

# Entalpia

Gabriel Braun

Colégio e Curso Pensí, Coordenação de Química

## 1 Trabalho e Calor

1. Sistema e Vizinhança.
2. Sistema fechado e isolado.
3. Funções de Estado.
4. Trabalho, W, e Calor, Q.
5. Trabalho de expansão irreversível.
6. Calor específico e capacidade calorífica.

### 1.0.1 Habilidades

- a. **Calcular** o trabalho realizado por expansão de gases.

## 2 Energia Interna

1. Primeira Lei da Termodinâmica:

$$\Delta U = Q - W$$

2. Energia interna.
3. Capacidade calorífica em volume constante:

$$C_V = \frac{\Delta U}{\Delta T}$$

4. Expansão livre.

### 2.0.1 Habilidades

- a. **Calcular** a variação de energia interna para um processo de expansão *irreversível*.

## 3 Entalpia

1. Definição de Entalpia:

$$H = U + PV$$

2. Capacidade calorífica em pressão constante:

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

3. Relação de Meyer:

$$C_P = C_V + R$$

4. Entalpia e estado físico: sólido, líquido e gasoso.
5. Curvas de aquecimento.
6. Relação entre  $\Delta U$  e  $\Delta H$  de transição de fase.

### 3.0.1 Habilidades

- a. **Calcular** a variação de entalpia para um processo de expansão *irreversível*.
- b. **Calcular** a entalpia de mudança de fase.

## 4 Entalpia de Reação

1. Processos endotérmicos e exotérmicos.
2. Equações termoquímicas.
3. Entalpia de formação.
4. Estado padrão e grandezas termodinâmicas padrão.
5. Entalpia de ligação.
6. Lei de Hess.
7. Entalpia de reação e temperatura:

$$\Delta H^T = \Delta H^{T_0} + (T - T_0)\Delta C_P$$

### 4.0.1 Habilidades

- a. **Calcular** a entalpia de reação a partir das entalpias de formação.
- b. **Calcular** a entalpia de reação a partir das entalpias de ligação.
- c. **Calcular** a entalpia de reação aplicando a Lei de Hess.
- d. **Calcular** a variação na entalpia de reação com a temperatura.

## 5 Calorimetria

1. Calorímetro isobárico:

$$Q_P = \Delta H = C_P \Delta T$$

2. Calorímetro isocórico:

$$Q_V = \Delta U = C_V \Delta T$$

3. Relação entre  $\Delta U$  e  $\Delta H$  de reação.
4. Potencial calorífico superior e inferior.
5. Temperatura Adiabática de Reação.
6. Reação autossustentável.

### 5.0.1 Habilidades

- a. **Calcular** o calor liberado em pressão constante a partir do calor liberado em volume constante.
- b. **Calcular** a variação de temperatura causada por uma reação.

## Nível I

### PROBLEMA 5.1

2A01

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima do valor absoluto do trabalho realizado por um gás que se expande em 500 mL contra uma pressão de 2,1 atm.

- A** 54 J      **B** 60 J      **C** 66 J  
**D** 72 J      **E** 70 J

### PROBLEMA 5.2

2A02

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima do valor absoluto do trabalho realizado no congelamento de 100 g de água a 0 °C e 1000 atm.

- A** 720 J      **B** 790 J  
**C** 860 J      **D** 880 J  
**E** 910 J

#### Dados

- $\rho(\text{H}_2\text{O}, \text{l}) = 1,00 \text{ g cm}^{-3}$
- $\rho(\text{H}_2\text{O}, \text{s}) = 0,92 \text{ g cm}^{-3}$

### PROBLEMA 5.3

2A03

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima do valor absoluto do trabalho realizado quando 50 g de ferro reagem com ácido clorídrico formando gás hidrogênio e cloreto de ferro (II) a 25 °C.

- A** 2,2 kJ      **B** 4,4 kJ  
**C** 6,6 kJ      **D** 8,8 kJ  
**E** 5,3 kJ

### PROBLEMA 5.4

2A04

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima do valor absoluto do trabalho realizado na eletrólise de 50 g de água formando gás hidrogênio e oxigênio a 25 °C.

- A** 10 kJ      **B** 12 kJ  
**C** 18 kJ      **D** 15 kJ  
**E** 20 kJ

### PROBLEMA 5.5

2A05

Em um calorímetro foram adicionados 20 g de um metal a 100 °C e 50 g de água a 22 °C. A temperatura final registrada foi 25 °C.

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da capacidade calorífica do metal.

- A**  $0,1 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}$       **B**  $0,2 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}$   
**C**  $0,3 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}$       **D**  $0,4 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}$   
**E**  $0,5 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}$

### PROBLEMA 5.6

2A06

Em um calorímetro adiabático foram adicionados 300 g de gelo a 0 °C e 400 g de água a 55 °C.

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da temperatura final do sistema.

- A** -4 °C      **B** -3 °C  
**C** 0 °C      **D** 3 °C  
**E** 4 °C

#### Dados

- $C_p(\text{H}_2\text{O}, \text{l}) = 75,3 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $C_p(\text{H}_2\text{O}, \text{s}) = 37,8 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{H}_2\text{O}, \text{l}) = -286 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{H}_2\text{O}, \text{s}) = -292 \text{ kJ mol}^{-1}$

### PROBLEMA 5.7

2A11

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da variação de entalpia quando um mol de um gás pressurizado em 1 MPa e 300 K se expande adiabaticamente contra pressão de 0,1 MPa até atingir o equilíbrio.

- A** 1,5 kJ      **B** 1,7 kJ  
**C** 2,0 kJ      **D** 2,2 kJ  
**E** 2,5 kJ

### PROBLEMA 5.8

2A07

A expansão de um gás ideal em um recipiente de 1 L a 10 atm é realizada de duas maneiras diferentes em temperatura constante.

1. Expansão contra pressão constante de 1 atm, levando o volume final do recipiente a 10 L.
2. Expansão contra pressão constante de 5 atm até atingir um volume de 2 L, seguida de expansão contra pressão constante de 1 atm atingindo o volume final de 10 L.

**Assinale** a alternativa *correta*.

- A** O trabalho realizado pelo gás é igual nos dois processos de expansão.
- B** O trabalho realizado no primeiro processo é metade do trabalho realizado no segundo processo.
- C** A variação de energia interna do gás é igual em ambos os processos.
- D** A variação de energia interna do gás no primeiro processo é metade da do segundo processo.
- E** O calor trocado pelo gás é igual em ambos os processos.

### PROBLEMA 5.9

2A09

São descritos abaixo dois experimentos em que há sublimação completa de uma mesma quantidade de dióxido de carbono no estado sólido a 25 °C:

1. O processo é realizado em um recipiente hermeticamente fechado, de paredes rígidas e indeformáveis.
2. O processo é realizado em cilindro provido de um pistão, cuja massa e desprezível e se desloca sem atrito.

**Assinale** a alternativa *incorreta*.

- A** O primeiro processo ocorre com absorção de calor.
- B** O valor absoluto do trabalho realizado é maior no segundo.
- C** A variação de energia interna é maior no primeiro processo.
- D** Há realização de trabalho no segundo processo.
- E** A variação de energia interna é igual ao calor no segundo processo.

#### PROBLEMA 5.10

2A12

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da variação de entalpia quando 500 J de energia são transferidos em volume constante a uma amostra contendo 0,9 mol de oxigênio.

- A** -700 J
- B** -500 J
- C** 300 J
- D** 500 J
- E** 700 J

**Dados**

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

#### PROBLEMA 5.11

2A08

Considere os processos químicos realizados em temperatura constante.

1. Dissolução do nitrato de potássio.
2. Ebulição da água.
3. Conversão da grafita em diamante.
4. Oxidação do sódio metálico.

**Assinale** a alternativa com os processos que apresentam variação de energia interna não nula.

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

#### PROBLEMA 5.12

2A10

Um sistema termicamente isolado é composto por dois balões idênticos resistentes, porém não inquebráveis, **A** e **B**, conectados por um tubo com uma válvula fechada. O balão **A** contém um mol de um gás ideal monoatômico e **B** encontra-se perfeitamente evacuado. Em um dado instante a válvula é aberta.

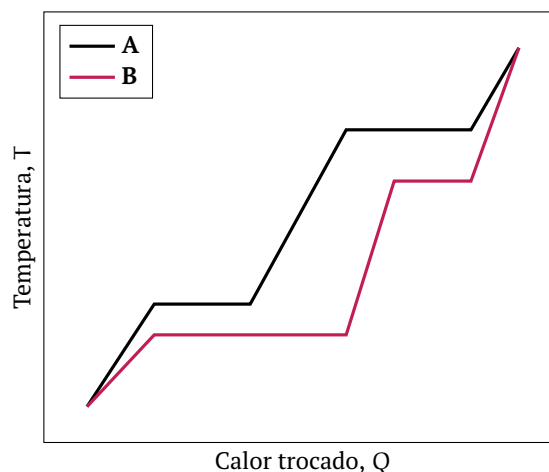
**Assinale** a alternativa *correta*.

- A** O balão **B** quebrar-se-á devido ao impacto do gás ideal.
- B** O trabalho gerado pela expansão do gás aquecerá o sistema.
- C** O gás em expansão absorverá calor da vizinhança, resfriando o sistema.
- D** A variação da energia interna da expansão será nula.
- E** A variação da energia interna do sistema será negativa.

#### PROBLEMA 5.13

2A14

Amostras de massas iguais de duas substâncias, **A** e **B**, foram submetidas independentemente a um processo de aquecimento em atmosfera inerte e sob pressão constante. A curva de aquecimento das amostras é apresentado a seguir.



**Assinale** a alternativa *incorreta*.

- A** A entalpia de fusão de **A** é menor que a de **B**.
- B** A entalpia de vaporização de **A** é menor que a de **B**.
- C** A capacidade calorífica na fase sólida de **A** é menor que a de **B**.
- D** A capacidade calorífica na fase líquida de **A** é maior que a de **B**.
- E** A capacidade calorífica na fase gasosa de **A** é maior que a de **B**.

#### PROBLEMA 5.14

2A16

A oxidação de aminoácidos no organismo leva a formação de ureia ( $\text{H}_2\text{NCONH}_2$ ), dióxido de carbono e água.

**Assinale** a alternativa do valor mais próximo da entalpia de oxidação da glicina ( $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$ ).

- A**  $-620 \text{ kJ mol}^{-1}$
- B**  $-650 \text{ kJ mol}^{-1}$
- C**  $-680 \text{ kJ mol}^{-1}$
- D**  $-710 \text{ kJ mol}^{-1}$
- E**  $-740 \text{ kJ mol}^{-1}$

**Dados**

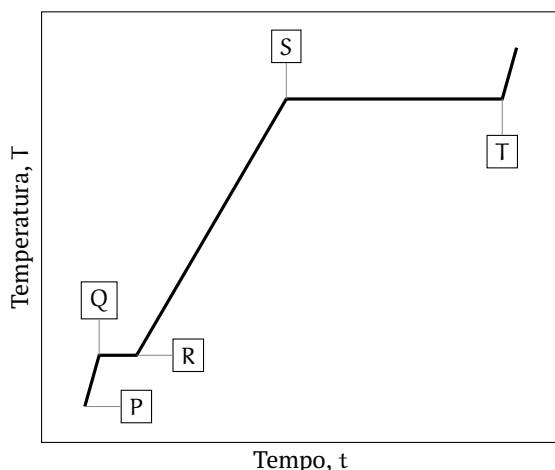
- $\Delta H_f^\circ(\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}, \text{s}) = -533 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{CO}, \text{s}) = -334 \text{ kJ mol}^{-1}$

- $\Delta H_f^\circ (\text{H}_2\text{O}, \text{l}) = -286 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ (\text{CO}_2, \text{g}) = -394 \text{ kJ mol}^{-1}$

#### PROBLEMA 5.15

2A13

Considere a curva de aquecimento para uma substância sólida com apenas uma fase cristalina.



Considere as proposições.

1. Na região entre P e Q ocorre aumento da energia cinética.
2. Na região entre Q e R ocorre aumento da energia potencial.
3. O calor de fusão da substância é menor que o seu calor de vaporização.
4. O calor específico do sólido é maior que o calor específico do líquido.

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

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

#### PROBLEMA 5.16

2A17

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da entalpia de formação do metano.

- |                                     |                                    |
|-------------------------------------|------------------------------------|
| <b>A</b> $-225 \text{ kJ mol}^{-1}$ | <b>B</b> $-75 \text{ kJ mol}^{-1}$ |
| <b>C</b> $75 \text{ kJ mol}^{-1}$   | <b>D</b> $150 \text{ kJ mol}^{-1}$ |
| <b>E</b> $225 \text{ kJ mol}^{-1}$  |                                    |

**Dados**

- $\Delta H_c^\circ (\text{CH}_4, \text{g}) = -890 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ (\text{H}_2\text{O}, \text{l}) = -286 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ (\text{CO}_2, \text{g}) = -394 \text{ kJ mol}^{-1}$

#### PROBLEMA 5.17

2A18

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da razão entre a energia liberada por átomo de hidrogênio na combustão completa do octano gasoso e na célula de combustível de hidrogênio e oxigênio.

- |              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|
| <b>A</b> 0,2 | <b>B</b> 0,5 | <b>C</b> 1,0 |
| <b>D</b> 2,5 | <b>E</b> 5,0 |              |

**Dados**

- $\Delta H_L (\text{C}-\text{C}) = 348 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_L (\text{C}-\text{H}) = 412 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_L (\text{C}=\text{O}) = 743 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_L (\text{H}_2) = 436 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_L (\text{O}_2) = 496 \text{ kJ mol}^{-1}$

#### PROBLEMA 5.18

2A19

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da entalpia de bromação de um mol de propeno ( $\text{CH}_3\text{CHCH}_2$ ), formando 1,2-dibromopropeno ( $\text{CH}_3\text{CHBrCH}_2\text{Br}$ ).

- |                            |                            |
|----------------------------|----------------------------|
| <b>A</b> $-101 \text{ kJ}$ | <b>B</b> $-401 \text{ kJ}$ |
| <b>C</b> $-302 \text{ kJ}$ | <b>D</b> $-130 \text{ kJ}$ |
| <b>E</b> $-202 \text{ kJ}$ |                            |

**Dados**

- $H_{\text{vap}}(\text{Br}_2) = 15.44$
- $H_{\text{vap}}(\text{CH}_3\text{CHBrCH}_2\text{Br}) = 35.61$
- $\Delta H_L (\text{Br}_2) = 193 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_L (\text{C}-\text{Br}) = 276 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_L (\text{C}-\text{C}) = 348 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_L (\text{C}=\text{C}) = 612 \text{ kJ mol}^{-1}$

#### PROBLEMA 5.19

2A21

A hidrogenação do monóxido de carbono libera  $131 \text{ kJ}$  por mol de grafita formado.

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da entalpia de reforma de 1 mol de metano com vapor, método industrial para produção de hidrogênio.

- |                                    |                                     |
|------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>A</b> $207 \text{ kJ mol}^{-1}$ | <b>B</b> $-204 \text{ kJ mol}^{-1}$ |
| <b>C</b> $302 \text{ kJ mol}^{-1}$ | <b>D</b> $-197 \text{ kJ mol}^{-1}$ |
| <b>E</b> $250 \text{ kJ mol}^{-1}$ |                                     |

**Dados**

- $\Delta H_c^\circ (\text{CH}_4, \text{g}) = -890 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ (\text{H}_2\text{O}, \text{l}) = -286 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ (\text{CO}_2, \text{g}) = -394 \text{ kJ mol}^{-1}$

**PROBLEMA 5.20**

2A20

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da entalpia de formação do metanol.

- |                                     |                                     |
|-------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>A</b> $-260 \text{ kJ mol}^{-1}$ | <b>B</b> $-200 \text{ kJ mol}^{-1}$ |
| <b>C</b> $-130 \text{ kJ mol}^{-1}$ | <b>D</b> $130 \text{ kJ mol}^{-1}$  |
| <b>E</b> $260 \text{ kJ mol}^{-1}$  |                                     |

**Dados**

- $H_{\text{sub}}(\text{grafita}) = 716$
- $\Delta H_L(\text{C-H}) = 412 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_L(\text{C-O}) = 360 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_L(\text{H}_2) = 436 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_L(\text{O-H}) = 463 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_L(\text{O}_2) = 496 \text{ kJ mol}^{-1}$

**PROBLEMA 5.21**

2A22

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da entalpia de desidrogenação de 1 mol de propano, formando propeno.

- |                            |                            |
|----------------------------|----------------------------|
| <b>A</b> $-3,5 \text{ MJ}$ | <b>B</b> $-2,2 \text{ MJ}$ |
| <b>C</b> $-2,2 \text{ kJ}$ | <b>D</b> $3,5 \text{ kJ}$  |
| <b>E</b> $2,2 \text{ MJ}$  |                            |

**Dados**

- $\Delta H_c^\circ(\text{C}_3\text{H}_8, \text{g}) = -2220 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{H}_2\text{O}, \text{l}) = -286 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{CO}_2, \text{g}) = -394 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{C}_3\text{H}_6, \text{g}) = 20,4 \text{ kJ mol}^{-1}$

**PROBLEMA 5.22**

2A23

Uma amostra de 0,113 g de benzeno é queimada em um calorímetro isobárico ( $C = 551 \text{ J } ^\circ\text{C}^{-1}$ ) com excesso de oxigênio. A elevação de temperatura registrada foi de  $8,60^\circ\text{C}$ .

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da entalpia de combustão do benzeno.

- |                                      |                                      |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>A</b> $-3,25 \text{ MJ mol}^{-1}$ | <b>B</b> $-3,50 \text{ MJ mol}^{-1}$ |
| <b>C</b> $-3,75 \text{ MJ mol}^{-1}$ | <b>D</b> $-4,25 \text{ MJ mol}^{-1}$ |
| <b>E</b> $-4,50 \text{ MJ mol}^{-1}$ |                                      |

**PROBLEMA 5.23**

2A24

Um calorímetro foi calibrado pela queima de 0,825 g de ácido benzoico com excesso de oxigênio. A elevação de temperatura registrada foi de  $8,60^\circ\text{C}$ . Quando uma amostra com 0,725 g de ribose ( $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5$ ) é queimada no mesmo calorímetro, a temperatura aumenta de  $21,81^\circ\text{C}$  para  $22,72^\circ\text{C}$ .

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da energia de combustão da ribose.

- |                                    |                                     |
|------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>A</b> $220 \text{ kJ mol}^{-1}$ | <b>B</b> $4700 \text{ kJ mol}^{-1}$ |
| <b>C</b> $580 \text{ kJ mol}^{-1}$ | <b>D</b> $740 \text{ kJ mol}^{-1}$  |
| <b>E</b> $850 \text{ kJ mol}^{-1}$ |                                     |

**Dados**

- $\Delta H_c^\circ(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}, \text{s}) = -3230 \text{ kJ mol}^{-1}$

**PROBLEMA 5.24**

2A25

Uma amostra de 180 mg de glicose é queimada em um calorímetro isocórico, com capacidade calorífica  $C = 512 \text{ J } ^\circ\text{C}^{-1}$ , a  $25^\circ\text{C}$  com excesso de oxigênio. A variação de temperatura registrada foi de  $5^\circ\text{C}$ .

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da entalpia de combustão da glicose.

- |                             |                             |
|-----------------------------|-----------------------------|
| <b>A</b> $-2575 \text{ kJ}$ | <b>B</b> $-2560 \text{ kJ}$ |
| <b>C</b> $-2545 \text{ kJ}$ | <b>D</b> $2545 \text{ kJ}$  |
| <b>E</b> $2560 \text{ kJ}$  |                             |

**PROBLEMA 5.25**

2A26

Em um cilindro, provido de um pistão móvel sem atrito, é realizada a combustão completa de carbono. A temperatura no interior do cilindro é mantida constante desde a introdução dos reagentes até o final da reação.

1. A variação da energia interna do sistema é igual a zero.
2. O sistema não realiza trabalho.
3. A quantidade de calor trocada entre o sistema e a vizinhança é igual a zero.
4. A variação da entalpia do sistema é igual à variação da energia interna.

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

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

**PROBLEMA 5.26**

2A27

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da massa de butano necessária para aquecer 1 L de água de  $17^\circ\text{C}$  a  $100^\circ\text{C}$ .

- |               |               |               |
|---------------|---------------|---------------|
| <b>A</b> 3 g  | <b>B</b> 7 g  | <b>C</b> 14 g |
| <b>D</b> 21 g | <b>E</b> 28 g |               |

**Dados**

- $C_p(\text{H}_2\text{O}, \text{l}) = 75,3 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $\Delta H_c^\circ(\text{C}_4\text{H}_{10}, \text{g}) = -2880 \text{ kJ mol}^{-1}$

**PROBLEMA 5.27**

2A28

O poder calorífico superior (PCS) e o poder calorífico inferior (PCI) são definidos como a energia liberada na combustão completa de uma substância formando água líquida e gasosa, respectivamente.

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima do PCI do etanol ( $\text{PCS} = 30 \text{ MJ kg}^{-1}$ ).

- A**  $21 \text{ MJ kg}^{-1}$       **B**  $27 \text{ MJ kg}^{-1}$   
**C**  $30 \text{ MJ kg}^{-1}$       **D**  $33 \text{ MJ kg}^{-1}$   
**E**  $39 \text{ MJ kg}^{-1}$

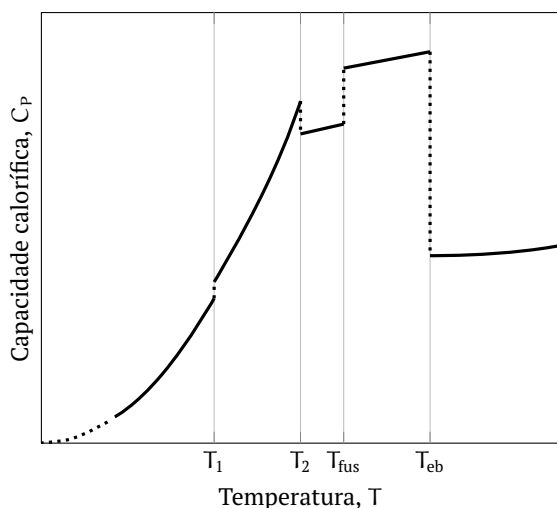
**Dados**

$$\Delta H_{\text{vap}}^{\circ}(\text{H}_2\text{O}) = 40,7 \text{ kJ mol}^{-1}$$

**Nível II**
**PROBLEMA 5.28**

2A15

Considere a variação da capacidade calorífica de uma substância com a temperatura.



**Assinale** a alternativa *incorreta*.

- A** A substância apresenta mais de uma estrutura cristalina.  
**B** A capacidade calorífica da substância é menor no estado gasoso do que no estado líquido.  
**C** A capacidade calorífica para qualquer fase da substância aumenta com o aumento da temperatura.  
**D** Caso a substância se mantenha no estado líquido em temperaturas inferiores a  $T_{\text{fus}}$ , a capacidade calorífica da substância líquida é maior que a capacidade calorífica da fase sólida metaestável em temperaturas inferiores a  $T_{\text{fus}}$ .  
**E** A variação de entalpia quando essa substância sofre uma reação química no estado líquido aumenta com o aumento da temperatura.

**PROBLEMA 5.29**

2A29

Uma substância de massa molar  $200 \text{ g mol}^{-1}$  foi colocada em um recipiente equipado com uma serpentina de aquecimento resistivo, a  $80^\circ\text{C}$  e 1 bar. Para a manutenção da temperatura, foi utilizada uma fonte de 30 V e 900 mA durante 30 s, vaporizando 2 g da substância.

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da entalpia de vaporização dessa substância.

- A**  $8 \text{ kJ mol}^{-1}$       **B**  $40 \text{ kJ mol}^{-1}$   
**C**  $80 \text{ kJ mol}^{-1}$       **D**  $400 \text{ kJ mol}^{-1}$   
**E**  $800 \text{ kJ mol}^{-1}$

**PROBLEMA 5.30**

2A30

Um calorímetro foi calibrado aplicando uma corrente de 1 A de uma fonte de 9 V por 150 s, sendo registrada uma variação de temperatura de  $5^\circ\text{C}$ . Em um segundo experimento, um mol de uma substância foi queimado nesse calorímetro e a variação de temperatura registrada foi de  $3^\circ\text{C}$ .

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da entalpia de vaporização dessa substância.

- A**  $510 \text{ kJ mol}^{-1}$       **B**  $610 \text{ kJ mol}^{-1}$   
**C**  $710 \text{ kJ mol}^{-1}$       **D**  $810 \text{ kJ mol}^{-1}$   
**E**  $910 \text{ kJ mol}^{-1}$

**PROBLEMA 5.31**

2A31

O perclorato de amônio é um dos componentes mais utilizados em propelentes de foguetes. Para aperfeiçoar seu desempenho, hidrogênio pode ser utilizado como aditivo. Considere o poder calorífico, PC, dessa mistura em função da fração mássica de hidrogênio.

| $x_{\text{H}_2}/\%$ | PC/ $\text{kJ g}^{-1}$ |
|---------------------|------------------------|
| 0                   | 2                      |
| 5                   | 8,7                    |
| 10                  |                        |

- a. **Determine** a entalpia de combustão do perclorato de amônio.  
 b. **Determine** a entalpia de combustão do hidrogênio.

**PROBLEMA 5.32**

2A32

Uma mistura de metano e eteno foi queimada em um reator de 3,0 L a  $25^\circ\text{C}$ , em presença de excesso de oxigênio. O reator é equipado com uma jaqueta externa, preenchida com 1 L de água, que mantém a temperatura constante em seu interior. A combustão foi realizada a  $25^\circ\text{C}$ , liberando 242,7 kcal, e reduzindo a pressão em 16,3 atm.

- a. **Determine** a energia interna de combustão do metano.  
 b. **Determine** a energia interna de combustão do eteno.  
 c. **Determine** a massa de metano na mistura inicial.

### Dados

- $C_p(\text{H}_2\text{O}, \text{l}) = 75,3 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{H}_2\text{O}, \text{l}) = -286 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{CO}_2, \text{g}) = -394 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{C}_2\text{H}_4, \text{g}) = 52,3 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{CH}_4, \text{g}) = -74,8 \text{ kJ mol}^{-1}$

### PROBLEMA 5.33

2A33

**Determine** a energia liberada durante a precipitação pluviométrica de 20 mm de chuva sobre uma área de  $100 \text{ km}^2$ .

### Dados

- $\Delta H_{\text{vap}}^\circ(\text{H}_2\text{O}) = 40,7 \text{ kJ mol}^{-1}$

### PROBLEMA 5.34

2A34

O consumo global anual de energia é cerca de 100 terawatts, sendo 30 % desse valor proveniente da queima de combustíveis fósseis. Considere que os combustíveis fósseis são compostos majoritariamente por octano, contendo 10 ppm de enxofre. Apenas 80 % da energia liberada na combustão completa pode ser aproveitada.

- Apresente** a reação de combustão completa do octano com ar atmosférico.
- Determine** a massa de dióxido de enxofre formada por hora devido à queima de combustíveis fósseis.

### Dados

- $\Delta H_f^\circ(\text{H}_2\text{O}, \text{l}) = -286 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{CO}_2, \text{g}) = -394 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{C}_8\text{H}_{18}, \text{l}) = -250 \text{ kJ mol}^{-1}$

### PROBLEMA 5.35

2A35

Considere os processos químicos a seguir.

- Reação de formação da água gasosa.
- Reação de formação da água líquida.

**Assinale** a alternativa *incorreta*.

- A** As reações 1 e 2 são exotérmicas.
- B** O valor absoluto da variação de entalpia é menor que o da variação de energia interna para a reação 1.
- C** O valor absoluto da variação de energia interna da reação 1 é menor que o da 2.
- D** O valor absoluto da variação de entalpia da reação 1 é menor que o da 2.
- E** A capacidade calorífica do produto da reação 1 é menor que o da 2.

### PROBLEMA 5.36

2A36

Considere os processos a seguir, em 298 K e 1 atm. Combustão de 1 g de etanol formando fuligem. Combustão de 1 g de etanol formando monóxido de carbono.

**Assinale** a alternativa *correta*.

- A** Os processos ocorrem com a mesma variação de energia interna.
- B** Os processos ocorrem com a mesma variação de entalpia.
- C** O valor absoluto da variação de energia interna é maior para o primeiro processo.
- D** O valor absoluto da variação de entalpia é maior que o valor absoluto da variação de energia interna para o primeiro processo.
- E** O valor absoluto da variação de entalpia é menor que o valor absoluto da variação de energia interna para o segundo processo.

### PROBLEMA 5.37

2A39

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da temperatura adiabática de chama para a combustão octano líquido com 300 % de excesso de ar atmosférico.

- A** 580 K
- B** 680 K
- C** 780 K
- D** 880 K
- E** 980 K

### Dados

- $C_p(\text{CO}_2, \text{g}) = 37,1 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $C_p(\text{N}_2, \text{g}) = 29,1 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $C_p(\text{O}_2, \text{g}) = 29,4 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $C_p(\text{H}_2\text{O}, \text{g}) = 33,6 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{CO}_2, \text{g}) = -394 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{C}_8\text{H}_{18}, \text{l}) = -250 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{H}_2\text{O}, \text{g}) = -242 \text{ kJ mol}^{-1}$

### PROBLEMA 5.38

2A37

**Determine** a entalpia de combustão do octano.

### Dados

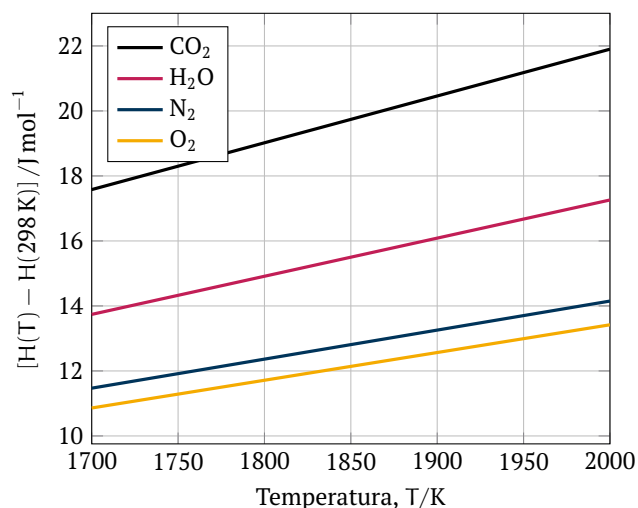
- $\Delta H_c^\circ(\text{C}_4\text{H}_{10}, \text{g}) = -2880 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_c^\circ(\text{C}_5\text{H}_{12}, \text{g}) = -3540 \text{ kJ mol}^{-1}$

### PROBLEMA 5.39

2A40

Uma mistura (1 : 15) de metano e ar atmosférico, a 298 K e 1 atm, entra em combustão em um reservatório adiabático, consumindo completamente o metano. O processo ocorre sob pressão constante e os produtos formados permanecem em fase gasosa.





- Determine a temperatura final do sistema.
- Determine a concentração final de vapor.

#### Dados

- $\Delta H_f^\circ (\text{CO}_2, \text{g}) = -394 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ (\text{CH}_4, \text{g}) = -74,8 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ (\text{H}_2\text{O}, \text{g}) = -242 \text{ kJ mol}^{-1}$

#### PROBLEMA 5.40

2A38

Amostras de 5 g de etano e propano foram queimadas independentemente em um calorímetro a 298 K e 1 atm, liberando 260 kJ e 250 kJ de energia, respectivamente.

- Determine a energia da ligação C—C.
- Determine a energia da ligação C—H.

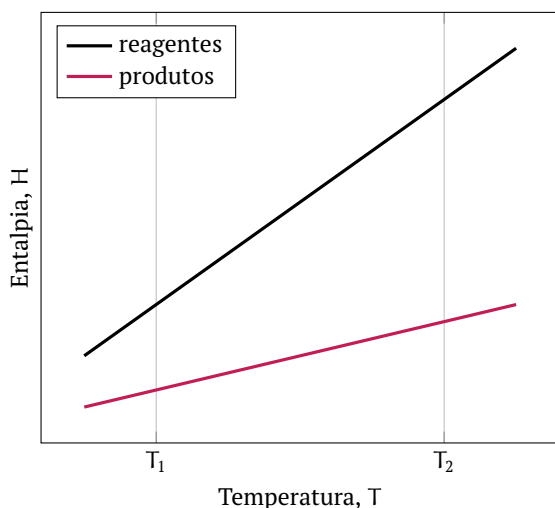
#### Dados

- $H_{\text{sub}}(\text{grafita}) = 716$
- $\Delta H_f^\circ (\text{H}_2\text{O}, \text{l}) = -286 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ (\text{CO}_2, \text{g}) = -394 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_L (\text{H}_2) = 436 \text{ kJ mol}^{-1}$

#### PROBLEMA 5.41

2A41

Considere a variação da entalpia com a temperatura para os reagentes e produtos de uma reação.



Assinale a alternativa *incorreta*.

- A reação ocorre com liberação de calor em  $T_1$ .
- A capacidade calorífica dos reagentes é maior que a dos produtos em  $T_1$ .
- A reação ocorre com absorção de calor entre  $T_1$  e  $T_2$ .
- O valor absoluto da entalpia de reação aumenta com o aumento de temperatura.
- A capacidade calorífica dos reagentes e dos produtos aumenta com o aumento da temperatura.

#### PROBLEMA 5.42

2A42

Assinale a alternativa que mais se aproxima da entalpia de formação da amônia a 450 °C.

- $-30 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $-45 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $-55 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $-65 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $-70 \text{ kJ mol}^{-1}$

#### Dados

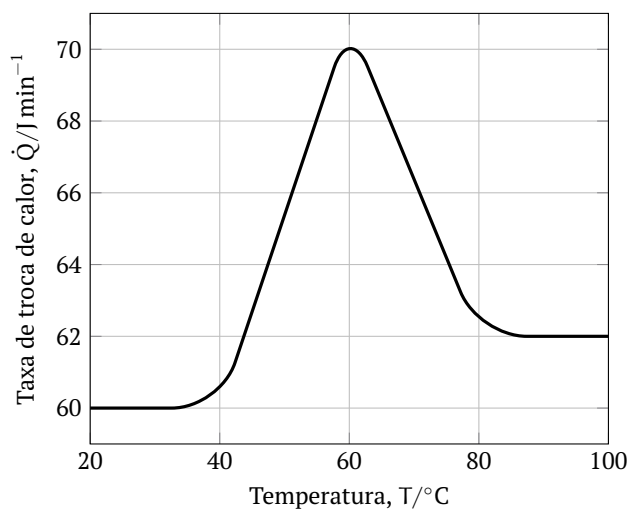
- $C_p (\text{NH}_3, \text{g}) = 35,1 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $C_p (\text{H}_2, \text{g}) = 28,8 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $C_p (\text{N}_2, \text{g}) = 29,1 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ (\text{NH}_3, \text{g}) = -46,1 \text{ kJ mol}^{-1}$

### Nível III

#### PROBLEMA 5.43

2A44

A técnica de calorimetria exploratória diferencial pode ser aplicada para determinar a entalpia de desnaturação uma proteína. Uma amostra contendo 1 g da proteína e uma amostra de alumínio são colocadas no equipamento. O alumínio recebe uma taxa constante de calor de forma que sua temperatura varia  $1 \text{ K s}^{-1}$ . A taxa de calor fornecida à proteína varia de forma que a temperatura da proteína e do alumínio permanecem iguais em todo o processo. O termograma a seguir apresenta a taxa de calor fornecida à proteína em função de sua temperatura.





- Classifique** a desnaturação como endotérmica ou exotérmica.
- Compare** a capacidade calorífica da proteína antes e após a desnaturação.
- Estime** a variação de entalpia da desnaturação.

#### PROBLEMA 5.44

2A45

Dados termodinâmicos podem ser utilizados para quantificar a estabilidade de compostos aromáticos.

- Determine** a entalpia de hidrogenação do cicloexeno.
- Determine** a entalpia de hidrogenação do benzeno.
- Determine** a entalpia de ressonância do benzeno.

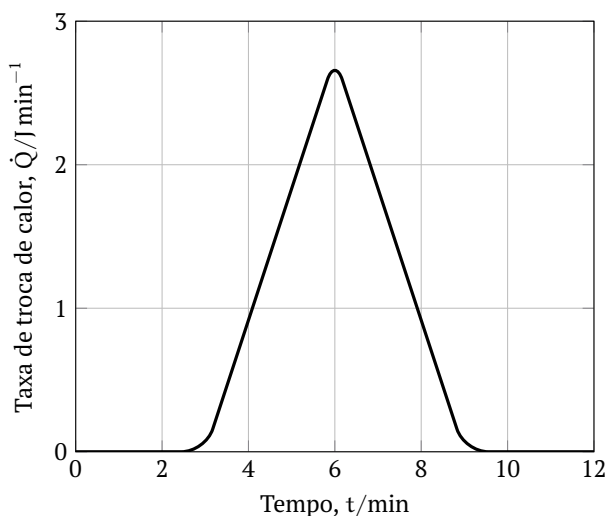
#### Dados

- $\Delta H_c^\circ (\text{C}_6\text{H}_6, \text{l}) = -3270 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_c^\circ (\text{C}_6\text{H}_{12}, \text{l}) = -3920 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_c^\circ (\text{C}_6\text{H}_{10}, \text{l}) = -3750 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ (\text{H}_2\text{O}, \text{l}) = -286 \text{ kJ mol}^{-1}$

#### PROBLEMA 5.45

2A43

O gráfico a seguir apresenta a taxa de liberação de calor para uma reação química. Ao final da reação é formado 1 mol de produto.

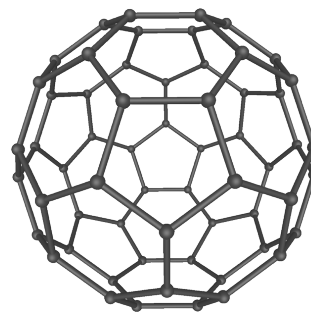


- Determine** a quantidade de produto formada até 4 minutos de reação.
- Determine** o calor liberado até 11 minutos de reação.

#### PROBLEMA 5.46

2A46

Considere a estrutura do fulereno,  $\text{C}_{60}$ .



- Determine** a entalpia de formação do fulereno.
- Determine** a entalpia de ressonância do fulereno.

#### Dados

- $H_c(\text{C}_{60}) = -26000$
- $H_{\text{sub}}(\text{C}_{60}) = 1000$
- $\Delta H_f^\circ (\text{H}_2\text{O}, \text{l}) = -286 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ (\text{CO}_2, \text{g}) = -394 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_L(\text{C}-\text{C}) = 348 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_L(\text{C}=\text{C}) = 612 \text{ kJ mol}^{-1}$

#### PROBLEMA 5.47

2A47

Uma massa de óxido ferroso é aquecida a 1273 K e, em seguida, exposta a uma mistura gasosa de monóxido de carbono e hidrogênio. O óxido é reduzido a metal sem qualquer fornecimento adicional de energia. O sistema perde 4,2 kJ de calor para a vizinhança por mol de óxido reduzido.

**Determine** a razão mínima entre as pressões parciais de monóxido de carbono e de hidrogênio na mistura gasosa inicial, para que o processo seja autossustentável.

#### Dados

- $H_f(\text{FeO}, \text{s})$
- $\Delta H_f^\circ (\text{CO}, \text{g}) = -111 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ (\text{CO}, \text{g}) = -111 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ (\text{H}_2\text{O}, \text{g}) = -242 \text{ kJ mol}^{-1}$

#### PROBLEMA 5.48

2A48

A ustulação da blenda de zinco é conduzida a 1300 K em um reator do tipo leito fluidizado. Sulfeto de zinco misturado com sílica e ar são adicionados em fluxo contínuo a 300 K. A reação libera 460 kJ de calor por mol de sulfeto a 1300 K, formando óxido de zinco e dióxido de enxofre.

**Determine** a fração molar máxima da sílica na mistura com sulfeto de zinco para que o processo seja autossustentável a 1300 K.

#### Dados

- $CP(\text{ZnS}, \text{s}) = 45,7$
- $C_P(\text{N}_2, \text{g}) = 29,1 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $C_P(\text{O}_2, \text{g}) = 29,4 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $C_P(\text{SiO}_2, \text{s}) = 44,4 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

**PROBLEMA 5.49**

2A49

Monóxido de carbono a 473 K é queimado com 90% de excesso de ar seco, a 773 K e 1 atm. Os produtos da combustão abandonam a câmara de reação a 1273 K.

**Determine** o calor liberado por mol de monóxido de carbono formado.

**Dados**

- $C_p(\text{CO}_2, \text{g}) = 37,1 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $C_p(\text{CO}, \text{g}) = 29,1 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $C_p(\text{N}_2, \text{g}) = 29,1 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $C_p(\text{O}_2, \text{g}) = 29,4 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{CO}_2, \text{g}) = -394 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{CO}, \text{g}) = -111 \text{ kJ mol}^{-1}$

**PROBLEMA 5.50**

2A50

Um carro comum possui quatro cilindros, que totalizam um volume de 1,6 L e um consumo de combustível de 9,5 L por 100 km quando viaja a  $80 \text{ km h}^{-1}$ . Cada cilindro sofre 20 ciclos de queima por segundo. O combustível, octano, e ar são introduzidos a 390 K no cilindro quando seu volume é máximo, até que a pressão seja 1 atm. Na combustão, 10% do carbono é convertido em monóxido e o restante em dióxido. Ao final do ciclo, o cilindro se expande novamente até o volume máximo, sob pressão final de 20 atm.

- Determine** a vazão de entrada de ar no motor.
- Determine** a composição da mistura gasosa de saída.
- Determine** a temperatura dos gases imediatamente após a combustão.
- Determine** a temperatura de saída dos gases.

**Dados**

- $C_p(\text{CO}_2, \text{g}) = 37,1 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $C_p(\text{CO}, \text{g}) = 29,1 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $C_p(\text{N}_2, \text{g}) = 29,1 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $C_p(\text{O}_2, \text{g}) = 29,4 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{CO}_2, \text{g}) = -394 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{CO}, \text{g}) = -111 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{C}_8\text{H}_{18}, \text{l}) = -250 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $\Delta H_f^\circ(\text{H}_2\text{O}, \text{g}) = -242 \text{ kJ mol}^{-1}$

**Gabarito**
**Nível I**

- |              |              |              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1. <b>B</b>  | 2. <b>C</b>  | 3. <b>A</b>  | 4. <b>A</b>  | 5. <b>D</b>  |
| 6. <b>C</b>  | 7. <b>D</b>  | 8. <b>C</b>  | 9. <b>E</b>  | 10. <b>E</b> |
| 11. <b>E</b> | 12. <b>D</b> | 13. <b>B</b> | 14. <b>B</b> | 15. <b>B</b> |
| 16. <b>B</b> | 17. <b>D</b> | 18. <b>A</b> | 19. <b>A</b> | 20. <b>B</b> |
| 21. <b>B</b> | 22. <b>A</b> | 23. <b>C</b> | 24. <b>B</b> | 25. <b>C</b> |
| 26. <b>B</b> | 27. <b>A</b> |              |              |              |

**Nível II**

- E**
- C**
- D**
- $-190 \text{ kJ mol}^{-1}$
  - $-286 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $-891,2 \text{ kJ mol}^{-1}$
  - $-1412,6 \text{ kJ mol}^{-1}$
  - 12 g
- $4,9 \times 10^{15} \text{ J}$
- $\text{C}_8\text{H}_{18} + \frac{25}{2} \text{O}_2 \longrightarrow 8 \text{CO}_2 + 9 \text{H}_2\text{O}$
  - 7 toneladas por hora
- B**
- E**
- E**
- $-5520 \text{ kJ}$
- 1733 K
  - $5,2 \text{ mmol L}^{-1}$
- $348 \text{ kJ mol}^{-1}$
  - $412 \text{ kJ mol}^{-1}$
- C**
- C**

**Nível III**

- Endotérmica
  - Aumenta
  - $3 \text{ J g}^{-1}$
- $-120 \text{ kJ mol}^{-1}$
  - $-208 \text{ kJ mol}^{-1}$
  - $140 \text{ kJ mol}^{-1}$
- $n = 60 \text{ mmol}$
  - $Q = 8,25 \text{ J mol}^{-1}$
- $-40 \text{ MJ mol}^{-1}$
  - $2,4 \text{ MJ mol}^{-1}$
- 1,5
- $2/3$
- $-193 \text{ kJ}$
- $40 \text{ L s}^{-1}$
  - 75%  $\text{N}_2$ , 4%  $\text{O}_2$ , 1%  $\text{CO}$ , 9%  $\text{CO}_2$ , 11%  $\text{H}_2\text{O}$
  - $2000^\circ\text{C}$
  - 750 K