
Sumário

<i>Prefácio</i>	VII
Capítulo 1 <i>▲ Propriedades Termodinâmicas de Fluidos</i>	1
1.1 Conceitos Introdutórios.....	1
1.2 Manipulação de Derivadas Parciais na Termodinâmica.....	1
1.2.1 Regra do Inverso	2
1.2.2 Regra do Produto Triplo	2
1.2.3 Derivadas Parciais da Equação Cúbica Generalizada.....	3
1.2.4 Derivadas Parciais de Fluidos de van der Waals.....	5
1.2.5 Derivadas Parciais de Fluidos de Redlich-Kwong.....	6
1.2.6 Derivadas Parciais de Fluidos de Wilson	7
1.2.7 Derivadas Parciais de Fluidos de Soave-Redlich-Kwong.....	8
1.2.8 Derivadas Parciais de Fluidos de Peng-Robinson	9
1.3 Relações de Maxwell	10
1.3.1 Quadrado Termodinâmico	14
1.4 Capacidade Calorífica a Pressão Constante	16
1.5 Avaliação da Energia Interna	18
1.6 Avaliação da Entalpia	19
1.7 Avaliação da Entropia	20
1.8 Variações das Propriedades Termodinâmicas entre Dois Estados Ideais	21
1.9 Variações de Propriedades Termodinâmicas entre Dois Estados Reais.....	26
1.10 Variações de Propriedades Termodinâmicas entre Dois Estados Reais – Caminho Conveniente.....	27
1.11 Propriedades Termodinâmicas Reais – Estado de Referência de Gás Ideal.....	30
1.12 Variações de Propriedades Termodinâmicas entre Dois Estados Reais (Referência – Líquido Saturado).....	32

1.13	Estimativas do Calor Latente de Vaporização	33
1.13.1	Equação Proposta por Pitzer <i>et alii</i> (1955) e Carruth-Kobayashi (1972) ...	33
1.13.2	Equação Proposta por Sivaraman <i>et alii</i> (1984).....	34
1.13.3	Equação Proposta por Giacalone (1951) – Ponto Normal de Ebulição	35
1.13.4	Equação Proposta por Riedel (1954) – Ponto Normal de Ebulição	36
1.13.5	Equação Proposta por Chen (1965) – Ponto Normal de Ebulição	37
1.13.6	Equação Proposta por Vetere (1973) – Ponto Normal de Ebulição	38
1.13.7	Equação Proposta por Watson (1943)	38
1.14	Propriedades Parciais Molares	40
1.15	Propriedades de Misturas Ideais	41
1.15.1	Volume Parcial Molar da Mistura Ideal	41
1.15.2	Pressão Parcial	42
1.15.3	Propriedades Termodinâmicas de Misturas de Gases Ideais.....	42
1.15.4	Resumo das Propriedades.....	44
1.16	Esquema Geral para Avaliar H e S de Misturas Reais	45
	Referências	46
Capítulo 2	<i>Propriedades Residuais de Sistemas PVT</i>	49
2.1	Introdução.....	49
2.2	Propriedades Residuais	50
2.3	Propriedades Residuais $P = f(T, V)$	50
2.4	Propriedades Residuais $V = f(P, T)$	53
2.5	Propriedades Residuais a partir de Valores Tabelados de Volume, Entalpia e Entropia.....	55
2.6	Propriedades Residuais a partir de Dados Volumétricos.....	66
2.6.1	Diferenciação Numérica	67
2.6.2	Integração Numérica	68
2.6.3	Avaliação para Pressão Nula	68
	Referências	86
Capítulo 3	<i>Propriedades Residuais Equação do Virial</i>	87
3.1	Equação do Virial	87
3.2	Estimativas das Propriedades Residuais – Equação do Virial da Expansão na Densidade Molar – Forma de Leiden	88
3.3	Estimativas das Propriedades Residuais – Equação do Virial da Expansão na Pressão – Forma de Berlin.....	91
3.4	Correlações Generalizadas para Estimativa do Segundo Coeficiente do Virial ...	97
3.4.1	Procedimento Computacional B e dB/dT – Correlação Generalizada	100

3.5	Propriedades Residuais Usando a Equação do Virial da Expansão na Densidade Molar Truncada no Segundo Termo	101
3.5.1	Procedimento Computacional T e P Independentes – Propriedades Residuais – Forma de Leiden	102
3.5.2	Procedimento Computacional T e V Independentes	107
3.6	Propriedades Residuais Usando a Equação de Estado do Virial da Expansão na Pressão Truncada no Segundo Termo	111
3.6.1	Procedimento Computacional T e P Independentes – Forma de Berlin	112
3.6.2	Procedimento Computacional T e V Independentes – Forma de Berlin	122
3.7	Propriedades Residuais usando a Correlação de Hayden-O’Connell para o Segundo Coeficiente do Virial	123
3.7.1	Procedimento Computacional B Puro e dB/dT – Hayden-O’Connell	130
3.8	Propriedades Residuais para Misturas	137
3.8.1	Regra de Mistura para o Segundo Coeficiente do Virial – Correlações Generalizadas	140
3.8.2	Correlações Generalizadas de Mistura	142
3.9	Misturas – Correlação de Hayden-O’Connell	156
3.9.1	Procedimento Computacional B e dB/dT – Hayden-O’Connell	160
	Referências	172
Capítulo 4 \wedge Propriedades Residuais Equação Cúbica Generalizada		175
4.1	Propriedades Residuais de Substâncias Puras	175
4.1.1	Introdução	175
4.2	Propriedades Residuais para Fluidos de van der Waals	182
4.2.1	Procedimento Computacional T e P Independentes	185
4.2.2	Estados Correspondentes – van der Waals	191
4.2.3	Procedimento Computacional T e V Independentes	194
4.3	Propriedades Residuais para Fluidos de Redlich-Kwong e suas Modificações	196
4.3.1	Procedimento Computacional T e P Independentes	198
4.3.2	Estados Correspondentes de Fluidos de Redlich-Kwong e suas Modificações	209
4.3.3	Procedimento Computacional T e V Independentes	215
4.4	Propriedades Residuais para Fluidos de Peng-Robinson	217
4.4.1	Procedimento Computacional T e P Independentes	219
4.4.2	Princípios dos Estados Correspondentes	226
4.4.3	Procedimento Computacional T e V Independentes	230
4.5	Propriedades Residuais de Mistura	231
4.6	Mistura – Equação de van der Waals	239
4.6.1	Procedimento Computacional T , P e y Independentes	240

4.7	Mistura – Fluidos de Redlich-Kwong, de Wilson e de Soave.	245
4.7.1	Procedimento Computacional T, P e y Independentes.	246
4.8	Mistura – Equação de Peng-Robinson.	256
4.8.1	Procedimento Computacional T, P e y Independentes.	257
	Referências.	263
Capítulo 5 \blacktriangle <i>Propriedades Residuais Equação de Estado BWR.</i>		265
5.1	Benedict-Webb-Rubin e Modificações.	265
5.1.1	Propriedades de Fluidos BWR – Formulação Geral.	265
5.1.2	Formulação Geral T e V Independentes.	271
5.1.3	Formulação Geral P e T Independentes.	271
5.2	Equação de Estado BWR.	273
5.2.1	Procedimento Computacional BWR T e V Independentes.	277
5.2.2	Procedimento Computacional T e P Independentes.	280
5.3	Equação BWR-Starling.	287
5.3.1	Temperatura e Densidade Molar como Variáveis Independentes.	289
5.3.2	Temperatura e Pressão como Variáveis Independentes.	292
5.4	Propriedades Residuais de Misturas – BWR.	300
5.4.1	Temperatura, Densidade Molar e Composições Independentes.	300
5.4.2	Temperatura, Pressão e Composição Independentes.	305
5.5	Propriedades Residuais de Misturas – BWR-Starling.	310
5.5.1	Procedimento Computacional T, V e y Independentes.	311
5.5.2	Procedimento Computacional T, P e y Independentes.	315
	Referências.	320
Capítulo 6 \blacktriangle <i>Propriedades Residuais Equação de Estado de Lee-Kesler.</i>		321
6.1	Equação de Estado de Lee-Kesler.	321
6.1.1	Introdução.	321
6.2	Equação de Pressão de Vapor de Lee-Kesler.	323
6.3	Fator Acêntrico de Lee-Kesler.	325
6.4	Propriedades Residuais.	326
6.5	Variáveis Independentes Temperatura e Pressão.	333
6.6	Propriedades Residuais de Misturas.	363
	Referências.	375
Capítulo 7 \blacktriangle <i>Aplicações.</i>		377
7.1	Substâncias Puras.	377
7.1.1	Propriedades Termodinâmicas ELV – Equações Cúbicas de Estado.	377
7.2	Estimativas de Propriedades Termodinâmicas.	398

7.3	Variações de Propriedades Termodinâmicas entre Dois Estados	416
7.4	Aplicações – Misturas Reais	422
	Referências	436
Anexo A	<i>▲ Solução Analítica de Equações Algébricas</i>	439
A.1	Equações Algébricas	439
A.1.1	Introdução	439
A.2	Cálculo de Raízes	439
A.3	Equação do Segundo Grau	442
A.3.1	Primeiro Caso	444
A.3.2	Segundo Caso	444
A.3.3	Terceiro Caso	444
A.4	Equação de Terceiro Grau	445
A.4.1	Primeiro Caso e Segundo Caso	447
A.4.2	Terceiro Caso	453
A.5	Roteiro de Cálculo	461
Anexo B	<i>▲ Constantes Características das Equações Cúbicas</i>	465
B.1	Parâmetros Característicos da Equação Cúbica Generalizada	465
B.2	Cálculo da Derivada $(\partial P / \partial V)_T$	466
B.3	Cálculo da Derivada $(\partial^2 P / \partial V^2)_T$	467
B.4	Equação de Estado Cúbica Generalizada	469
B.5	Equação de van der Waals	469
B.5.1	Parâmetros Característicos – Método 1	470
B.5.2	Parâmetros Característicos – Método 2	472
B.6	Equação de Redlich-Kwong e suas Modificações	473
B.6.1	Parâmetros Característicos – Método 1	474
B.6.2	Parâmetros Característicos – Método 2	478
B.7	Equação de Peng-Robinson	480
B.7.1	Parâmetros Característicos – Método 1	481
B.7.2	Parâmetros Característicos – Método 2	485
Anexo C	<i>▲ Teorema de Euler</i>	489
C.1	Teorema de Euler	489
C.1.1	Introdução	489
C.2	Demonstração do Teorema de Euler para Funções Homogêneas	490
C.3	Demonstração do Teorema de Euler para Funções Parcialmente Homogêneas	492
C.4	Propriedades Termodinâmicas	498
C.5	Grandezas Parciais Molares	499

C.6	Energia Interna	500
C.7	Entalpia	502
C.8	Energia Livre de Helmholtz	504
C.9	Energia Livre de Gibbs	506
Anexo D	^ Interpolação	509
D.1	Interpolação.....	509
D.1.1	Introdução	509
D.2	Interpolação Linear	510
D.3	Interpolação Quadrática	511
D.4	Polinômios de Lagrange	511
D.4.1	Polinômios de Lagrange de Grau 1.....	512
D.4.2	Polinômios de Lagrange de Grau 2.....	514
D.4.3	Polinômios de Lagrange de Grau N.....	520