

Sumário

Apresentação	IX
Prefácio	XI
Minicurrículo do Autor	XIII

Capítulo 1

CÁLCULOS, CONCEITOS E DEFINIÇÕES	1
1.1 Cálculos de Combustão.	1
1.1.1 Introdução	1
1.1.2 Ar de combustão	4
1.1.3 Equações básicas de combustão	5
1.2 Poder Calorífico.	15
1.2.1 Definição	15
1.2.2 Poder calorífico superior e inferior	15
1.2.3 Determinação do poder calorífico.	16
1.3 Ignição	20
1.4 Temperatura Adiabática e Efetiva da Chama	24
1.5 Emissividade dos Gases de Combustão e da Chama	26
1.6 Eficiência de Combustão.	28

Capítulo 2

COMBUSTÍVEIS INDUSTRIAIS	31
2.1 Introdução	31

2.2	Composição dos Combustíveis	33
2.2.1	Hidrocarbonetos	34
2.3	Petróleo	37
2.3.1	Processamento primário	37
2.4	Combustíveis Derivados da Destilação de Petróleo	40
2.4.1	Introdução	40
2.4.2	Refino	42
2.5	Gás Natural	46
2.5.1	Processamento de gás natural	47
2.5.2	Transporte de gás natural	48
2.5.3	Distribuição de gás natural	49
2.6	Óleo e Gás de Xisto	50
2.7	Gás CO	50

Capítulo 3

TECNOLOGIA DE COMBUSTÃO DE GASES	53	
3.1	Densidade Relativa e Absoluta	53
3.2	Poder Calorífico	55
3.3	Calor Específico	56
3.4	Jatos	57
3.4.1	Jatos livres	57
3.4.2	Jatos livres com rotação	59
3.4.3	Jatos confinados	61
3.4.4	Expansão dos jatos em caldeiras	65
3.5	Velocidade de Queima	66
3.6	Chamas de Gás	69
3.6.1	Chamas pré-misturadas	69
3.6.2	Chamas de difusão	70
3.6.3	Chamas turbulentas	70
3.6.4	Estabilidade de chamas	72
3.7	Limites de Inflamabilidade	76
3.7.1	Influência dos gases inertes nos limites de inflamabilidade	78

3.7.2	Influência da temperatura e pressão nos limites de inflamabilidade	80
3.7.3	Determinação dos limites de inflamabilidade	84
3.8	Índice de Wobbe	86
3.9	Intercambiabilidade de gases	87
3.10	Combustíveis Gasosos	91
3.10.1	Gás natural (GN)	91
3.10.2	Gás de refinaria (GRef.)	99
3.10.3	Gás liquefeito de petróleo (GLP)	100
3.10.4	Odorização	101
3.11	Rede Interna de Gás	102

Capítulo 4

TECNOLOGIA DE COMBUSTÃO DE LÍQUIDOS	105	
4.1	Propriedades de combustíveis líquidos	105
4.1.1	Poder calorífico	105
4.1.2	Densidade	106
4.1.3	Ponto de fluidez (<i>Pour Point</i>)	107
4.1.4	Viscosidade	107
4.1.5	Ponto de fulgor (<i>Flash Point</i>) e Ponto de ignição (<i>Fire Point</i>)	109
4.1.6	Água e sedimentos	110
4.1.7	Asfaltenos	111
4.1.8	Resíduo de carbono	111
4.1.9	Cinzas	112
4.1.10	Enxofre	112
4.2	Estabilidade e Compatibilidade	113
4.2.1	Estabilidade	113
4.2.2	Compatibilidade	113
4.3	Características dos Óleos Combustíveis Brasileiros	114
4.3.1	Óleo combustível	114
4.3.2	Óleo diesel	118
4.3.3	Óleo de xisto	123

4.4	Sistema de Alimentação de Óleo Combustível	124
4.4.1	Bombas.	125
4.4.2	Aquecedores de óleo	126
4.4.3	Filtros de óleo	126
4.4.4	Tanques de armazenamento	127
4.5	Combustão de Líquidos	127
4.5.1	Atomização por ação mecânica.	129
4.5.2	Atomização com fluido auxiliar (ar ou vapor)	131

Capítulo 5

QUEIMADORES	135	
5.1	Introdução	135
5.2	Queimadores Empregados em Caldeiras	136
5.2.1	Queimadores a gás.	137
5.2.2	Queimadores a óleo.	138
5.2.3	Queimadores dual	142
5.2.4	Queimadores de alta eficiência.	146

Capítulo 6

FORNALHAS (Câmaras de Combustão)	149	
6.1	Introdução	149
6.2	Caldeiras Flamatubulares	150
6.3	Caldeiras Aquatubulares.	152
6.3.1	Refratário	153
6.3.2	Recirculação de gases	154
6.3.3	Difusores de queimadores frontais	156
6.3.4	Vibração (frequência)	160
6.4	Inclusão de Gás Natural em Caldeiras que Queimam somente Óleo Combustível.	162
6.4.1	Caldeira flamatubular	162
6.4.2	Caldeira aquatubular	162

Capítulo 7

NORMAS DE SEGURANÇA ADOTADAS EM SISTEMAS DE COMBUSTÃO	165
7.1 Introdução	165
7.2 Instalações de Alguns Esquemas Típicos de Operação com Óleo e Gás em Caldeiras	166
7.2.1 Caldeiras que possuem somente um queimador	166
7.2.2 Caldeiras que possuem múltiplos queimadores	169
7.2.3 Sistemas de ignição (pilotos)	171
7.3 Sensores de Chama	173
7.3.1 Introdução	173
7.3.2 <i>Flame Rod</i>	174
7.3.3 Sensores Óticos	174

Capítulo 8

CONTROLE DE COMBUSTÃO	177
8.1 Controle de Combustão em Paralelo	178
8.2 Controle de Combustão com Limites Cruzados	179
8.3 Controle de Combustão com Limites Cruzados com Analisador de Oxigênio	180

Capítulo 9

POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA	183
9.1 Introdução	183
9.2 Conversão de Unidades de Concentração de Gases	193
9.3 Conversão de Unidades de Concentração de Poluentes	194
9.4 Formação de Poluentes em Processos de Combustão	195
9.4.1 Material particulado	195
9.4.2 CO e CO ₂	200
9.4.3 NO _x (NO e NO ₂)	202
9.4.4 SO _x (SO ₂ , SO ₃)	204
9.5 Analisadores de Diversos Componentes	205

Capítulo 10

CORROSÃO	207
10.1 Cinzas Fundidas	207
10.2 Condensação Ácida.....	211

Capítulo 11

OTIMIZAÇÃO DA COMBUSTÃO	219
11.1 Análises de Gases	219
11.1.1 Analisadores portáteis	220
11.1.2 Analisadores contínuos	222
11.2 Preaquecedores de Ar	226
11.2.1 Preaquecedores de ar tubular	226
11.2.2 Preaquecedores de ar regenerativo	228
11.3 Ramonagem.....	229
11.4 Tiragem	232

Capítulo 12

ACIDENTES	235
12.1 Introdução	235
12.2 Explosão em uma Caldeira Aquatubular – 1º Caso	235
12.3 Explosão em uma Caldeira Aquatubular – 2º Caso	238

Capítulo 13

OPERAÇÃO EM UNIDADES DE GERAÇÃO DE VAPOR	241
13.1 Sistema de Óleo Combustível.....	241
13.1.1 Tanques de armazenamento e tubulações	241
13.1.2 Combustão	245
13.1.3 Outras manobras operacionais	254
13.2 Sistema de Gás Combustível.....	255
13.2.1 Combustão	255
13.2.3 Outras manobras operacionais	256
13.3 Manobras comuns para os dois tipos de sistemas	258

Apêndice

Ponto de Orvalho	265
Emissões de Gases de Combustão.....	269

REFERÊNCIAS	275
--------------------------	------------