
SUMÁRIO

Apresentação	VII
Prefácio	IX

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO À TERMODINÂMICA DOS GASES INDUSTRIAIS	1
1.1 INTRODUÇÃO	1
1.1.1 Estados de uma substância.....	1
1.1.2 Mol de uma substância.....	2
1.1.3 Peso molecular	2
1.1.4 Gás ideal e real.....	2
1.1.5 Massa específica de um gás ideal.....	4
1.1.6 Densidade de um gás ideal.....	5
1.1.7 Fator de compressibilidade	6
1.1.8 Trabalho e calor.....	7
1.1.9 Energia potencial.....	10
1.1.10 Energia cinética.....	11
1.1.11 Energia interna	12
1.1.12 Entalpia	13
1.2 PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA	14
1.3 PROCESSOS TERMODINÂMICOS.....	16
1.3.1 Volume de controle ou sistema.....	17
1.3.2 Processo reversível	17
1.3.3 Processo irreversível.....	17
1.3.4 Processo isobárico.....	18
1.3.5 Processo isométrico	20
1.3.6 Processo isotérmico	21

1.3.7 Processo adiabático.	22
1.3.8 Processo isentrópico	25
1.3.9 Processo politrópico	26
1.4 SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA	29
1.4.1 Entropia	29
1.5 EXERCÍCIOS RESOLVIDOS	32

CAPÍTULO 2

PRINCIPAIS TIPOS DE COMPRESSORES INDUSTRIAIS.	37
2.1 INTRODUÇÃO	37
2.2 COMPRESSOR DE PALHETAS	37
2.2.1 Funcionamento	39
2.3 COMPRESSOR DE LÓBULOS	41
2.4 COMPRESSOR DE PARAFUSOS	42
2.4.1 Funcionamento	43
2.4.2 Sobrecompressão	45
2.4.3 Subcompressão	45
2.4.4 Compressão ideal	45
2.4.5 Compressor lubrificado – separação e refrigeração do gás e óleo	46
2.4.6 Compressor não lubrificado ou isento	47
2.5 COMPRESSOR DE DIAFRAGMA	48
2.5.1 Funcionamento	49
2.5.2 Aplicação	49
2.6 COMPRESSOR ALTERNATIVO DE PISTÃO	50
2.6.1 Funcionamento	51
2.7 COMPRESSOR DINÂMICO	51
2.7.1 Funcionamento	52
2.8 CAMPO DE APLICAÇÃO DOS COMPRESSORES INDUSTRIAIS.	55

CAPÍTULO 3

CÁLCULO TERMODINÂMICO E CONTROLE DE CAPACIDADE	57
3.1 INTRODUÇÃO	57
3.2 CICLO IDEAL DE COMPRESSÃO.	57
3.2.1 Processo 1–2: Compressão adiabática e reversível	59
3.2.2 Processo 2–3: Descarga isobárica e isotérmica	59
3.2.3 Processo 3–4: Expansão adiabática e reversível	60
3.2.4 Processo 4–1: Admissão isobárica e isotérmica	60

3.3 VOLUME DESLOCADO	61
3.4 VOLUME MORTO.....	61
3.5 EFICIÊNCIA VOLUMÉTRICA TEÓRICA.....	62
3.5.1 Eficiência volumétrica teórica medida na admissão.....	62
3.5.2 Eficiência volumétrica teórica medida na descarga	64
3.6 RAZÃO DE COMPRESSÃO	65
3.7 RAZÃO DE COMPRESSÃO MÁXIMA.....	65
3.8 TRABALHO E POTÊNCIA DE COMPRESSÃO	66
3.8.1 Trabalho adiabático reversível de compressão	66
3.8.2 Potência adiabática reversível de compressão.....	71
3.9 VAZÃO OU CAPACIDADE DO COMPRESSOR.....	72
3.9.1 Vazão mássica	73
3.9.2 Vazão volumétrica	74
3.10 TEMPERATURA ISENTRÓPICA DE DESCARGA	74
3.11 CORREÇÕES DO CICLO IDEAL OU TEÓRICO PARA O REAL	75
3.11.1 Correção para a não idealidade do gás.....	75
3.11.2 Eficiência termodinâmica da compressão	76
3.11.3 Eficiência mecânica do compressor	77
3.11.4 Potência de acionamento.....	79
3.11.5 Variação da vazão e potência com a razão de compressão	79
3.11.6 Correções para a eficiência volumétrica teórica	80
3.11.7 Correção para a temperatura isentrópica de compressão	82
3.12 RAZÃO DE COMPRESSÃO NA COMPRESSÃO EM MÚLTIPLOS ESTÁGIOS.....	83
3.13 PRESSÕES INTERMEDIÁRIAS NÃO BALANCEADAS	84
3.14 NECESSIDADE DA COMPRESSÃO EM MÚLTIPLOS ESTÁGIOS COM ARREFECIMENTO	90
3.15 COMPORTAMENTO REAL DO FLUXO DE CALOR NO CILINDRO REFRIGERADO	91
3.16 REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA NA COMPRESSÃO EM MÚLTIPLOS ESTÁGIOS COM ARREFECIMENTO	93
3.17 MÉTODOS DE CONTROLE DE CAPACIDADE	95
3.17.1 Partida e parada do compressor	95
3.17.2 Variação de rotação	96
3.17.3 Redução da pressão de admissão	97
3.17.4 Alívio das válvulas de admissão	97
3.17.5 Variação do volume morto	99
3.17.6 Variação do número de cilindros ativos no primeiro estágio.....	100
3.17.7 Variação do curso efetivo do pistão	101

3.17.8 Recirculação da descarga para a admissão	102
3.17.9 Utilização de compressor <i>booster</i>	103
3.18 EXERCÍCIOS RESOLVIDOS.....	103

CAPÍTULO 4

FORÇAS, MOMENTOS E ELEMENTOS DE VIBRAÇÃO	125
4.1 INTRODUÇÃO	125
4.2 CINEMÁTICA DO MECANISMO BIELA E MANIVELA.....	127
4.2.1 Posição do pistão.....	127
4.2.2 Velocidade do pistão	129
4.2.3 Aceleração do pistão.....	129
4.3 CARGAS DINÂMICAS NA ESTRUTURA DO COMPRESSOR.....	130
4.3.1 Força na haste devido à pressão do gás	131
4.3.2 Força na biela devido à pressão do gás.....	131
4.3.3 Momento resistente devido à pressão do gás	132
4.3.4 Forças que atuam no mecanismo biela e manivela devido à inércia	133
4.3.5 Momento resistente devido à força de inércia	136
4.4 POSIÇÃO DO PISTÃO NO DIAGRAMA $p \times V$ DO CICLO IDEAL DE COMPRESSÃO.....	138
4.4.1 Posição do pistão.....	139
4.4.2 Pressão e posição do pistão na compressão do lado da haste	140
4.4.3 Pressão e posição do pistão na expansão do lado da haste	141
4.4.4 Pressão e posição do pistão na compressão do lado da tampa	142
4.4.5 Pressão e posição do pistão na expansão do lado da tampa	143
4.5 GRAU DE IRREGULARIDADE	145
4.6 CÁLCULO DE DESEMPENHO OU SIMULAÇÃO DE COMPRESSORES ALTERNATIVOS.....	147
4.6.1 Relatório geral de uma simulação.....	148
4.7 ELEMENTOS DE VIBRAÇÃO	153
4.7.1 Vibração torsional do conjunto rotativo	154
4.7.2 Exercício resolvido	164
4.8 INTERAÇÃO DAS CARGAS DINÂMICAS COM O BLOCO DE CONCRETO DA BASE E A FUNDAÇÃO	168
4.8.1 Resposta da base às excitações das cargas dinâmicas.....	169
4.8.2 Cargas devido ao momento de acionamento	170
4.8.3 Cargas de inércia transferidas para a base	171
4.8.4 Momentos devido à inércia transferidos para a base.....	174

CAPÍTULO 5

PRINCIPAIS COMPONENTES E ACESSÓRIOS	179
5.1 INTRODUÇÃO	179
5.2 APLICAÇÃO DE PARAFUSOS	179
5.2.1 Geometria da rosca	180
5.2.2 Dimensão da rosca	180
5.2.3 Cargas desenvolvidas numa junta aparafusada	180
5.2.4 Torque de pré-carga para os parafusos	184
5.2.5 Flexão dos parafusos	185
5.2.6 Tensão crítica na rosca	185
5.2.7 Roscas em alumínio e magnésio	186
5.2.8 Travamento de porcas e parafusos	186
5.3 VEDAÇÕES E JUNTAS	186
5.4 CILINDROS	187
5.4.1 Materiais utilizados na construção dos cilindros	188
5.4.2 Cilindros de baixa pressão	188
5.4.3 Cilindros de média pressão	189
5.4.4 Cilindros de média e alta pressões em <i>tandem</i>	189
5.4.5 Cilindro de altíssima pressão	190
5.5 CAMISA DO CILINDRO	191
5.6 PISTÕES	192
5.6.1 Pistão inteiro	193
5.6.2 Pistão partido	193
5.6.3 Material para pistão	193
5.6.4 Conexão do pistão com a haste	196
5.6.5 Pistões ocios	198
5.6.6 Diferença entre pistão e êmbolo	200
5.7 HASTE DO PISTÃO	200
5.7.1 Tipos de haste para pistão	201
5.7.2 Haste com um pistão	201
5.7.3 Haste com dois pistões em <i>tandem</i>	201
5.7.4 Haste passante	202
5.7.5 Material para haste do pistão	202
5.7.6 Alinhamento da haste	204
5.7.7 Lubrificação da haste	204
5.7.8 Fixação da haste na cruzeta	204
5.7.9 Projeto geométrico da haste	206

5.8 CRUZETA.....	206
5.9 PINO DA CRUZETA	207
5.10 BIELA.....	207
5.11 EIXO DE MANIVELAS	209
5.12 CASQUILHOS DOS MANCAIS FIXOS OU PRINCIPAIS.....	210
5.13 BLOCO OU CÁRTER DO COMPRESSOR.....	211
5.14 FUNDAÇÃO E BASE DE CONCRETO ARMADO.....	212
5.15 VASO DE PRESSÃO.....	213
5.15.1 Vasos para armazenagem de gás.....	213
5.15.2 Vasos separadores de condensado	214
5.15.3 Vasos amortecedores de pulsação da pressão.....	214
5.16 NORMA REGULAMENTADORA Nº 13 (NR-13)	215
5.16.1 Válvula de segurança	215

CAPÍTULO 6

VEDAÇÃO DAS VÁLVULAS E SEU MECANISMO DE FUNCIONAMENTO	219
6.1 INTRODUÇÃO	219
6.2 O QUE É UMA VÁLVULA?	221
6.3 COMPONENTES DAS VÁLVULAS	221
6.4 FUNÇÃO DAS VÁLVULAS	222
6.4.1 Processo de admissão	222
6.4.2 Processo de compressão.....	223
6.4.3 Processo de descarga	223
6.4.4 Trabalho realizado por ciclo	223
6.5 MECANISMOS DE FUNCIONAMENTO DO ELEMENTO DE VEDAÇÃO.....	223
6.5.1 Escoamento do gás	224
6.5.2 Diferença entre os eventos de admissão e de descarga	225
6.6 TIPOS DE VÁLVULAS UTILIZADAS.....	226
6.6.1 Elemento de vedação do tipo retangular	226
6.6.2 Elemento de vedação do tipo <i>feather</i>	227
6.6.3 Elemento de vedação do tipo canal	228
6.6.4 Elemento de vedação do tipo anéis concêntricos.....	229
6.6.5 Elemento de vedação do tipo disco plano	230
6.6.6 Elementos de vedação do tipo <i>poppet</i>	231
6.7 MATERIAIS UTILIZADOS EM VÁLVULAS.....	232
6.7.1 Materiais para o elemento de vedação	233
6.7.2 Molas do elemento de vedação	234
6.8 INFLUÊNCIA DA VÁLVULA NO DESEMPENHO DO COMPRESSOR.....	234

CAPÍTULO 7

VEDAÇÃO PARA PISTÃO E HASTE	237
7.1 INTRODUÇÃO	237
7.2 VEDAÇÃO DO PISTÃO	237
7.2.1 Diferencial de pressão para vedação	238
7.2.2 Mecanismo de funcionamento dos anéis de vedação	238
7.2.3 Quantidade de anéis de vedação	240
7.2.4 Vida útil estimada para os anéis de vedação	242
7.2.5 Folga entre pontas dos anéis de vedação (<i>gap</i>)	242
7.2.6 Anel-guia do pistão	243
7.3 LUBRIFICAÇÃO DOS ANÉIS	248
7.4 VELOCIDADE MÉDIA DO PISTÃO	249
7.5 POSIÇÃO DAS VÁLVULAS MONTADAS NO CILINDRO	249
7.6 RANHURAS DE ALÍVIO	249
7.7 RUGOSIDADE DA CAMISA DO CILINDRO	250
7.8 MONTAGEM DOS ANÉIS-GUIA E DE VEDAÇÃO	251
7.9 VEDAÇÃO DO PISTÃO	251
7.10 VEDAÇÃO DA HASTE DO PISTÃO	252
7.10.1 Mecanismo de vedação	253
7.10.2 Gaxetas	253
7.10.3 Jogos direcionais	256
7.10.4 Caixa de gaxetas ou de vedação	257
7.10.5 Engaxetamento lubrificado	258
7.10.6 Engaxetamento refrigerado	259
7.10.7 Aspectos ambientais e de segurança	259
7.10.8 Mecanismo de funcionamento do engaxetamento	260
7.10.9 Tipos de gaxetas	260
7.10.10 Marcação das faces	262
7.10.11 Montagem correta das gaxetas	262
7.10.12 Montagens incorretas	263
7.10.13 Mola das gaxetas	264
7.10.14 Pinos	264
7.10.15 Construção das caixas de gaxetas	264
7.10.16 Vedação entre as caixas	265
7.10.17 Tolerância de fabricação	265
7.10.18 Caixas providas de lubrificação	266
7.10.19 Caixas refrigeradas	267
7.10.20 Materiais utilizados nas caixas de gaxetas	268
7.10.21 Montagem do engaxetamento	269
7.10.22 Anel raspador de óleo	269

7.11 SELEÇÃO DE MATERIAIS PARA VEDAÇÃO	272
7.12 RECOMENDAÇÕES PARA MAXIMIZAR O DESEMPENHO DAS VEDAÇÕES	272

CAPÍTULO 8

SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO	275
8.1 INTRODUÇÃO	275
8.2 NECESSIDADE DE REFRIGERAÇÃO	275
8.3 CARACTERÍSTICAS DOS FLUIDOS REFRIGERANTES	276
8.3.1 Água	276
8.3.2 Ar atmosférico.....	276
8.4 CONCEPÇÃO DO PROJETO DE REFRIGERAÇÃO	276
8.5 CLASSIFICAÇÃO DOS COMPRESSORES QUANTO AO TIPO DE SERVIÇO EXECUTADO	277
8.5.1 Compressores para serviços leves e médios	277
8.5.2 Compressores para serviços pesados	278
8.5.3 Classificação quanto ao sistema de refrigeração.....	279
8.5.4 Refrigeração com circulação forçada	280
8.6 BOMBAS DE CIRCULAÇÃO DO FLUIDO REFRIGERANTE.....	283
8.7 REFRIGERAÇÃO DO CILINDRO	283
8.8 RESFRIAMENTO DO REFRIGERANTE	285
8.9 RESFRIADOR A AR	285
8.9.1 Resfriador a ar na vertical	286
8.9.2 Resfriador a ar na horizontal.....	286
8.10 TAMPA DO TANQUE DE EXPANSÃO.....	288
8.11 VENTILADORES.....	288
8.11.1 Acionamento dos ventiladores	289
8.12 CONTROLE DE CAPACIDADE DO RESFRIADOR A AR.....	290
8.13 VÁLVULAS TERMOSTÁTICAS PARA O FLUIDO REFRIGERANTE.....	291
8.14 REFRIGERAÇÃO DO BLOCO DO COMPRESSOR.....	292
8.15 TROCADOR DE CALOR DO TIPO CASCO-TUBO	293
8.15.1 Tubos aletados.....	293
8.15.2 Materiais utilizados na construção de tubos de troca térmica	295
8.16 MANUTENÇÃO DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO	296

CAPÍTULO 9

SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO	301
9.1 INTRODUÇÃO	301
9.2 MECANISMO DE FORMAÇÃO DA FORÇA DE ATRITO	301
9.2.1 Atrito seco	302
9.2.2 Atrito fluido.....	302

9.3 LUBRIFICAÇÃO HIDRODINÂMICA	303
9.3.1 Mecanismo de formação da lubrificação hidrodinâmica	303
9.4 DESEMPENHO DA LUBRIFICAÇÃO EM UM MANCAL DE DESLIZAMENTO	304
9.4.1 Cavitação em mancais de deslizamento	306
9.5 ORIGEM DOS LUBRIFICANTES.....	306
9.6 APRESENTAÇÃO DOS LUBRIFICANTES	307
9.6.1 Características das graxas.....	307
9.6.2 Características dos óleos	307
9.6.3 Objetivos da lubrificação	308
9.6.4 Propriedades dos lubrificantes	308
9.6.5 Aditivos para os lubrificantes	309
9.7 TRATAMENTO DO ÓLEO LUBRIFICANTE	311
9.7.1 Filtragem mecânica.....	311
9.7.2 Centrifugação	311
9.7.3 Refrigeração.....	312
9.8 CLASSIFICAÇÃO DOS COMPRESSORES QUANTO À LUBRIFICAÇÃO ...	312
9.8.1 Cilindros não lubrificados.....	312
9.8.2 Cilindros lubrificados.....	313
9.8.3 Lubrificação do bloco do compressor	318
9.8.4 Bomba de circulação de óleo.....	318
9.8.5 Válvulas termostáticas para o lubrificante.....	320
9.8.6 Trocador de calor – lubrificação.....	320
9.8.7 Filtro para óleo lubrificante.....	320
9.8.8 Plugue magnético	320
9.8.9 Reservatório ou cárter	321
9.8.10 Suspiro do reservatório ou cárter	321
9.9 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA LUBRIFICAÇÃO.....	322
9.9.1 Lubrificação dos mancais principais	322
9.9.2 Buchas de biela e pistas da cruzeta	322
9.10 ARMAZENAGEM E MANUSEIO DOS LUBRIFICANTES.....	323
9.11 INFLUÊNCIA DO GÁS NA QUALIDADE DA LUBRIFICAÇÃO	323
9.11.1 Presença de partículas sólidas no gás.....	323
9.11.2 Presença de condensado	324
9.11.3 Gás inflamável.....	324

CAPÍTULO 10

INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO DA BASE	325
10.1 INTRODUÇÃO	325
10.2 PRINCIPAIS FUNÇÕES DA BASE	326
10.3 CONSTRUÇÃO DO BLOCO DE CONCRETO ARMADO	328
10.3.1 Utilização do aço no concreto	328
10.3.2 Cimento Portland	329
10.3.3 Cargas suportadas pela base	332
10.3.4 Graute	333
10.3.5 Parafusos de ancoragem	340
10.3.6 Deterioração do concreto da base pelo efeito hidráulico	342
10.3.7 Juntas de expansão	342
10.4 PREPARAÇÃO DA BASE PARA REPARO	343
10.4.1 Planejamento do reparo e aplicação do graute	345
10.4.2 Perda de desempenho da base de concreto armado	345
10.5 DEFEITOS CAUSADOS PELO DESEMPENHO INSUFICIENTE DA BASE ...	346
10.5.1 Níveis elevados de vibração	346
10.5.2 Falha dos parafusos de ancoragem	346
10.5.3 Falha dos parafusos de fixação da guia das cruzetas ao bloco	346
10.6 INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO DA BASE	346
10.6.1 Bloco de concreto armado	347
10.6.2 Parafusos de ancoragem	348
10.7 ELEMENTOS PARA AVALIAR A BASE	349

CAPÍTULO 11

MONITORAÇÃO E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO	351
11.1 INTRODUÇÃO	351
11.2 VISÃO GERAL DA MONITORAÇÃO	353
11.3 MONITORAÇÃO DA VIBRAÇÃO	353
11.3.1 Acelerômetro	354
11.3.2 Sensor de proximidade Eddy Probe	355
11.3.3 Vibração do bloco do compressor	356
11.3.4 Vibração do mancal principal	356
11.3.5 Vibração da guia da cruzeta	357
11.3.6 Queda de haste ou <i>rod drop</i>	358
11.3.7 Flexão dinâmica da haste ou <i>rod run out</i>	363
11.3.8 Vibração do resfriador a ar	364
11.4 MONITORAÇÃO DA TEMPERATURA	364
11.4.1 Medição da temperatura	365
11.4.2 Temperatura dos mancais fixos	365

11.4.3	Temperatura das válvulas	365
11.4.4	Temperatura do gás	366
11.5	MONITORAÇÃO DA PRESSÃO	367
11.5.1	Medição da pressão	368
11.5.2	Pressão estática	368
11.5.3	Pressão dinâmica do cilindro	369
11.6	ÂNGULO DE FASE – <i>KEYPHASOR</i>	369
11.7	CARGA COMBINADA NA HASTE E ÂNGULO DE INVERSÃO	370
11.8	MONITORAÇÃO DO <i>STATUS</i> DOS DESCARREGADORES OU <i>UNLOADERS</i>	371
11.9	EMPREGO DO ULTRASSOM NA MONITORAÇÃO DAS VÁLVULAS	372
11.10	MONITORAÇÃO DA CAPACIDADE	373
11.11	INTERPRETAÇÃO DO DIAGRAMA $p \times V$ (PRESSÃO \times VOLUME)	375
11.11.1	Diagrama $p \times V$ – vazamento pela válvula de descarga	375
11.11.2	Diagrama $p \times V$ – vazamento pela válvula de admissão	377
11.11.3	Vazamento pela vedação do pistão	379
11.11.4	Vazamento pelo engaxetamento da haste	380
11.12	<i>SET</i> DE ALARMES SEGMENTADOS	382
11.12.1	Programas utilizados	382
11.12.2	Filosofia dos programas	383
11.12.3	Recursos técnicos dos programas	383
11.12.4	Segurança do sistema informatizado	383
11.12.5	Interface de comunicação	384
11.13	INSTALAÇÃO DOS SENSORES E CLPs	384
11.14	MANUTENÇÃO DO SISTEMA	384
11.15	CAPACITAÇÃO DOS RECURSOS HUMANOS	384
CAPÍTULO 12		
ASPECTOS E IMPACTOS DE SEGURANÇA, MEIO AMBIENTE E SAÚDE ..		387
12.1	INTRODUÇÃO	387
12.2	CONCEPÇÃO MODERNA DE SEGURANÇA	387
12.3	AGENTES IMPACTANTES	388
12.3.1	Vazamentos de gás	388
12.3.2	Vazamentos dos fluidos de lubrificação e refrigeração	388
12.3.3	Emissões tóxicas ou poluentes do acionador	389
12.3.4	Nível de ruído	389
12.3.5	Temperaturas elevadas	390
12.3.6	Tensão elétrica	391
12.3.7	Explosão e incêndio	391
12.3.8	Pressão elevada	393

12.3.9 Trabalho em altura e posição anti-ergonômica	394
12.3.10 Movimentação e elevação de carga	394
12.4 ASPECTOS COMPORTAMENTAIS	395
12.4.1 Capacitação dos recursos humanos	395
12.4.2 Alterações de projeto	395
12.4.3 Planejamento de segurança	395
12.4.4 Registro histórico	395
12.5 DISPOSITIVOS DE ALARME E PARADA AUTOMÁTICA DE SEGURANÇA	395
12.6 OPERAÇÃO	396
12.6.1 Ações preventivas durante a partida	396
12.6.2 Ações preventivas durante a parada do compressor para manutenção ..	398
12.7 PREPARAÇÃO DO COMPRESSOR PARA A MANUTENÇÃO	398
12.7.1 Despressurização do compressor	398
12.7.2 Travamento mecânico do compressor	399
12.7.3 Drenagem do fluido de refrigeração	399
12.8 DESMONTAGEM, MONTAGEM E PRÉ-OPERAÇÃO	399
12.8.1 Vazamentos de gases e líquidos	400
12.8.2 Desmontagem do pistão	400
12.8.3 Reutilização de parafusos	400
12.8.4 Utilização de ferramentas	400
12.8.5 Inspeção e limpeza	401
12.8.6 Lubrificação	401
12.8.7 Vibração	402
APÊNDICE I	
EQUAÇÕES PARA O CÁLCULO DO FATOR DE COMPRESSIBILIDADE (Z) ..	403
I.2 EQUAÇÃO CÚBICA VIRIAL	403
I.2.1 Equação de estado cúbica	406
I.3 EQUAÇÃO CÚBICA DE REDLICH-KWONG	407
I.4 EQUAÇÃO CÚBICA DE PENG-ROBINSON	408
I.5 EQUAÇÃO DE LEE KESLER	408
I.6 EQUAÇÃO DO <i>GAS PROCESSOR SUPPLIERS ASSOCIATION</i> (GPSA)	410
APÊNDICE II	
PROPRIEDADES DE GASES INDUSTRIAIS E TABELA PARA CONVERSÃO DE UNIDADE	411
Referências	417