIAS 410

CAPÍTULO 14
Implementações de Controle Avançado em Unidades de Produção de Petróleo . . 411
14.1 INTRODUÇÃO 414
14.2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO MARÍTIMA DE PETRÓLEO 416
14.3 DESAFIOS PARA CONTROLE E OTIMIZAÇÃO DE UNIDADES DE PRODUÇÃO 421
14.4 CONTROLE ATIVO DE POÇOS DE PETRÓLEO – CONTROLE ANTIGOLFADAS. 423
14.5 MELHORIA DO CONTROLE REGULATÓRIO NAS PLATAFORMAS. 432
14.6 CONTROLE AVANÇADO EM PLATAFORMA – AJUSTE ADAPTATIVO DOS PIDs 437
14.6.1 Descrição do Processo de Produção de Petróleo 443
14.6.2 Resultados do Controle Avançado para as Plataformas 445
14.7 CONTROLE MULTIVARIÁVEL E OTIMIZAÇÃO EM TEMPO REAL 449
14.7.1 Controle Avançado – MPC para as Plataformas. 451
14.7.2 Otimização da Produção em Tempo Real 453

14.8 SISTEMAS AVANÇADOS DE AUTOMAÇÃO 455
14.9 AMBIENTES REMOTOS PARA SUPORTAR A OTIMIZAÇÃO EM TEMPO REAL. 455
14.10 SIMULAÇÃO SIMPLIFICADA DE UMA PLATAFORMA 457
14.11 REFERÊNCIAS. 465

CAPÍTULO 15
Desafios para as Tecnologias de Controle Avançado e Otimização de Processos . . 469
15.1 SISTEMAS DE DIAGNÓSTICO E ACOMPANHAMENTO DO DESEMPENHO 472
15.2 DESAFIOS PARA A AVALIAÇÃO DOS BENEFÍCIOS DOS CONTROLADORES 478
15.3 DESAFIOS E MELHORIAS PARA OS CONTROLADORES ATUAIS 478
15.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS 481
15.5 REFERÊNCIAS. 482