

# Energia Livre

Gabriel Braun

Colégio e Curso Pensí, Coordenação de Química



## Nível I

### PROBLEMA 1.1

2C01

Considere as proposições:

1. Uma reação química a temperatura e pressão constantes será espontânea se a variação de entropia do sistema for positiva.
2. Uma reação química a temperatura e pressão constantes será espontânea se a variação da energia livre de for negativa.
3. Em um sistema reacional em que a única forma de trabalho observável é o trabalho de expansão, a variação da entalpia é igual à quantidade de calor liberada ou absorvida pela reação, a pressão constante.
4. Para uma substância simples que admite mais de uma forma alotrópica, não há variação de entalpia na conversão de uma forma em outra.

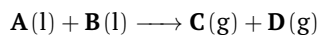
**Assinale** a alternativa que relaciona as proposições *corretas*.

- |                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| <b>A</b> 2        | <b>B</b> 3        |
| <b>C</b> 2 e 3    | <b>D</b> 1, 2 e 3 |
| <b>E</b> 2, 3 e 4 |                   |

### PROBLEMA 1.2

2C03

Considere a reação conduzida a pressão e temperatura constantes.



**Assinale** a alternativa *correta*.

- A** A reação será sempre espontânea, se for endotérmica.
- B** A reação será sempre espontânea, se for exotérmica.
- C** A reação será sempre espontânea, independentemente de ser exotérmica ou endotérmica.
- D** A reação nunca será espontânea, independentemente de ser exotérmica ou endotérmica.
- E** Não há como prever a espontaneidade da reação, mesmo que informações adicionais sobre o calor de reação estejam disponíveis.

### PROBLEMA 1.3

2C02

Uma reação química ocorre a pressão e temperatura constantes apresentando pequena variação de energia livre, de valor próximo de zero, variação positiva de entropia e negativa de entalpia.

**Assinale** a alternativa *correta*.

- A** A reação é espontânea, a temperatura é próxima de  $\Delta H/\Delta G$  e ela nunca atinge o equilíbrio.
- B** A reação não é espontânea, a temperatura é próxima de  $\Delta H/\Delta S$  e não há variação na composição do meio reacional.
- C** A reação não é espontânea, a temperatura é próxima de  $\Delta G/\Delta H$  e há uma pequena variação na composição do meio reacional.
- D** A reação é espontânea, a temperatura é próxima de  $\Delta H/\Delta S$  e há variação na composição do meio reacional.
- E** A reação é espontânea, a temperatura é próxima de  $\Delta G/\Delta H$  e o equilíbrio é atingido.

### PROBLEMA 1.4

2C07

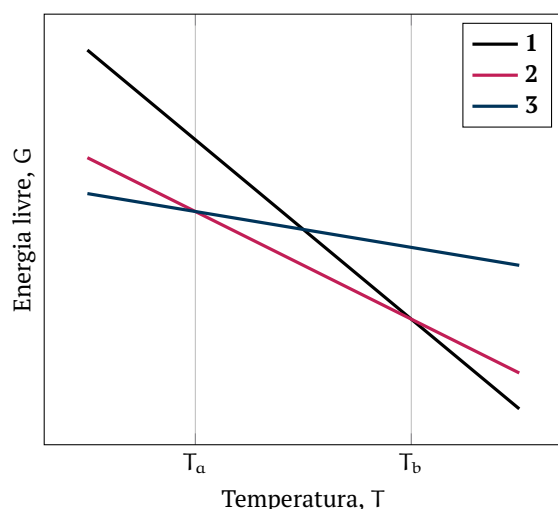
**Assinale** a alternativa correta a respeito de uma substância que funde a 1700 K sob 1 atm e a 1600 K sob 100 atm.

- A** A fase líquida é mais densa que a fase sólida.
- B** A fase líquida é menos densa que a fase sólida.
- C** A fase líquida possui a mesma densidade que a fase sólida.
- D** A fase líquida é mais densa que a fase sólida sob pressões abaixo de 1 atm.
- E** A fase líquida é mais densa que a fase sólida sob pressões acima de 100 atm.

**PROBLEMA 1.5**

2C04

Considere a variação da energia livre molar de uma substância pura com a temperatura em seus estados sólido, líquido e gasoso.



1. As três retas são decrescentes, pois a expressão  $G = H - TS$  é representada por uma reta com inclinação  $-S$ .
2. As retas 1, 2 e 3 representam as fases sólida, líquida e gasosa, respectivamente.
3. A temperatura  $T_a$  indica o ponto de fusão da substância.
4. Em temperaturas mais altas do que  $T_b$ , a fase 1 é a mais estável.

Assinale a alternativa que relaciona as proposições *corretas*.

- |                      |                   |
|----------------------|-------------------|
| <b>A</b> 1 e 3       | <b>B</b> 1 e 4    |
| <b>C</b> 3 e 4       | <b>D</b> 1, 3 e 4 |
| <b>E</b> 1, 2, 3 e 4 |                   |

**PROBLEMA 1.6**

2C09

Assinale a alternativa que mais se aproxima da energia livre de fusão da água a  $10^\circ\text{C}$  e 1 atm.

- |                                   |                                   |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| <b>A</b> $-440\text{ J mol}^{-1}$ | <b>B</b> $-220\text{ J mol}^{-1}$ |
| <b>C</b> $-110\text{ J mol}^{-1}$ | <b>D</b> $110\text{ J mol}^{-1}$  |
| <b>E</b> $220\text{ J mol}^{-1}$  |                                   |

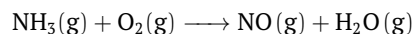
Dados

- $\Delta H_{\text{fus}}(\text{H}_2\text{O}) = 6\text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta S_{\text{fus}}(\text{H}_2\text{O}) = 22\text{ J K}^{-1}\text{ mol}^{-1}$

**PROBLEMA 1.7**

2C10

Considere a reação de síntese do óxido nítrico:



Assinale a alternativa que mais se aproxima da energia livre de síntese de 120 g de óxido nítrico a  $25^\circ\text{C}$  e 1 atm.

- |                           |                           |
|---------------------------|---------------------------|
| <b>A</b> $-320\text{ kJ}$ | <b>B</b> $-510\text{ kJ}$ |
| <b>C</b> $-630\text{ kJ}$ | <b>D</b> $-780\text{ kJ}$ |
| <b>E</b> $-960\text{ kJ}$ |                           |

Dados

- $\Delta G_f^\circ(\text{H}_2\text{O}, \text{g}) = -229\text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta G_f^\circ(\text{NH}_3, \text{g}) = -16,5\text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta G_f^\circ(\text{NO}, \text{g}) = 86,6\text{ kJ mol}^{-1}$

**PROBLEMA 1.8**

2C11

Assinale a alternativa que mais se aproxima da energia livre de formação do HI a  $25^\circ\text{C}$  e 1 atm.

- |                                     |                                     |
|-------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>A</b> $-1,70\text{ kJ mol}^{-1}$ | <b>B</b> $-1,50\text{ kJ mol}^{-1}$ |
| <b>C</b> $-1,30\text{ kJ mol}^{-1}$ | <b>D</b> $1,50\text{ kJ mol}^{-1}$  |
| <b>E</b> $1,70\text{ kJ mol}^{-1}$  |                                     |

Dados

- $\Delta H_f^\circ(\text{HI}, \text{g}) = -26,5\text{ kJ mol}^{-1}$
- $S^\circ(\text{H}_2, \text{g}) = 131\text{ J K}^{-1}\text{ mol}^{-1}$
- $S^\circ(\text{HI}, \text{g}) = 207\text{ J K}^{-1}\text{ mol}^{-1}$
- $S^\circ(\text{I}_2, \text{s}) = 116\text{ J K}^{-1}\text{ mol}^{-1}$

**PROBLEMA 1.9**
**2C12**

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da temperatura na qual a redução do óxido de ferro com carbono formando ferro metálico e  $\text{CO}_2$  é espontânea.

- |                |                |
|----------------|----------------|
| <b>A</b> 105 K | <b>B</b> 210 K |
| <b>C</b> 420 K | <b>D</b> 630 K |
| <b>E</b> 840 K |                |

**Dados**

- $\Delta H_f^\circ (\text{CO}_2, \text{g}) = -394 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ (\text{Fe}_2\text{O}_3, \text{s}) = -824 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $S^\circ (\text{CO}_2, \text{g}) = 214 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $S^\circ (\text{C, grafite}) = 5,74 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $S^\circ (\text{Fe}_2\text{O}_3, \text{s}) = 87,4 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $S^\circ (\text{Fe, s}) = 27,3 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

**PROBLEMA 1.10**
**2C13**

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da temperatura na qual a formação do óxido de cálcio pela decomposição do carbonato de cálcio é espontânea.

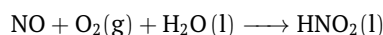
- |                 |                 |
|-----------------|-----------------|
| <b>A</b> 1110 K | <b>B</b> 2210 K |
| <b>C</b> 3310 K | <b>D</b> 4410 K |
| <b>E</b> 5510 K |                 |

**Dados**

- $\Delta H_f^\circ (\text{CO}_2, \text{g}) = -394 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ (\text{CaCO}_3, \text{s}) = -1210 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ (\text{CaO, s}) = -635 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $S^\circ (\text{CO}_2, \text{g}) = 214 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $S^\circ (\text{CaCO}_3, \text{s}) = 92,9 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $S^\circ (\text{CaO, s}) = 39,8 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

**PROBLEMA 1.11**
**2C16**

O potencial da reação de síntese do ácido nitroso é de 0,240 V em condições padrão.



**Assinale** a alternativa que apresenta o valor da energia livre de síntese de um mol de ácido nitroso.

- |                                      |                                      |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>A</b> $-11,6 \text{ kJ mol}^{-1}$ | <b>B</b> $-23,2 \text{ kJ mol}^{-1}$ |
| <b>C</b> $-34,8 \text{ kJ mol}^{-1}$ | <b>D</b> $-46,3 \text{ kJ mol}^{-1}$ |
| <b>E</b> $-69,5 \text{ kJ mol}^{-1}$ |                                      |

**PROBLEMA 1.12**
**2C17**

Um carro elétrico com motor de 310 kW possui 95% de eficiência e utiliza aproximadamente 15% de sua potência máxima. A eficiência da célula de hidrogênio que produz energia elétrica é de 75%

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da massa necessária de hidrogênio para viajar do Rio de Janeiro a São José dos Campos (330 km) a  $100 \text{ km h}^{-1}$ .

- |               |               |               |
|---------------|---------------|---------------|
| <b>A</b> 1 kg | <b>B</b> 3 kg | <b>C</b> 5 kg |
| <b>D</b> 7 kg | <b>E</b> 9 kg |               |

**Dados**

- $\Delta G_f^\circ (\text{H}_2\text{O, l}) = -237 \text{ kJ mol}^{-1}$

**PROBLEMA 1.13**
**2C25**

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da quantidade de glicose que um pássaro de 30 g deve consumir para voar a uma altura de 10 m.

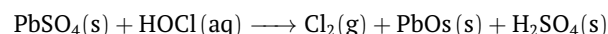
- |                                          |                                          |
|------------------------------------------|------------------------------------------|
| <b>A</b> $1,90 \times 10^{-5} \text{ g}$ | <b>B</b> $1,90 \times 10^{-4} \text{ g}$ |
| <b>C</b> $1,90 \times 10^{-3} \text{ g}$ | <b>D</b> $1,90 \times 10^{-2} \text{ g}$ |
| <b>E</b> $1,90 \times 10^{-1} \text{ g}$ |                                          |

**Dados**

- $\Delta H_c^\circ (\text{glicose, s}) = -2810 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $S^\circ (\text{CO}_2, \text{g}) = 214 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $S^\circ (\text{H}_2\text{O, l}) = 69,9 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $S^\circ (\text{O}_2, \text{g}) = 205 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $S^\circ (\text{glicose, s}) = 212 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

**PROBLEMA 1.14**
**2C15**

A reação entre sulfato de chumbo e ácido clorídrico tem potencial 0,0200 V e absorve 19,9 kJ de energia por mol de sulfato de chumbo a 298 K.



**Assinale** a alternativa que apresenta o valor da entropia de reação de um mol de sulfato de chumbo.

- |                                                  |                                                 |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| <b>A</b> $20 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$  | <b>B</b> $40 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ |
| <b>C</b> $60 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$  | <b>D</b> $80 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ |
| <b>E</b> $100 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ |                                                 |

## Nível II

### PROBLEMA 2.1

2C06

O ponto triplo da água ocorre a  $0,0100^\circ\text{C}$  e  $610\text{ Pa}$  e o ponto crítico a  $647\text{ K}$  e  $218\text{ atm}$ .

- Esboce** o diagrama de fases da água pura indicando o ponto triplo, ponto crítico e os pontos de fusão e ebulição a  $1\text{ atm}$ .
- Esboce** o diagrama de fases de uma substância que sublima à pressão ambiente, cuja temperatura crítica seja  $217\text{ K}$ , e cuja fase sólida é mais densa do que a fase líquida.

### PROBLEMA 2.2

2C27

Considere as proposições:

- A energia livre de fusão da água é negativa a  $27^\circ\text{C}$  e  $1\text{ atm}$ .
- A transição de fase do enxofre ortorrômbico para monoclinico é espontânea para temperaturas acima de  $95^\circ\text{C}$ , assim, a entalpia e a entropia do enxofre monoclinico são maiores que as do enxofre ortorrômbico
- A mistura de duas amostras de gás sempre apresenta variação de energia livre negativa.
- A complexação em fase aquosa do cátion níquel (II) com amônia formando  $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$  é mais espontânea complexação que a com  $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$  (en) formando  $[\text{Ni}(\text{en})_3]^{2+}$ .

Assinale a alternativa que relaciona as proposições *corretas*.

- |                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| <b>A</b> 2        | <b>B</b> 3        |
| <b>C</b> 2 e 3    | <b>D</b> 1, 2 e 3 |
| <b>E</b> 2, 3 e 4 |                   |

### PROBLEMA 2.3

2C28

Um elástico é tensionado rapidamente e posto em contato com um termômetro, que indica um aumento de temperatura. Quando o mesmo elástico permanece por um tempo esticado e é rapidamente relaxado, o termometro indica uma diminuição na temperatura.

- Compare** a entalpia do elástico tensionado e relaxado.
- Compare** a entropia do elástico tensionado e relaxado.

### PROBLEMA 2.4

2C14

O oxigênio e o hidrogênio combinam-se, em células de combustível, produzindo água líquida e gerando corrente elétrica. O trabalho elétrico máximo que essas células podem produzir é  $237\text{ kJ}$  por mol de hidrogênio.

**Determine** o ponto de ebulição da água.

#### Dados

- $\Delta H_f^\circ(\text{H}_2\text{O}, \text{g}) = -242\text{ kJ mol}^{-1}$
- $S^\circ(\text{H}_2\text{O}, \text{g}) = 189\text{ J K}^{-1}\text{ mol}^{-1}$
- $S^\circ(\text{H}_2\text{O}, \text{l}) = 69,9\text{ J K}^{-1}\text{ mol}^{-1}$
- $S^\circ(\text{H}_2, \text{g}) = 131\text{ J K}^{-1}\text{ mol}^{-1}$
- $S^\circ(\text{O}_2, \text{g}) = 205\text{ J K}^{-1}\text{ mol}^{-1}$

### PROBLEMA 2.5

2C26

Em uma célula de um organismo, a energia necessária para a síntese da ureia a partir de amônia e dióxido de carbono é obtida por oxidação da glicose.

Assinale a alternativa que mais se aproxima da quantidade de ureia formada pela oxidação de  $60\text{ nmol L}^{-1}\text{ min}^{-1}$  de glicose.

- |                                                   |                                                   |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| <b>A</b> $35\text{ nmol L}^{-1}\text{ min}^{-1}$  | <b>B</b> $105\text{ nmol L}^{-1}\text{ min}^{-1}$ |
| <b>C</b> $315\text{ nmol L}^{-1}\text{ min}^{-1}$ | <b>D</b> $630\text{ nmol L}^{-1}\text{ min}^{-1}$ |
| <b>E</b> $945\text{ nmol L}^{-1}\text{ min}^{-1}$ |                                                   |

#### Dados

- $\Delta G_f^\circ(\text{CO}_2, \text{g}) = -394\text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta G_f^\circ(\text{H}_2\text{O}, \text{l}) = -237\text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta G_f^\circ(\text{NH}_3, \text{g}) = -16,5\text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta G_f^\circ(\text{glicose}, \text{s}) = -910\text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta G_f^\circ(\text{ureia}, \text{s}) = -197\text{ kJ mol}^{-1}$

**Assinale** a alternativa *correta*.

- A** Grafite e diamante são exemplos de carbono puro, mas não são formas alotrópicas de um mesmo elemento.
- B** Sob altas pressões, o diamante é menos estável que o grafite.
- C** Diamante pode se transformar, de forma espontânea, em grafite.
- D** A conversão do grafite em diamante é exotérmica.
- E** Altas pressões favorecem a formação de grafite.

**Dados**

- $\rho(\text{C, diamante}) = 4 \text{ g cm}^{-3}$
- $\rho(\text{C, grafite}) = 2,50 \text{ g cm}^{-3}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{C, diamante}) = 1,90 \text{ kJ mol}^{-1}$

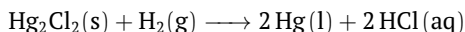
**Assinale** a alternativa que mais se aproxima do trabalho realizado para a conversão de 1 mol de estanho cinza em estanho branco a 298 K e 10 bar.

- A** -4,40 J
- B** 0
- C** 4,40 J
- D** 2,20 J
- E** -3,30 J

**Dados**

- $\rho(\text{Sn, branco}) = 7,31 \text{ g cm}^{-3}$
- $\rho(\text{Sn, cinza}) = 5,75 \text{ g cm}^{-3}$

Considere uma célula eletroquímica na qual ocorre a reação:



O potencial padrão para essa célula é 0,268 V a 294 K e 0,264 V a 302 K.

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da variação de entropia para essa reação.

- A**  $-2,60 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- B**  $-48,2 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- C**  $-12,9 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- D**  $-96,5 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- E**  $-87,9 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

Uma pequena célula eletroquímica blindada, formada por eletrodos de alumínio e de níquel, deve operar a temperatura constante de 298 K. Para tanto, recebe uma camisa de refrigeração, isolada do meio externo, contendo 100 g de água. A célula apresenta variação de potencial na razão de  $1,50 \times 10^{-4} \text{ V K}^{-1}$ . **Determine** a elevação da temperatura que ocorrerá na água dentro da camisa de refrigeração quando a célula transfere ao exterior, de maneira reversível, uma carga de 1 F.

**Dados**

- $C_p(\text{H}_2\text{O, l}) = 75,3 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

## Nível III

### PROBLEMA 3.1

2C22

Uma amostra de 1 kg de carbonato de cálcio a 298 K é introduzido em um forno que opera a 101 kPa. O forno é então aquecido até a temperatura  $T$  em que ocorrerá a calcinação do carbonato de cálcio. O valor absoluto da variação da energia livre da reação de calcinação à temperatura  $T$  é  $10,7 \text{ kJ mol}^{-1}$ . Considere a variação da entalpia e entropia com a temperatura.

- a. **Determine** a temperatura de calcinação  $T$ .
- b. **Determine** a quantidade de calor necessária para a calcinação completa do carbonato.

#### Dados

- $C_p(\text{CO}_2, \text{g}) = 37,1 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $C_p(\text{CaCO}_3, \text{s}) = 81,9 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $C_p(\text{CaO}, \text{s}) = 42,8 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{CO}_2, \text{g}) = -394 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{CaCO}_3, \text{s}) = -1210 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{CaO}, \text{s}) = -635 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $S^\circ(\text{CO}_2, \text{g}) = 214 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $S^\circ(\text{CaCO}_3, \text{s}) = 92,9 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $S^\circ(\text{CaO}, \text{s}) = 39,8 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

### PROBLEMA 3.2

2C21

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da pressão necessária para a conversão de grafite em diamante a 300 K. A variação da energia interna com a pressão é desprezível.

- |                                         |                                         |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
| <b>A</b> $1,30 \times 10^3 \text{ bar}$ | <b>B</b> $1,30 \times 10^4 \text{ bar}$ |
| <b>C</b> $1,30 \times 10^5 \text{ bar}$ | <b>D</b> $1,30 \times 10^6 \text{ bar}$ |
| <b>E</b> $1,30 \times 10^7 \text{ bar}$ |                                         |

#### Dados

- $\rho(\text{C, diamante}) = 4 \text{ g cm}^{-3}$
- $\rho(\text{C, grafite}) = 2,50 \text{ g cm}^{-3}$
- $\Delta G_f^\circ(\text{C, diamante}) = 2,90 \text{ kJ mol}^{-1}$

### PROBLEMA 3.3

2C20

**Determine** a temperatura em que o fundo de uma coluna 100 m de mercúrio líquido começa a congelar. A variação da energia interna com a pressão é desprezível.

#### Dados

- $T_{\text{fus}}(\text{Hg}) = 234 \text{ K}$
- $\Delta H_{\text{fus}}(\text{Hg}) = 2,29 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\rho(\text{Hg, l}) = 13,6 \text{ g cm}^{-3}$
- $\rho(\text{Hg, s}) = 14,2 \text{ g cm}^{-3}$

## Gabarito

### Nível I

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

### Nível II

1. a. Esboço  
b. Esboço
2. **C**
3. a. A entalpia do elástico tensionado é maior.  
b. A entropia do elástico tensionado é menor.
4.  $95,6^\circ \text{C}$
5. **D**
6. **C**
7. **A**
8. **D**
9.  $10,3 \text{ K}$

### Nível III

1. a.  $1190 \text{ K}$   
b.  $2750 \text{ kJ}$
2. **B**
3.  $235 \text{ K}$