



**UFRJ**

**PEQ. COPPE**  
UFRJ

Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Programa de Engenharia Química | COPPE

COQ710 - Termodinâmica | 2026.1

### 3ª Lista de Exercícios

Prof. Elvis Soares e Prof. Fred Tavares

Data de Entrega: 14/04/2026 até 23:59h - via [elvis@peq.coppe.ufrj.br](mailto:elvis@peq.coppe.ufrj.br)

1. **Equações de Estado Cúbica:** A equação de estado cúbica generalizada de Martin é escrita na forma geral como

$$P = \frac{NRT}{V - Nb} - \frac{a(T)N^2}{(V + Nc)(V + Nd)}$$

onde  $a(T)$  é uma função da temperatura e  $b$ ,  $c$  e  $d$  são constantes. (a) Determine a forma de  $a(T)$  e dos parâmetros  $c$  e  $d$  para que a equação de estado de Martin reduza-se às equações de estado de van der Waals, de Redlich-Kwong, e de Peng-Robinson. (b) Escreva a energia de Helmholtz  $F(V, T, N)$  de um fluido que obedece à equação de estado de Martin sabendo que a energia de Helmholtz de um gás ideal é dada por  $F_{id}(V, T, N)$ . (c) Determine a energia interna  $U(V, T, N)$  e a entropia  $S(V, T, N)$  do fluido de Martin. (d) Determine o coeficiente de Joule-Thomson  $\mu_{JT}$  para um fluido que obedece à equação de estado de Martin. Assuma que  $C_P$  é conhecido.

2. **Equação de estado do virial:** A equação de estado do virial é uma expansão em série da pressão  $P$  em potências do inverso do volume molar  $v = V/N$  no limite que  $v \rightarrow \infty$ . A forma mais comum da equação de estado do virial é dada por

$$Z = \frac{Pv}{RT} = 1 + \frac{B(T)}{v} + \frac{C(T)}{v^2} + \dots$$

onde  $B(T)$ ,  $C(T)$ , etc. são os coeficientes do virial que dependem da temperatura. (a) Determine o segundo coeficiente do virial  $B(T)$  para um fluido que obedece à equação de estado de Martin. (b) Determine o terceiro coeficiente do virial  $C(T)$  para um fluido que obedece à equação de estado de Martin. Compare seus resultados com os coeficientes do virial para um gás ideal, que são zero.

3. **Pressão de vapor:** Pressão de vapor é a pressão exercida por um vapor em equilíbrio com seu líquido ou sólido. Dados de pressão de vapor vs. temperatura são frequentemente representados pela equação de Antoine

$$\ln \left( \frac{P}{1 \text{ torr}} \right) = A - \frac{B}{(T/1 \text{ K}) + C}$$

onde  $A$ ,  $B$  e  $C$  são constantes escolhidas para ajustar os dados experimentais. A equação de Antoine é muito precisa em uma faixa limitada de pressão de vapor, tipicamente de 10 torr a 1500 torr. Para a água na faixa de temperatura de  $11^\circ\text{C}$  a  $168^\circ\text{C}$ , as constantes de Antoine são  $A = 18.3036$ ,  $B = 3816.44$  e  $C = -46.13$ . (a) Use a equação de Antoine para encontrar as pressões de vapor da água a  $25^\circ\text{C}$  e  $100^\circ\text{C}$  e compare com os valores experimentais de 23.8 torr e 760.7 torr, respectivamente. (b) Determine  $dP/dT$  para a água a  $100^\circ\text{C}$ . (c) Calcule  $\Delta V_m$  usando a equação de estado truncada do virial com segundo coeficiente do virial igual a  $-452 \text{ cm}^3/\text{mol}$  e o volume molar do líquido saturado a  $100^\circ\text{C}$ , que é de  $19 \text{ cm}^3/\text{mol}$ . (d) Use a equação de Clapeyron  $dP/dT = \Delta H_{\text{vap}}/(T\Delta V_m)$  para encontrar  $\Delta H_{\text{vap}}$  da água a  $100^\circ\text{C}$ . Compare seu resultado com o valor experimental de 40.66 kJ/mol.