

Sumário

1	CONCEITOS BÁSICOS	1
1.1	Definição	1
1.2	Classificação	2
1.2.1	Analisadores Mono e Multicomponentes	2
1.2.2	Analisadores Contínuos e Semicontínuos	2
1.2.3	Analisadores <i>in situ</i> , Extrativos e Extrativos de Acoplamento Próximo	2
1.3	Aplicação e Importância	3
1.4	Particularidades	7
2	ANALISADORES DE OXIGÊNIO	9
2.1	Introdução	9
2.2	Analisadores com Célula de Óxido de Zircônio	9
2.2.1	Princípios	9
2.2.2	Os Instrumentos	11
2.2.3	Cuidados na Instalação e no Uso	15
2.3	Analisadores Baseados no Paramagnetismo	18
2.3.1	O Paramagnetismo	18
2.3.2	Analisador Magnetodinâmico	20
2.3.3	Analisador com Célula de Quinke	22
2.3.4	O Analisador Termoparamagnético	22
2.3.5	Aplicações	24
2.4	Analisadores com Células Eletroquímicas	24
2.4.1	Células Galvânicas ou Voltaicas	24
2.4.2	Células Eletrolíticas ou Polarográficas	25
2.4.3	A Célula Galvânica Tipo Hersh	25

2.4.4	Os Instrumentos	26
2.4.5	Aplicações	27
2.5	Outros Métodos	27
2.6	Calibração	27
	Notas	28
	Nota 2.1 Potências e logaritmos	28
	Nota 2.2 Os Analisadores Extrativos Próximos e os Incineradores	29
3	ANALISADORES POR ABSORÇÃO DE RADIAÇÃO	31
3.1	Introdução	31
3.1.1	O Espectro Eletromagnético	32
3.1.2	Comprimento de Onda, Frequência e Número de Onda – Unidades	32
3.1.3	Interação entre a Matéria e a Energia – a Equação de Plank, os Espectros das Substâncias e a Lei de Lambert e Beer	33
3.2	Análise de Gases e Vapores por Absorção de Radiação na Região Infravermelho Espectro	35
3.2.2	A Subdivisão do Espectro Infravermelho	37
3.2.3	Analisadores Operando na Região Fundamental do Espectro Infravermelho	37
3.2.4	Analisadores no Infravermelho Próximo (NIR)	45
3.2.5	Analisadores Empregando a Interferometria e a Transformada de Fourier	48
	3.2.5A A Transformada de Fourier	48
	3.2.5B O Interferômetro	51
	3.2.5C Os Analisadores FTIR e FTNIR	52
3.3	Análise de Gases por Absorção de Radiação nas Regiões Ultravioleta e Visível do Espectro	56
	Analisadores UV e Fotômetros	56
3.3.1	Introdução	57
3.3.2	O Espectro Ultravioleta	57
3.3.3	O Mecanismo de Interação da Matéria como Ultravioleta	58
3.4	Os Instrumentos e sua Aplicação	58
	Notas	64
	Nota 3.1 Os Monocromadores	64
	Nota 3.1.1 Monocromadores com Prisma	64
	Nota 3.1.2 Monocromadores com Grade de Difração	65
	Nota 3.1.3 Monocromadores com AOTF	65

Nota 3.2	Os <i>Diode Arrays</i>	65
Nota 3.3	As Frequências Harmônicas e a Intermodulação.	66
Nota 3.4	Os Hidrocarbonetos	67
Nota 3.5	A Resolução do Espectro	71
Nota 3.6	Os Detectores com Sensores de Microfluxo.	71
Nota 3.7	Os Detectores Fotoacústicos.	72
4	ANALISADORES DE GASES POR CONDUTIVIDADE TÉRMICA . .	73
4.1	Introdução	73
4.2	Os Instrumentos	77
4.3	Aplicações	78
4.4	Cuidados Especiais	80
Nota	. . . . .	81
Nota 4.1	Os Termistores.	81
5	ANALISADORES DE GASES POR QUIMIOLUMINESCÊNCIA . . .	83
5.1	Conceitos	83
5.2	A medição de NO e NO ₂	83
5.3	Um Instrumento.	84
5.3.1	O Diagrama de Blocos	84
5.3.2	Limitações do Conversor Catalítico	84
5.3.3	A Fotomultiplicadora	86
5.3.4	Outras Considerações	88
5.4	Outras Aplicações	88
5.4.1	Análise de Ozônio	88
5.4.2	Análise de Amônia.	89
5.4.3	Enxofre em Combustíveis	90
5.4.4	Nitrogênio em Derivados de Petróleo	91
Nota	. . . . .	92
Nota 5.1	A Oxidação do Etileno	92
6	FLUORESCÊNCIA SOB RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA	93
6.1	Princípios.	93
6.2	Os Instrumentos	94
6.3	Aplicações	94
6.3.1	A Determinação de Enxofre Total em Derivados de Petróleo Segundo o Método ASTM D 5453	94
6.3.2	Determinação de Aromáticos	94

6.3.3	Determinação de Óleo (Hidrocarbonetos) em Água/Efluentes.	94
6.3.4	Determinação de SO ₂ na Monitoração de Emissões	94
6.3.5	Supervisão de Emissões pelo Sistema “LIDAR” de Fluorescência Ultravioleta	95
7	ANALISADORES POR IONIZAÇÃO DE CHAMA E FOTOIONIZAÇÃO	99
7.1	Conceitos	99
7.2	Aplicações	99
7.3	A Ionização de Chama	100
7.4	A Manutenção dos Detectores por Ionização de Chama.	105
7.5	A Fotoionização	105
7.6	A Calibração.	108
8	CROMATOGRAFIA	109
8.1	Conceito.	109
8.2	Aplicação	109
8.3	Princípios.	110
8.3.1	A Separação Cromatográfica	111
8.3.1 A	A Partição	111
8.3.1 B	A Absorção	112
8.3.1 C	A Interação Iônica	112
8.3.1 D	Matriz de Alta Porosidade	112
8.3.2	Classificação e Utilização.	112
8.3.3	O Cromatograma.	113
8.4	O Cromatógrafo de Processo a Gás	116
8.4.1	O Gás de Arraste.	116
8.4.2	O Condicionamento.	118
8.4.3	A Injeção da Amostra.	119
8.4.4	O Seletor de Amostras.	120
8.4.5	As Colunas	124
8.4.6	Configurações das Colunas	126
8.4.7	Desempenho e Manutenção das Colunas.	126
8.4.8	O Forno – Programação de Temperatura	128
8.4.9	Especificação das Colunas.	128
8.4.10	Os Detectores	130
	O Detector por Condutividade Térmica (DCT).	130
	O Detector por Ionização de Chama (DIC)	131

O Detector Fotométrico de Chama (DFC)	131
Múltiplos Detectores	131
8.4.11 O Metanador	132
8.4.12 Controlador e Interfaces	132
8.4.13 Aspectos Construtivos	132
8.4.14 Montagem	134
8.4.15 Cromatógrafos Dedicados	135
8.4.16 Cromatógrafos no Levantamento da Curva de Destilação	137
8.5 O Cromatógrafo de Processo a Líquido	137
8.6 A Calibração	139
8.7 A Cromatografia Líquida Preparativa	140
Notas	140
Nota 8.1 Moléculas Polares	140
Nota 8.2 A Chave de Cames	141
9 ESPECTRÔMETROS DE MASSA E ESPECTRÔMETROS DE MOBILIDADE IÔNICA	143
9.1 Os Espectrômetros de Massa	143
9.1.1 Introdução	143
9.1.2 Princípio de Operação	143
9.1.3 Injeção da Amostra e Gerador de Íons	145
9.1.4 A Separação ou Resolução dos Íons	146
9.1.4A Espectrômetro por Tempo de Percurso – <i>Time of Flight</i>	146
9.1.4B Espectrômetro por Deflexão Magnética.	146
9.1.4C O Filtro Quadrupolo	147
9.1.4D Espectrômetro por Deflexão Magnética, de Duplo Foco	147
9.1.5 O Detector	148
9.1.5A O Copo de <i>Faraday</i>	149
9.1.5B O Multiplicador de Elétrons com Feixe de Capilares	150
9.1.6 Os Instrumentos	150
9.1.7 A Obtenção do Espectro e a Identificação dos Componentes	152
9.1.8 O Seletor de Amostras	154
9.1.9 Aplicações	154
9.1.10 A Faixa de Operação em AMU	155

9.2	O Espectrômetro de Mobilidade Iônica	156
9.2.1	Princípios	156
9.2.2	Os Instrumentos	156
9.2.3	Aplicações	158
9.3	A Calibração dos Espectrômetros de Massa e dos Espectrômetros de Mobilidade Iônica	159
Notas	. . . . .	159
Nota 9.1	O Próton Solvatado.	159
Nota 9.2	Os Mecanismos de Ionização	159
Nota 9.3	Isótopos	160
Nota 9.4	Os Fragmentos.	161
10	CONDUTIVÍMETROS	163
10.1	Conceito.	163
10.2	Fundamentos.	163
10.3	Unidades e Ordens de Grandeza.	164
10.4	A Variação da Condutividade com a Temperatura.	166
10.5	A Variação da Condutividade com o pH	167
10.6	Aplicações	167
10.6.1	Aplicações no Processo	167
10.6.2	Aplicações na Área de Utilidades – Salinômetros – Limitações	168
	Salinômetros	169
	Limitações	170
10.6.3	Aplicação no Tratamento de Efluentes Líquidos.	170
10.6.4	Aplicação na Medição do Oxigênio Dissolvido.	171
10.6.5	Aplicação dos Condutivímetros em Soluções Bifásicas	171
10.7	Os Instrumentos	172
10.7.1	Condutivímetros com Células de Eletrodos	172
10.7.2	Condutivímetros com Células Toroidais.	175
10.8	Montagem das Células no Processo	177
10.9	Calibração	177
10.10	Leituras em Resistividade.	180
Notas	. . . . .	181
Nota 10.1	O Tratamento da Água por Troca Iônica e por Osmose Reversa e os Condutivímetros Envolvidos	181
Nota 10.1.1	A Troca Iônica	181
Nota 10.1.2	A Osmose Reversa	184
Nota 10.1.3	O SDI na Osmose Reversa	186
Nota 10.2	A Limpeza das Células	187

11	ANALISADORES DE PH, DE ÍONS ESPECÍFICOS E DE POTENCIAL REDOX	189
11.1	Analisadores de pH	189
11.1.1	Princípios	189
11.1.2	A Neutralização	190
11.1.3	Implicações no Controle	192
11.1.4	Variação da Condutividade com o pH	193
11.1.5	Aplicações	194
11.1.6	A medição – Os Eletrodos	194
11.1.7	Características e Problemas Inerentes aos Eletrodos de Medição – o Eletrodo de Antimônio e o ISFET.	196
	O Eletrodo de Antimônio	197
	Limitações do Eletrodo de Antimônio	197
	OISFET	198
11.1.8	Características e Problemas Inerentes aos Eletrodos de Referência	199
11.1.9	Os Eletrodos Combinados Industriais	202
11.1.10	Os Porta-Eletrodos	203
11.1.11	Sistemas de Limpeza	205
11.1.12	Os Instrumentos	208
11.1.13	A Medição do pH da Água de Alta Pureza	210
11.1.14	A Calibração	210
11.1.15	A Compensação da Temperatura	213
11.1.16	A Compensação da Temperatura do Processo	213
11.1.17	Os Simuladores de pH	213
11.2	Analisadores Íon-Específicos	214
11.2.1	Conceito	214
11.2.2	Aplicações	215
11.2.3	Circuitos Eletrônicos	216
11.2.4	Calibração	216
11.2.5	Cuidados Especiais	216
11.3	Analisadores de Potencial Redox	216
11.3.1	Conceito	216
11.3.2	Aplicações	218
11.3.3	Os Instrumentos Associados	218
11.3.4	Ajuste no Processo	218
11.3.5	A Variação do Potencial Redox como pH	219

Notas	220
Nota 11.1 A Definição Termodinâmica do pH	220
Nota 11.2 Ação dos Fluoretos Sobre o Vidro	220
Nota 11.3 A Membrana de Vidro	220
Nota 11.4 A Rejeição de Modo Comum	221
Nota 11.5 A Conservação, a Limpeza e a Recuperação dos Eletrodos	222
Nota 11.5.1 Introdução	222
Nota 11.5.2 Os Eletrodos de Referência	223
<i>A Conservação</i>	223
<i>A limpeza</i>	223
Nota 11.5.3 Os Eletrodos de Medição de pH com Membrana de Vidro	223
<i>A Conservação</i>	223
<i>A Limpeza</i>	224
<i>A Recuperação</i>	224
Nota 11.5.4 Eletrodos Combinados de Medição de pH	225
Nota 11.5.5 Outros Tipos de Eletrodos de Medição de pH .	225
Nota 11.5.6 Eletrodos Metálicos	225
<i>A Conservação</i>	225
<i>A Limpeza</i>	225
Nota 11.5.7 Eletrodos Íon-seletivos	225
<i>A Conservação e a Limpeza.</i>	225
12 AUTOANALISADORES, SILICÔMETROS E OUTROS.	227
12.1 Introdução	227
12.2 Aplicações	228
12.3 Os Silicômetros	228
12.4 Analisadores de Sódio na Água	230
12.5 Analisadores de Flúor na Água, e outros Autoanalisadores . .	232
12.6 Os Reagentes	234
12.7 Instalação e Manutenção Preventiva	234
13 ANALISADORES DE UMIDADE	235
13.1 Introdução	235
13.2 Definições e Unidades	235
13.2.1 Pressão do Vapor de Água	235
13.2.2 Fração Molar (FM)	235
13.2.3 Umidade Absoluta (Ua)	236

13.2.4	Umidade de Saturação ou Ponto de Saturação.	236
13.2.5	Umidade Relativa e Umidade Relativa Porcentual (Ur) . .	236
13.2.6	Ponto de Orvalho ou Temperatura de Saturação (<i>Dew Point</i>).	236
13.3	Medição da Umidade no Ar Atmosférico	237
13.3.1	O Higrômetro de Leonardo da Vinci.	237
13.3.2	O Psicrômetro	238
13.3.3	O Higrômetro de Cabelo.	238
13.3.4	Higrômetros Registradores.	239
13.4	Medição da Umidade em Gases de Processo	240
13.4.1	O Medidor a Sal Higroscópico	240
13.4.2	O Medidor a Espelho Refrigerado.	241
13.4.3	O Medidor Eletrolítico	242
13.4.4	O Medidor Capacitivo a Óxido de Alumínio	244
13.4.5	O Medidor a Óxido de Silício	245
13.4.6	O Medidor a Cristal de Quartzo	245
13.5	A Medição da Umidade por Atenuação de Radiação	248
13.6	A Medição da Umidade nos Líquidos.	248
13.7	Medição da Umidade nos Sólidos	249
13.7.1	Medição por Reflexão de Radiação Infravermelha.	249
13.7.2	Micro-ondas	251
13.7.3	Espalhamento de Nêutrons	253
13.7.4	As Fontes Radioativas	254
13.8	A Calibração.	255
13.8.1	Sólidos e Líquidos	255
13.8.2	Gases	256
	Notas	258
	Nota 13.1 Conversões Aproximadas.	258
	Nota 13.2 Umidade no Gás Natural	261
	Nota 13.3 Umidade no Ar de Instrumento	261
14	REFRATÔMETROS.	263
14.1	Princípios.	263
14.1.1	O Índice de Refração	263
14.1.2	A Lei de Snelle Descartes.	265
14.1.3	A Incidência Normal	265
14.1.4	O Ângulo Limite	267
14.1.5	Comportamento das Substâncias	267

14.2	Aplicações	268
14.3	Os Instrumentos	268
14.4	Operação	271
14.5	Calibração	272
15	VISCOSIDADE	275
15.1	Princípios	275
15.1.1	A Viscosidade Absoluta ou Dinâmica – Um Modelo Físico	275
15.1.2	Os Fluidos Newtonianos	277
15.1.3	A Viscosidade Cinemática	278
15.1.4	Os Fluidos Não Newtonianos – Viscosidade Aparente e Consistência	278
15.1.5	Fluidos com Escoamento Plástico ou Escoamento de Bingham	278
15.1.6	Fluidos com Escoamento Pseudoplástico	279
15.1.7	Fluidos com Escoamento Dilatante	280
15.1.8	Comportamento Tixotrópico	280
15.1.9	Comportamento Reopético	280
15.1.10	Comportamento Viscoelástico	280
15.2	O Efeito da Temperatura	281
15.3	Viscosidade <i>Versus</i> Sólidos Dissolvidos	282
15.4	Aplicações	282
15.5	Os Instrumentos	282
15.5.1	Os Viscosímetros Capilares	283
15.5.1A	Viscosímetros Capilares de Pressão Diferencial	284
15.5.1B	Viscosímetros Capilares de Pressão a Montante	286
15.5.2	Viscosímetros Rotativos	286
15.5.3	Viscosímetros Vibratórios	287
15.5.4	Viscosímetros de Cilindros Concêntricos	289
15.5.5	Viscosímetros a Pistão	289
15.5.6	O Medidor de Vazão Mássica (Coriolis) Usado como Viscosímetro	290
15.6	A Temperatura Equiviscosa	291
15.7	Cuidados Especiais	292
15.8	A Calibração	292
Notas	. . . . .	293
Nota 15.1	A Viscosidade Aparente e a Consistência	293
Nota 15.2	O Número de Reynolds	293

16 DENSÍMETROS	295
16.1 Introdução	295
16.2 Definições e Unidades	295
16.2.1 Densidade ou Densidade Absoluta ou Massa Específica (Em Inglês, <i>Density</i>)	295
16.2.2 Densidade Verdadeira ou Absoluta e Densidade Aparente	295
16.2.3 Gravidade Específica e Densidade Relativa (Em Inglês, <i>Specific Gravity</i>)	296
16.2.4 Peso Específico	296
16.3 Unidades Relacionadas – Escalas Arbitrárias	296
16.4 Efeitos da Pressão, da Temperatura e da Viscosidade	297
16.5 Aplicações	297
16.6 Os Instrumentos	299
16.6.1 Densímetros Baseados no Empuxo (ver nota 16.1)	299
16.6.1A Densímetros de Corpo Flutuante	300
16.6.1B Densímetros de Corpo Submerso Móvel	301
16.6.1C Densímetros de Corpo Submerso Fixo	302
16.6.2 Densímetros Vibratórios ou “Por Ressonância” para Líquidos	302
16.6.3 Densímetros Vibratórios ou “Por Ressonância” para Gases	305
16.6.4 Densímetros por Pressão Hidrostática	308
16.6.4A Por Pressão de Coluna	308
16.6.4B Borbulhadores	309
16.6.5 O Medidor de Vazão Mássica (Coriolis) Usado como Densímetro	310
16.6.6 O Medidor por Ultrassom	310
16.6.7 Densímetro Gama	311
16.6.7A Conceitos Gerais	311
16.6.7B A Fonte Radioativa	313
16.6.7C O Detector	313
16.7 A Calibração	313
Notas	314
Nota 16.1 O Empuxo	314
Nota 16.2 A Escala Fahrenheit de Temperaturas	314
Nota 16.3 O <i>Strain Gage</i>	315
Nota 16.4 O <i>Hand Held</i>	315

Nota 16.5	A Força de Coriolis	316
Nota 16.5.1	Forças Fictícias	316
Nota 16.5.2	A Força de Coriolis	317
Nota 16.5.3	A Terra	318
Nota 16.5.4	Os Medidores de Vazão Mássica	318
Nota 16.6	A Câmara de Ionização	320
Nota 16.7	Os Cintiladores	320
17	MEDIÇÃO DO ÍNDICE DE WOBBE E DO PODER CALORÍFICO	323
17.1	Conceito e Definições	323
17.2	Aplicações	324
17.3	Os Instrumentos	325
17.3.1	Calorímetros e Wobbímetros de Chama	325
17.3.2	Calorímetros Estequiométricos	329
17.3.3	Cromatógrafos	331
17.3.4	Absorção de Radiação Infravermelha	332
17.3.5	Determinação do Poder Calorífico pela Densidade	332
17.4	Especificação e Calibração – O Cálculo dos Padrões	333
Notas	. . . . .	336
Nota 17.1	A Medição de Gases Pobres	336
Nota 17.2	As Condições Estequiométricas	336
18	DETECTORES DE GASES E VAPORES INFLAMÁVEIS	337
18.1	Introdução	337
18.2	Incêndio, Explosão e Detonação	338
18.3	O Triângulo do Fogo	338
18.4	Limites de Explosividade dos Materiais no Ar	339
18.4.1	Influência da Temperatura Sobre o Limite Inferior de Explosividade	341
18.4.2	Influência do Teor de Oxigênio Sobre os Limites de Explosividade	342
18.4.3	Outros Fatores que Afetam o Limite Inferior de Explosividade	343
18.5	Energia de Ignição	343
18.5.1	Energia Liberada de Forma Instantânea	343
18.5.2	Superfícies Quentes	346
18.6	Detectores Catalíticos	348
18.7	Detectores Infravermelhos	349
18.7.1	Detectores Infravermelhos de Percurso Aberto	352
18.7.2	A Conexão a Três Fios	355

18.8	A Localização dos Detectores na Área – Posicionamento	355
	Os Critérios Básicos	356
	Uma Premissa	358
	Fatores a Considerar	358
	Algumas Possibilidades	358
18.8.1	Os Cuidados com a Densidade	360
18.8.2	Níveis de Atuação, Confiabilidade, MTBF, MTTR, Disponibilidade e SIL	361
18.8.3	O Tempo de Resposta	364
18.8.4	A Detecção de Vazamentos Líquidos	364
18.9	Calibração dos Detectores	365
Notas	. . . . .	366
Nota 18.1	Os Póseas Fibras	366
Nota 18.2	Os Detectores de Faíscas	367
Nota 18.3	O <i>Smoke Tube</i> ou Tubo de Fumaça	368
Nota 18.4	O <i>Tracer Gas</i> ou Gás Traçador	369
19	DETECTORES DE GASES TÓXICOS	371
19.1	Introdução	371
19.2	Limites Toleráveis, Definições e Parâmetros	371
19.3	As Células Eletroquímicas	375
19.3.1	Princípios e Construção Básica de uma Célula Eletroquímica	376
19.3.2	Eletrodos com Efeito Catalítico	377
19.3.3	A Barreira de Difusão	377
19.3.4	Células com Três Eletrodos	378
19.3.5	Compensação da Temperatura	378
19.3.6	Influência da Umidade	379
19.3.7	Compensação da Pressão	379
19.3.8	Sensores de Oxigênio	379
19.3.9	Medições na Faixa de ppb	379
19.3.10	Os Filtros de Interferentes	380
19.3.11	Uma Célula	380
19.3.12	Alguns Produtos Detectáveis	382
19.3.13	Faixas de Medição	383
19.4	Os Instrumentos	384
19.5	A Localização dos Detectores na Área – o Posicionamento	385
19.6	Calibração	386

Notas	388
Nota 19.1 As Emissões Fugitivas	388
Nota 19.2 Outros Instrumentos	389
Nota 19.3 O Mercúrio e o Benzeno	389
O Mercúrio	389
O Benzeno.	391
20 ANALISADORES NAS ÁREAS DO PETRÓLEO E DO	
 GÁS NATURAL.	393
20.1 Introdução – Os Processos de Refino do Petróleo.	393
A Destilação à Pressão Atmosférica.	396
A Destilação a Vácuo	396
O Craqueamento	397
O Craqueamento Catalítico.	398
O Hidrocraqueamento	398
O Coqueamento	398
O Hidrotratamento.	398
Isomerização	398
Reforma	399
Alquilação	399
Outros Processos	399
20.2 As Normas e a Metodologia.	400
20.3 Curva de Destilação e Ponto de Destilação	400
20.3.1 Conceitos – A Curva de Destilação – Pontos Particulares – Aplicações	400
20.3.2 Os Analisadores de Ponto de Destilação.	402
20.3.3 O Cromatógrafo a Gás e a Curva de Destilação	404
Condições da Análise.	405
Um Cuidado Importante	406
20.4 <i>Cloud Point</i>	406
20.5 Ponto de Congelamento – <i>Freezing Point</i>	408
20.6 <i>Cold Filter Plugging Point</i> – CFPP.	409
20.6.1 Conceito	409
20.6.2 Os Analisadores	410
20.7 Ponto de Fulgor (<i>Flash Point</i>)	411
20.8 Pressão de Vapor – RVP	413
20.9 Índice de Octanase Cetanas	418
20.9.1 Índice de Octanas – Definições	418

20.9.2	Formas de se Medir a Octanagem	418
20.9.3	Aditivos Antidetonantes	419
20.9.4	Índice de Cetanas – Definição	419
20.9.5	Os Motores CFR	419
20.9.6	Outras Formas de se Determinar os Índices de Octanagem e de Cetanas	421
20.10	Enxofre (e Nitrogênio) em Combustíveis	421
20.10.1	Introdução	421
20.10.2	Os Produtos	422
20.10.3	Os Analisadores	422
20.11	<i>Pour Point</i> ou ponto de Fluidez	424
20.12	NIR no <i>Blending</i> de Combustíveis e Outras Aplicações na Área do Petróleo	425
20.13	Medidores de Concentração e Interface Óleo/Água por Absorção de Energia de Microondas e com Sondas Capacitivas	428
20.14	Analisadores na Área do Gás Natural	431
Notas	. . . . .	433
Nota 20.1	A Importância da Medição Óleo/Água – Fases Contínuas e Dispersas	433
Nota 20.2	URE – Unidade de Recuperação de Enxofre, ou SRU	435
Nota 20.3	O Método de Pensky-Martens	435
Nota 20.4	A Agitação Pela Insuflação de Nitrogênio	435
Nota 20.5	O Superaquecimento	436
Nota 20.5.1	O Fenômeno Físico	436
Nota 20.5.2	Um Exemplo Numérico	436
Nota 20.5.3	As Consequências	437
Nota 20.5.4	Como Evitar	437
Nota 20.6	O Motor de Passo	438
Nota 20.7	A Operação via Microcomputador	439
21	OUTROS ANALISADORES NO TRATAMENTO DA ÁGUA E DOS EFLUENTES LÍQUIDOS	441
21.1	Introdução	441
21.2	Turbidímetros	441
21.2.1	Conceitos	441
21.2.2	Aplicações	442
21.2.3	Medição e Unidades	443
21.2.4	Os Instrumentos	445

21.3	Analisadores de Cloro Livre e Combinado	448
21.3.1	A Cloração da Água	448
21.3.2	A Química da Cloração	449
21.3.3	Nomenclatura	450
21.3.4	A Medição com Célula	451
	Cloro Livre.	451
	Cloro Combinado e Total	452
21.3.5	Medição Colorimétrica.	453
21.3.6	Calibração.	453
21.3.7	Conclusões	454
21.4	Medidores de Oxigênio Dissolvido.	454
21.4.1	Oxigênio Dissolvido nos Efluentes	454
21.4.2	Oxigênio Dissolvido na Água de Alimentação das Caldeiras – Analisadores de Hidrazina – Analisadores de Oxigênio com Célula de Membrana e com Reator de Tálcio	458
21.4.3	Medição de Oxigênio Dissolvido nas Áreas Farmacêutica e Alimentícia	462
21.4.4	A Calibração	463
21.5	Medidores de Cor	464
21.6	Medidores de TOC e TN	465
21.6.1	Oxidação Total por Combustão a Alta Temperatura e Análise Total do CO ₂	465
21.6.2	Oxidação e Análise Total do CO ₂	467
21.6.3	Oxidação Parcial e Análise Indireta Parcial do CO ₂	467
21.7	Medidores de DBO	468
21.8	Medidores de Óleo em Água	469
21.8.1	Introdução	469
21.8.2	Absorção de Radiação Ultravioleta e Fluorescência sob Radiação Ultravioleta.	470
21.8.3	Fluorescência sob UV Junto com Espalhamento de Luz.	470
21.8.4	Ionização de Chama com <i>Stripper</i>	471
21.8.5	Extração por Solvente	472
21.8.6	Sistemas Ópticos.	473
21.8.7	Absorção de Energia de Microondas.	473
21.8.8	Sistema da “Salem & Wikander”	473
21.9	Medidores de Toxidez	473
21.10	Contaminantes Específicos.	474
21.11	Potencial Zeta – <i>Streaming Potential</i>	475
21.11.1	Introdução – A Floculação e a Decantação	475

21.11.2	Conceitos	476
21.11.3	A Medição	477
21.11.4	Outras Aplicações Possíveis	478
Nota		479
Nota 21.1	A Secagem do Lodo	479
22	ANALISADORES NAS ÁREAS DE CELULOSE E PAPEL	481
22.1	Introdução – Os Processos	481
22.1.1	A Celulose	481
22.1.2	A Produção da Polpa	482
22.1.3	O Processo Kraft	482
22.1.4	A Recuperação (Ver Nota 22.1).	482
22.1.5	A Reaustificação	484
	Definições Ligadas ao Ciclo de Recuperação.	486
22.1.6	Aspectos Econômicos da Reaustificação.	486
22.1.7	Lavagem e Branqueamento da Polpa	487
22.1.8	O Papel	488
22.2	A Medição da Consistência.	488
22.2.1	Os Medidores Mecânicos	490
22.2.2	Os Medidores Ópticos	492
22.2.3	Os Medidores por Micro-ondas	494
22.2.4	Os Medidores de Consistência por Atenuação de Radiação Gama	495
22.2.5	Medição de Consistência em Pastas Termomecânicas por Espectrometria NIR	495
22.3	As Medições de pH	497
22.3.1	A Medição do pH na Caixa de Entrada da Máquina de Papel	497
	O Entupimento das Câmaras de Medição	497
	O “Revestimento” dos Eletrodos	498
22.3.2	A Medição do pH na Linha de Fibra	499
22.4	As Medições de Álcali no Ciclo da Reaustificação	500
22.4.1	A Medição de Álcali pelo Índice de Refração	500
22.4.2	A Medição de Álcali por Titulação	501
22.4.3	A Técnica FTNIR na Reaustificação	502
22.5	Tituladores Ácidos	503
22.6	Medidores de Alvura.	504
22.7	Analísadores de Número Kappa	505

22.8	Analisadores de Teores Residuais no Branqueamento.	508
22.9	A Medição de Gases Livres e Dissolvidos na Polpa	509
	Notas	511
	Nota 22.1 Referência ao Trabalho Apresentado na ABTCP	511
	Nota 22.2 A Água Branca	511
	Nota 22.3 Os <i>Scanners</i>	511
	Nota 22.4 A Mistura Sulfocrômica	511
	Nota 22.5 Soluções Proprietárias para a Medição do pH	512
	Nota 22.6 Titulação e Normalidade	513
	Nota 22.7 O Destintamento	513
	Nota 22.8 A Análise Polarográfica	513
23	ANALISADORES NA MONITORAÇÃO DE POLUENTES GASOSOS E PARTICULADOS	515
23.1	Introdução	516
23.2	A Importância da Medição	517
23.3	Princípios de Medição na Fonte	517
	23.3.1 Medição Extrativa com Condicionamento.	518
	23.3.2 Medição Extrativa com Diluição.	519
	23.3.3 Correção de Base Úmida para Base Seca na Análise de Gases	521
	23.3.4 Medição Extrativa <i>Hot Wet</i>	522
	23.3.5 A Medição <i>in situ</i> e o Controle da Combustão.	522
	23.3.6 A Medição Virtual	525
	23.3.7 A Correção para Uma Concentração Padrão de Excesso de O ₂ na Análise de Gases	526
	23.3.8 Medição da Emissão Acumulada, em Massa	526
23.4	Princípios de Medição do Ar Ambiente	527
	23.4.1 Medição Pontual	528
	23.4.2 Medição Remota por Absorção de Radiação IV e UV – DOAS	530
	23.4.3 Medição Remota por Fluorescência Sob UV – Técnica “Lidar”.	532
23.5	Os Poluentes Gasosos e sua Medição	532
	23.5.1 Óxidos de Enxofre – SO _x	533
	23.5.1A O SO ₂	533
	Medição	534
	Absorção de Radiação.	534
	Fluorescência no UV.	534

Colorimetria	534
Fotômetros de Fita	534
Condutometria	535
23.5.1B O SO ₃	535
23.5.2 Sulfeto de Hidrogênio	536
Medição	536
Fotômetro de Fita	536
Absorção de Radiação.	537
Condutometria	537
Cromatografia	538
Sensores de Estado Sólido	538
23.5.3 Enxofre Total e TRS.	538
Medição	538
Conversão a H ₂ S.	538
Titulação – Célula Coulométrica	539
Absorção de Raios X.	540
23.5.4 Monóxido de Carbono	541
Medição	541
Absorção de Radiação.	541
Condutometria	541
Sensores Catalíticos	541
23.5.5 Dióxido de Carbono	542
Medição	542
23.5.6 Óxidos de Nitrogênio – NO _x	542
Medição	542
Absorção de Radiação Infravermelha	543
Absorção de Radiação Ultravioleta	543
23.5.7 Ozônio.	543
Medição	544
Quimioluminescência	544
Absorção de Radiação.	544
Célula Coulométrica	544
23.5.8 Amônia	544
Medição	544
Absorção de Radiação.	544
Condutometria	545
Sensores de Estado Sólido	545

Células Eletroquímicas	545
Quimioluminescência	545
23.5.9 Hidrocarbonetos	545
Medição	545
Medição Individualizada	545
Hidrocarbonetos Totais por Ionização de Chama	546
23.5.10 Cloro e Gás Clorídrico	546
Medição	546
Absorção de Radiação	546
Condutometria	547
Quimioluminescência em Meio Líquido	547
Células Eletroquímicas	547
23.5.11 Flúor e Gás Fluorídrico	547
23.5.12 Vapor de Mercúrio	548
23.5.13 Poluentes Diversos	549
23.6 Os Particulados	549
23.6.1 Introdução – A Amostragem Isocinética	549
23.6.2 Opacímetros	550
23.6.2A Princípios e Grandezas Envolvidas	550
23.6.2B Os Instrumentos	552
23.6.2C A Correlação com a Amostragem Isocinética	553
23.6.2D A Montagem	554
23.6.3 Monitores Ópticos por Cintilação	555
23.6.4 Detectores Eletrostáticos – Princípios	555
23.6.5 Os Instrumentos	556
23.6.6 A Montagem	557
23.6.7 Monitores de Partículas no Ar Ambiente	557
Monitores Ópticos	558
Monitores por Atenuação de Radiação β	558
Notas	559
Nota 23.1 A Regulamentação das Emissões	559
Nota 23.2 A Densidade Óptica	560
Nota 23.3 A Importância e a Viabilidade da Medição do SO_3	560
24 ANALISADORES DE COMBUSTÍVEIS POR COMBUSTÃO CATALÍTICA E ANALISADORES DE PRÉ-COMBUSTÃO	561
24.1 Introdução	561
24.2 Analisando Combustíveis ou Analisando CO ?	562

24.3	Analísadores de Combustíveis por Combustão Catalítica	562
24.4	Analísadores de Pré-Combustão	565
24.4.1	Aplicações	565
25	ANALISADORES DE COR	567
25.1	Introdução	567
25.2	As Escalas de Cor.	567
	A – Preparo da Solução Padrão Cloroplatinato	568
	B – Preparados Padrões Incrementais	569
25.3	Os Instrumentos	569
25.4	Aplicações	573
26	CONDICIONAMENTO DAS AMOSTRAS	575
26.1	Importância	575
26.2	Abrangência e Exigências	575
26.3	Implantação	576
26.4	Captação das Amostras	577
26.4.1	Amostras Líquidas.	578
26.4.2	Amostras Sólidas.	584
26.4.3	Gases	585
26.4.4	O Seletor de Amostras ou <i>Stream Selector</i>	588
26.5	Transporte das Amostras – Linhas, Bombas e Ejetores	588
26.5.1	A necessidade do Transporte – Tempo de Resposta, <i>Fast Loop e Bypass</i>	588
26.5.2	Amostras Sólidas e Líquidas	589
26.5.3	Amostras Gasosas	590
26.6	O Condicionamento Propriamente Dito.	595
26.6.1	A Secagem por Condensação	595
26.6.2	A Secagem com Produtos Químicos	599
26.6.3	A Secagem por Permeação – A Peneira Molecular e o <i>Nafion</i>	600
26.6.4	Os Filtros	603
26.6.5	Lavadores e Frascos de Reação	606
26.6.6	Os Minirreatores	607
26.6.7	Ajuste da Temperatura – Resfriamento e Vaporização	608
26.6.8	Ajuste da Pressão	608
26.6.9	<i>Spargers</i> e Colunas Recheadas	609
26.7	Sistemas Especiais de Captação e/ou Condicionamento.	609
26.8	Análise de “Traços”.	611

26.9	Injeção de Padrões para Calibração	612
26.10	Pontos de Coleta para o Laboratório	614
26.11	A Pressão de Saída e o Descarte Seguro Após a Análise	615
26.11.1	O Problema da Pressão na Saída do Analisador	615
26.11.2	O Retorno ao Processo.	617
26.11.3	A Proteção da Casa de Analisadores.	617
26.11.4	Descarte Direto para o Ambiente	618
26.11.5	Absorção ou Reação Química.	618
26.11.6	Sistemas de Coleta/Recuperação.	619
26.11.7	A Incineração	621
26.12	Montagem.	621
Notas	. . . . .	624
Nota 26.1	A Concentração de Minérios	624
Nota 26.2	As Conexões <i>Socket Weld</i>	624
Nota 26.3	Montagem em Plataforma.	625
Nota 26.4	A Tocha ou <i>Flare</i>	625
27	ANALISADORES EM ÁREAS CLASSIFICADAS, ABRIGOS E CASAS DE ANALISADORES E PROTEÇÃO CONTRA PENETRAÇÃO	627
27.1	Introdução	627
27.2	A Classificação das Áreas	628
27.2.1	Noções Básicas	628
27.2.2	As Normas Brasileiras	628
27.2.3	A Norma NEC	629
27.3	Técnicas de Proteção Usuais nos Analisadores	631
27.3.1	Equipamentos à Prova de Explosão	631
27.3.2	Segurança Intrínseca.	633
27.3.3	Equipamentos com Proteção Exp.	635
27.3.3A	Pressurização	635
27.3.3B	Diluição Contínua	636
Purga Tipo Z.	. . . . .	637
Purga Tipo Y.	. . . . .	637
Purga Tipo X	. . . . .	638
27.4	Abrigos e Casas de Analisadores.	638
27.4.1	Abrigos	638
27.4.2	As Casas de Analisadores	639
27.4.3	HVAC	641

27.5	A Certificação	642
27.6	A Marcação	643
27.7	A Proteção Contra Penetração.	643
27.8	Outras Proteções.	645
Nota.	. . . . .	645
	Nota 27.1 As Normas Pertinentes.	645
28	ESPECIFICAÇÃO, AQUISIÇÃO, MONTAGEM E MANUTENÇÃO DOS SISTEMAS ANALÍTICOS	647
28.1	A Especificação	647
	28.1.1 Introdução	647
	28.1.2 A Folha de Especificação	647
	28.1.3 O Preenchimento da FE.	648
	28.1.4 Uma Especificação com Muitas Exigências Pode Prejudicar o Usuário	650
28.2	A Compra.	650
	28.2.1 Quando Não Comprar um Analisador	650
	28.2.2 O Custo.	651
	28.2.3 Os Sobressalentes	653
	28.2.4 Sobressalentes de Consumo	653
	28.2.5 Sobressalentes Estratégicos.	654
	28.2.6 O Analisador Veio no “Pacote”	655
	28.2.7 A Compra	656
	28.2.8 Parcerias Rígidas.	657
	28.2.9 Parcerias Flexíveis.	657
	28.2.10 O Procedimento de Compra	657
	28.2.11 Perspectivas de Parcerias Avançadas	658
	28.2.12 Um Desafio	659
	28.2.13 Um Problema Delicado	659
28.3	O Projeto de Interligação e a Montagem dos Sistemas Analíticos	660
	28.3.1 Introdução	660
	28.3.2 O Projeto de Interligação	660
	28.3.3 A Montagem “À Prova de Manutenção”	661
	Exemplo 1	661
	Exemplo 2	662
	Exemplo 3	663

28.3.4	A Manutenção Dificultada pelo Desconhecimento e/ou pela Omissão.	663
28.3.5	Montagens com Riscos Inerentes.	663
28.3.6	Montagens que Favorecem a Manutenção	664
28.3.7	A Proteção.	664
28.4	A Manutenção dos Analisadores e dos Sistemas	665
28.4.1	Introdução	665
28.4.2	A Justificativa	665
28.4.3	Aspectos Técnicos	666
28.4.4	Aspectos Referentes à Organização – Três Caminhos	666
28.4.5	O Perfil do Instrumentista Analítico – a Equipe	668
28.4.6	A Segurança	671
28.4.7	Um Diferencial	673
Notas	. . . . .	674
Nota 28.1	As Capelas	674
Nota 28.2	Os Contadores ou Detectores de Radiação e o <i>Background</i>	676
Nota 28.2.1	O Contador Geiger ou Geiger Müller	676
Nota 28.2.2	O <i>Background</i>	676
Nota 28.2.3	Os Detectores por Cintilação.	677
Nota 28.2.4	Os Detectores de Nêutrons	678
Nota 28.3	Eventos e Profissionais que Colaboraram com Dados para a Elaboração dos Itens 28.2 e 28.4	679
Nota 28.4	A Língua Inglesa.	680
29	CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO	681
29.1	Introdução	681
29.2	Calibrar, Ajustar e Aferir	682
29.3	A Autocalibração – Vantagens e Desvantagens	683
29.3.1	Analisadores de Líquidos.	683
29.3.2	Analisadores de Gases.	683
29.4	Os Padrões, sua Aquisição e seu Uso.	683
29.4.1	Os Padrões Líquidos de Teores Médios e Altos	683
29.4.2	Os Padrões Gasosos de Teores Médios e Altos	684
	Iniciando a Operação.	688
	Encerrando a Operação.	688

29.4.3	A Especificação dos Padrões Gasosos de Teores Médios e Altos	689
29.4.4	O “Zero Vivo”	691
29.4.5	Padrões Líquidos de Teores Baixos	691
29.4.6	Padrões Gasosos de Teores Baixos	693
29.4.7	O Ponto de Injeção.	693
29.4.8	A Geração Local dos Padrões de Zero, Líquidos e Gasosos	694
29.4.9	O Emprego de Produtos da Planta como Padrões Industriais de <i>Span</i>	695
29.5	A Calibração dos Analisadores de Umidade	695
29.6	Casos Especiais	695
29.6.1	Quando Não Existem Padrões Viáveis e/ou Deve Ser Efetuada uma Correlação	695
29.6.2	Quando se Busca Apenas um <i>Set Point</i> Empírico	696
29.6.3	Quando o Fluido de Calibração Não Puder Apresentar a Mesma Composição que o Fluido do Processo	696
29.7	A Rede Brasileira de Calibração – RBC	697
29.8	A Validação	697
	Notas	698
	Nota 2 9.1 A Pureza da Água	698
	Água Tipo I.	699
	Água Tipo II	699
	Água Tipo III.	699
	Água para Fins Especiais	699
	Nota 29.2 A Pureza dos Reagentes	700
	Nota 29.3 O Vidro	700
	Nota 29.4 Algumas Ferramentas Matemáticas	701
	Nota 29.4.1 ANOVA – O Teste F ou <i>F Check</i>	701
	Nota 29.4.2 O Teste de Dixon – Pontos Fora da Curva	701
	Nota 29.4.3 O “Teste T” de Student	703
30	DIVERGÊNCIAS ENTRE AS LEITURAS DOS ANALISADORES DE CAMPO E AS DO LABORATÓRIO	705
30.1	Introdução	705
30.2	Algumas Causas das Divergências e Propostas de Soluções	705
30.2.1	Os Profissionais Envolvidos	705
30.2.2	A Metodologia	706
30.2.3	Medições Empregando a Mesma Metodologia, Porém com Sensores Diferentes	706

30.2.4	Erros na Interpretação das Compensações de Temperatura	707
30.2.5	Causas Diversas	708
30.3	Alteração das Amostras após a Coleta	710
30.3.1	Reações que Prosseguem após a Coleta da Amostra.	710
30.3.2	Oxidação	711
30.3.3	Reação como Dióxido de Carbono	711
30.3.4	Efeito de Contaminantes Atmosféricos Diversos.	712
30.4	Recomendações Gerais.	712
30.5	O Levantamento das Características das Amostras Líquidas.	713
APÊNDICE	. . . . .	717
Apêndice I	Literatura Comentada.	718
	Algumas Obras de Cunho Geral	718
	Um Curso de Eletrônica	721
	Algumas Obras Específicas da Área de Instrumentação	721