

# Entropia

Gabriel Braun

Colégio e Curso Pensí, Coordenação de Química



## 1 Reversibilidade e Espontaneidade

1. Trabalho de expansão reversível.
2. Teorema do Trabalho Máximo.
3. Reversibilidade e entropia.
4. Definição macroscópica de entropia:

$$\Delta S = \frac{Q_{\text{rev}}}{T}$$

5. Segunda Lei da Termodinâmica.

### 1.1 Habilidades

- a. **Calcular** a variação de entropia para uma transformação reversível.

## 2 Entropia

1. Entropia e desordem.
2. Entropia e temperatura:

$$\Delta S = nC_p \ln \left( \frac{T_2}{T_1} \right)$$

3. Entropia e volume de gás ideal:

$$\Delta S = nR \ln \left( \frac{V_2}{V_1} \right)$$

4. Entropia e estado físico: sólido, líquido, gasoso e em solução.
5. Entropia de mudança de fase:

$$\Delta S = \frac{\Delta H}{T}$$

### 2.1 Habilidades

- a. **Determinar** qualitativamente o sinal da variação de entropia para uma transformação.
- b. **Calcular** a variação de entropia para aquecimento ou resfriamento de uma substância.
- c. **Calcular** a variação de entropia para um gás ideal em uma transformação isotérmica.
- d. **Calcular** a entropia padrão para transição de fase.

## 3 Entropia Absoluta

1. Interpretação microscópica da entropia.
2. Fórmula de Boltzmann:

$$S = k_B \ln \Omega$$

3. Entropia Residual.
4. Terceira Lei da Termodinâmica.

### 3.1 Habilidades

- a. **Calcular** a entropia residual a partir da Fórmula de Boltzmann.

## 4 Entropia de Reação

1. Entropia padrão.
2. Entropia de reação.

### 4.1 Habilidades

- a. **Calcular** a variação de entropia para uma reação química.
- b. **Determinar** qualitativamente o sinal da variação de entropia para uma reação química.

## 5 Mudanças Globais de Entropia

1. Variação de entropia da vizinhança:

$$\Delta S_{\text{viz}} = -\frac{\Delta H}{T}$$

2. Variação de entropia do Universo.
3. Equilíbrio.

### 5.1 Habilidades

- a. **Calcular** a variação de entropia da vizinhança devido à uma transferência de calor em pressão e temperatura constantes.
- b. **Calcular** a variação de entropia do Universo para um processo.

## Nível I

### PROBLEMA 5.1

2B01

Um sistema **A** transfere, naturalmente, uma determinada quantidade de energia, na forma de calor, para um sistema **B**, que envolve totalmente **A**.

**Assinale** a alternativa *correta*.

- A** A entropia do Universo decrescerá.
- B** A entropia do sistema **A** crescerá.
- C** O aumento da entropia do sistema **B** será maior que o decréscimo da entropia do sistema **A**.
- D** O aumento da entropia do sistema **B** será menor que o decréscimo da entropia do sistema **A**.
- E** O aumento da entropia do sistema **B** será necessariamente igual ao decréscimo da entropia do sistema **A**.

## PROBLEMA 5.2

2B02

O termo *seta do tempo* é usado para distinguir uma direção no tempo nos fenômenos naturais, ou seja, que o estado 2 de um sistema macroscópico ocorre após o estado 1.

**Assinale** a alternativa *correta* a respeito de um processo que ocorre em sistema fechado.

- A  $S_2$  é igual a  $S_1$ .
- B  $S_2$  é maior que  $S_1$ .
- C  $S_2$  é menor que  $S_1$ .
- D  $S_2$  independe de  $S_1$ .
- E A relação entre  $S_2$  e  $S_1$  depende do caminho percorrido entre os estados.

## PROBLEMA 5.3

2B03

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da variação de entropia da água quando 100 J são transferidos de forma reversível à água a 25 °C.

- A  $-0,34 \text{ J K}^{-1}$
- B  $-0,17 \text{ J K}^{-1}$
- C  $0,08 \text{ J K}^{-1}$
- D  $0,17 \text{ J K}^{-1}$
- E  $0,34 \text{ J K}^{-1}$

## PROBLEMA 5.4

2B04

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da entropia de congelamento do mercúrio.

- A  $-4,4 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- B  $-2,2 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- C  $-1,1 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- D  $2,2 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- E  $4,4 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

## Dados

- $\Delta H_{\text{fus}}^\circ (\text{Hg}) = 2,29 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $T_{\text{fus}} (\text{Hg}) = -38,8^\circ \text{C}$

## PROBLEMA 5.5

2B05

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da variação de entropia do gás quando 1 mol de um gás ideal monoatômico é aquecido reversivelmente de 300 K a 400 K sob pressão constante.

- A  $-6 \text{ J K}^{-1}$
- B  $-4 \text{ J K}^{-1}$
- C  $-2 \text{ J K}^{-1}$
- D  $4 \text{ J K}^{-1}$
- E  $6 \text{ J K}^{-1}$

## PROBLEMA 5.6

2B06

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da variação de entropia do gás quando um cilindro de 20 L de gás nitrogênio sob 5,00 kPa é aquecido reversivelmente de 20 °C a 400 °C.

- A  $-0,7 \text{ J K}^{-1}$
- B  $-0,5 \text{ J K}^{-1}$
- C  $0,5 \text{ J K}^{-1}$
- D  $0,7 \text{ J K}^{-1}$
- E  $0,9 \text{ J K}^{-1}$

## Dados

- $C_P (\text{N}_2, \text{g}) = 29,1 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

## PROBLEMA 5.7

2B07

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da variação de entropia do gás quando 1 mol de nitrogênio se expande reversível e isotermicamente de 22 L a 44 L.

- A  $-6,7 \text{ J K}^{-1}$
- B  $-4,7 \text{ J K}^{-1}$
- C  $-2,7 \text{ J K}^{-1}$
- D  $4,7 \text{ J K}^{-1}$
- E  $5,7 \text{ J K}^{-1}$

## PROBLEMA 5.8

2B08

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da variação de entropia do gás quando um mol de oxigênio é rapidamente comprimido de 5 L a 1 L por um pistão e, no processo, sua temperatura aumentou de 20 °C para 25 °C.

- A  $-13,4 \text{ J K}^{-1}$
- B  $-13 \text{ J K}^{-1}$
- C  $0,4 \text{ J K}^{-1}$
- D  $13 \text{ J K}^{-1}$
- E  $13,4 \text{ J K}^{-1}$

## Dados

- $C_P (\text{O}_2, \text{g}) = 29,4 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

## PROBLEMA 5.9

2B09

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da variação de entropia do gás quando a pressão de 1,5 mol de neônio diminui isotermicamente de 15 atm até 0,5 atm.

- A  $12 \text{ J K}^{-1}$
- B  $22 \text{ J K}^{-1}$
- C  $32 \text{ J K}^{-1}$
- D  $42 \text{ J K}^{-1}$
- E  $52 \text{ J K}^{-1}$

## PROBLEMA 5.10

2B10

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da variação de entropia do gás quando a pressão de 70,9 g de gás metano aumenta isotermicamente de 7 kPa até 350 kPa.

- A  $-288 \text{ J K}^{-1}$
- B  $-144 \text{ J K}^{-1}$
- C  $-72 \text{ J K}^{-1}$
- D  $144 \text{ J K}^{-1}$
- E  $288 \text{ J K}^{-1}$

## PROBLEMA 5.11

2B11

A entalpia de fusão de uma determinada substância é  $200 \text{ kJ kg}^{-1}$ , e seu ponto de fusão normal é  $27^\circ\text{C}$ .

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da variação de entropia do sistema na fusão de 3 kg dessa substância.

- A  $-600 \text{ J K}^{-1}$
- B  $-2 \text{ kJ K}^{-1}$
- C 0
- D  $2 \text{ kJ K}^{-1}$
- E  $600 \text{ J K}^{-1}$

## PROBLEMA 5.12

2B12

A entalpia de fusão de uma determinada substância é  $6 \text{ kJ mol}^{-1}$ , e seu ponto de fusão normal é  $-183^\circ\text{C}$ .

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da variação de entropia do sistema na fusão de 1 mol dessa substância.

- A  $-20 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- B  $-33 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- C  $50 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- D  $67 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- E  $100 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

## PROBLEMA 5.13

2B13

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima do ponto de ebulição do mercúrio.

- A  $-272 \text{ K}$
- B  $100 \text{ K}$
- C  $395 \text{ K}$
- D  $670 \text{ K}$
- E  $1500 \text{ K}$

## Dados

- $\Delta H_{\text{vap}}^\circ(\text{Hg}) = 59,3 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta S_{\text{vap}}^\circ(\text{Hg}) = 94,2 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

## PROBLEMA 5.14

2B14

A *Regra de Trouton* estabelece que a entropia molar de vaporização de líquidos em sua temperatura de ebulição é

$$\Delta S_{\text{vap}} \approx 10,5 R = 87,2 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima do ponto de ebulição do éter metílico.

- A  $200 \text{ K}$
- B  $225 \text{ K}$
- C  $250 \text{ K}$
- D  $275 \text{ K}$
- E  $300 \text{ K}$

## Dados

- $H_{\text{vap}}(\text{CH}_3\text{OCH}_3) = 21,5$

## PROBLEMA 5.15

2B17

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da variação de entropia para a formação da amônia.

- A  $-400 \text{ J K}^{-1}$
- B  $-200 \text{ J K}^{-1}$
- C  $100 \text{ J K}^{-1}$
- D  $200 \text{ J K}^{-1}$
- E  $400 \text{ J K}^{-1}$

## Dados

- $\Delta S^\circ(\text{NH}_3, \text{g}) = 192 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $\Delta S^\circ(\text{H}_2, \text{g}) = 131 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $\Delta S^\circ(\text{N}_2, \text{g}) = 192 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

## PROBLEMA 5.16

2B18

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da variação de entropia para a decomposição do clorato de potássio formando perclorato e cloreto de potássio.

- A  $-36,4 \text{ J K}^{-1}$
- B  $-18,2 \text{ J K}^{-1}$
- C  $-9,1 \text{ J K}^{-1}$
- D  $9,1 \text{ J K}^{-1}$
- E  $36,4 \text{ J K}^{-1}$

## Dados

- $\Delta S^\circ(\text{KClO}_3, \text{s}) = 143 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $\Delta S^\circ(\text{KCl}, \text{s}) = 82,6 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $\Delta S^\circ(\text{KClO}_4, \text{s}) = 151 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

## PROBLEMA 5.17

2B19

Considere os processos:

1. Cristalização de um sal.
2. Sublimação da naftalina.
3. Mistura de água e álcool.
4. Fusão do ferro.

**Assinale** a alternativa que relaciona os processos que ocorrem com aumento de entropia do sistema.

- A 2 e 3
- B 2 e 4
- C 3 e 4
- D 2, 3 e 4
- E 1, 2, 3 e 4

**PROBLEMA 5.18**

2B20

Considere as reações:

1.  $\text{Cl}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \longrightarrow \text{HCl}(\text{aq}) + \text{HClO}(\text{aq})$
2.  $\text{Cu}_3(\text{PO}_4)_2(\text{s}) \longrightarrow 3\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{PO}_4^{3-}(\text{aq})$
3.  $\text{SO}_2(\text{g}) + \text{Br}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \longrightarrow \text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq}) + 2\text{HBr}(\text{aq})$
4.  $4\text{NH}_3(\text{g}) + 5\text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 4\text{NO}(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{g})$

**Assinale** a alternativa que relaciona as reações com variação positiva de entropia.

- A 2
- B 4
- C 2 e 4
- D 1, 2 e 4
- E 2, 3 e 4

**Nível II****PROBLEMA 5.19**

2B21

**Assinale** a alternativa *incorreta*.

- A A variação de energia interna é nula na expansão de um gás ideal a temperatura constante.
- B A variação de energia interna positiva em um processo endotérmico a volume constante.
- C A variação de entalpia é nula em um processo cíclico.
- D A variação de entropia é positiva em um processo endotérmico a pressão constante.
- E A variação de entropia é nula quando um gás ideal sofre expansão livre.

**PROBLEMA 5.20**

2B23

Considere as proposições:

1. A entropia do HBr é maior que a do HF a 298 K.
2. A entropia da amônia é maior que a do neônio a 298 K.
3. A entropia do ciclopentano é maior que a do pent-1-eno a 298 K.
4. A entropia do ciclobutano é maior que a do cicloexano a 298 K.

**Assinale** a alternativa que relaciona as proposições *corretas*.

- A 1 e 2
- B 1 e 4
- C 2 e 4
- D 1, 2 e 4
- E 1, 2, 3 e 4

**PROBLEMA 5.21**

2B24

Considere os processos:

1. Conversão de grafite e diamante
2. Supersaturação de uma solução saturada.
3. Cristalização de um sólido amorfo.
4. Adsorção do nitrogênio em sílica.

**Assinale** a alternativa que relaciona os processos que ocorrem com diminuição de entropia do sistema.

- A 1 e 3
- B 1 e 4
- C 3 e 4
- D 1, 3 e 4
- E 1, 2, 3 e 4

**PROBLEMA 5.22**

2B22

Um recipiente de paredes adiabáticas contém duas amostras de água pura separadas por uma parede também adiabática e de volume desprezível. Uma das amostras consiste em 54 g de água a 25 °C e, a outra, em 126 g a 75 °C. A parede que separa as amostras é retirada e que as amostras de água se misturam até atingir o equilíbrio.

Considere as proposições:

1. A temperatura da mistura no equilíbrio é de 323 K.
2. A variação de entalpia no processo é nula.
3. A variação de energia interna no processo é nula.
4. A variação de entropia no processo é nula.

**Assinale** a alternativa que relaciona as proposições *corretas*.

- A 2
- B 3
- C 2 e 3
- D 1, 2 e 3
- E 2, 3 e 4

## PROBLEMA 5.23

2B25

Considere as proposições:

1. A variação da entropia independe da quantidade de gás presente no sistema.
2. Se a transformação é isotérmica, a variação da entropia é dada por:  $\Delta S = nR \ln \left( \frac{p_2}{p_1} \right)$
3. Se a transformação é isobárica, a variação de entropia é dada por:  $\Delta S = nC_p \ln \left( \frac{T_2}{T_1} \right)$
4. Se o sistema realiza um processo cíclico, a variação de entropia é positiva.

**Assinale** a alternativa que relaciona as proposições *corretas*.

- A 2
- B 3
- C 1 e 3
- D 2 e 3
- E 3 e 4

## PROBLEMA 5.24

2B27

Um bloco de gelo a  $0^\circ\text{C}$  é colocado em contato com um recipiente fechado que contém vapor de água a  $100^\circ\text{C}$  e 1 atm. Após algum tempo, separa-se o bloco de gelo do recipiente fechado. Nesse instante 25 g de gelo foram convertidos em água líquida a  $0^\circ\text{C}$  e que no recipiente fechado existe água líquida e vapor em equilíbrio.

**Determine** a variação de entropia do bloco de gelo.

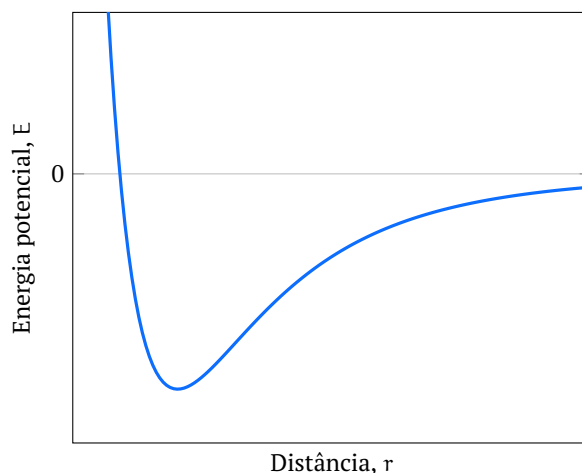
**Dados**

•  $\Delta H_{\text{fus}}^\circ (\text{H}_2\text{O}) = 6,01 \text{ kJ mol}^{-1}$

## PROBLEMA 5.25

2B29

Moléculas diatômicas idênticas, na forma de um sólido cristalino, podem ser modeladas como um conjunto de osciladores.



1. À temperatura de 0 K a maioria dos osciladores estará no estado vibracional fundamental, cujo número quântico vibracional é zero.
2. À temperatura de 0 K todos os osciladores estarão no estado vibracional fundamental, cujo número quântico vibracional é zero.
3. O movimento vibracional cessa a 0 K.
4. O princípio da incerteza de Heisenberg será violado se o movimento vibracional cessar.

**Assinale** a alternativa que relaciona as proposições *corretas*.

- A 2
- B 4
- C 2 e 4
- D 1, 2 e 4
- E 2, 3 e 4

## PROBLEMA 5.26

2B26

Um motor de 3 L contendo 1 mol de gás nitrogênio a  $18,5^\circ\text{C}$  foi comprimido rapidamente até 500 mL por um pistão. A temperatura do gás aumentou para  $28,1^\circ\text{C}$ .

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da variação de entropia do gás.

- A  $-14,3 \text{ J K}^{-1}$
- B  $-7,1 \text{ J K}^{-1}$
- C 0
- D  $7,1 \text{ J K}^{-1}$
- E  $14,3 \text{ J K}^{-1}$

## PROBLEMA 5.27

2B28

Um dispositivo utiliza radiação solar para quantificar variações em propriedades termodinâmicas. Este dispositivo é composto por uma lente convergente e por um porta-amstras. A lente possui área útil de  $80 \text{ cm}^2$ , absorvidade,  $\alpha = 20\%$  e transmissividade,  $\tau = 80\%$ . O porta-amstras possui absorvidade de 100% e volume variável, operando à pressão constante de 1 atm.

Em um procedimento experimental, injetou-se 0,1 mol de uma substância pura líquida no porta-amostras do dispositivo. Em seguida, mediu-se um tempo de 15,0 min. para a vaporização total da amostra, durante o qual a irradiação solar permaneceu constante e igual a  $750 \text{ W m}^2$ . Nesse processo, a temperatura do porta-amostras estabilizou-se em 351 K.

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da variação de entropia molar de vaporização do líquido.

- A  $2,3 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$
- B  $15,4 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$
- C  $123 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$
- D  $154 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$
- E  $90,0 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$

## PROBLEMA 5.28

2B15

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da entropia residual do monóxido de carbono.

- A  $5,76 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- B  $11,5 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- C  $17,2 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- D  $23,1 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- E  $28,8 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

## PROBLEMA 5.29

2B16

Considere as moléculas:

1.  $\text{CO}_2$
2.  $\text{NO}$
3.  $\text{N}_2\text{O}$
4.  $\text{Cl}_2$

**Assinale** a alternativa que relaciona as moléculas com entropia residual não nula.

- A 2
- B 3
- C 2 e 3
- D 1, 2 e 3
- E 2, 3 e 4

## Nível III

## PROBLEMA 5.30

2B30

Considere a vaporização de 1 mol de água a  $85^\circ\text{C}$  e 1 bar.

- a. **Determine** a variação de entropia do sistema.
- b. **Determine** a variação de entropia da vizinhança.
- c. **Determine** a variação entropia do universo.

## Dados

- $C_p(\text{H}_2\text{O}, \text{l}) = 75,3 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $C_p(\text{H}_2\text{O}, \text{g}) = 33,6 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $\Delta H_{\text{vap}}^\circ(\text{H}_2\text{O}) = 40,7 \text{ kJ mol}^{-1}$

## PROBLEMA 5.31

2B31

Considere a vaporização de 1 mol de acetona a 296 K e 1 bar.

- a. **Determine** a variação de entropia do sistema.
- b. **Determine** a variação de entropia da vizinhança.
- c. **Determine** a variação entropia do universo.

## Dados

- $C_p(\text{CH}_3\text{COCH}_3, \text{l}) = 125 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $\Delta H_{\text{vap}}^\circ(\text{CH}_3\text{OCH}_3) = 29,1 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $T_{\text{eb}}(\text{CH}_3\text{COCH}_3) = 56,2^\circ\text{C}$

## PROBLEMA 5.32

2B32

Uma amostra de 71 g de cloro, inicialmente a 300 K e 100 atm se expande contra uma pressão constante de 1 atm até o estado de equilíbrio. Como resultado da expansão, 10% da massa de gás é condensada.

- a. **Determine** a variação de energia interna do sistema.
- b. **Determine** a variação de entropia do sistema.

## Dados

- $\rho(\text{Cl}_2, \text{l}) = 1,56 \text{ g cm}^{-3}$
- $H_{\text{vap}}(\text{Cl}_2) = 20,42$
- $T_{\text{eb}}(\text{Cl}_2) = -34$
- $C_p(\text{Cl}_2, \text{g}) = 33,9 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

## PROBLEMA 5.33

2B33

Em um calorímetro isolado são misturadas duas amostras de massa  $m$  de um líquido de calor específico  $c$  em temperaturas  $T_1$  e  $T_2$ .

- a. **Determine** a variação de entropia de mistura
- b. **Prove** que a variação de entropia é sempre positiva.

## PROBLEMA 5.34

2B34

Considere um sistema com  $k$  cilindros, cada um contendo certa quantidade de um gás ideal diferente. Os cilindros são conectados e os gases se misturam isotermicamente.

Determina a variação de entropia de mistura. Determine a variação de entropia máxima.

## PROBLEMA 5.35

2B35

A capacidade calorífica de certas substâncias pode ser calculada como:

$$C_p = a + bT + \frac{c}{T^2}$$

**Determine** a variação de entropia quando o grafite é aquecido de 298 K a 400 K.

#### Dados

- $a(\text{grafita}, s) = 16,68 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $b(\text{grafita}, s) = 4,77 \text{ mJ K}^{-2} \text{ mol}^{-1}$
- $c(\text{grafita}, s) = -854 \text{ kJ K mol}^{-1}$

#### PROBLEMA 5.36

2B36

Em baixas temperaturas, a capacidade calorífica um dado material é proporcional a  $T^2$ .

**Prove** que, para temperaturas muito baixas, a entropia absoluta desse material é igual a metade de sua capacidade calorífica na mesma temperatura.

## Gabarito

### Nível I

- |              |              |              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1. <b>C</b>  | 2. <b>D</b>  | 3. <b>E</b>  | 4. <b>A</b>  | 5. <b>E</b>  |
| 6. <b>D</b>  | 7. <b>E</b>  | 8. <b>B</b>  | 9. <b>D</b>  | 10. <b>B</b> |
| 11. <b>D</b> | 12. <b>D</b> | 13. <b>D</b> | 14. <b>C</b> | 15. <b>B</b> |
| 16. <b>C</b> | 17. <b>D</b> | 18. <b>C</b> |              |              |

### Nível II

- E**
- D**
- D**
- C**
- B**
- $30 \text{ J K}^{-1}$
- C**
- A**
- C**
- A**
- C**

### Nível III

- $111 \text{ J K}^{-1}$
  - $-115 \text{ J K}^{-1}$
  - $-4 \text{ J K}^{-1}$
- $98,3 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
  - $-108 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
  - $-10,4 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $-3590 \text{ kJ mol}^{-1}$
  - $21,35 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

- $2mc \ln \left( \frac{T_1 + T_2}{2\sqrt{T_1 T_2}} \right)$
  - Demonstração.
- $-nR \sum_{i=1}^k x_i \ln x_i$
  - $nR \ln(k)$
- $3,31 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- Demonstração