

# Gases

Gabriel Braun

Colégio e Curso Pensi, Coordenação de Química



## 1 As misturas de gases

Muitos dos gases que conhecemos no dia a dia, e nos laboratórios de química, são misturas. A atmosfera, por exemplo, é uma mistura de nitrogênio, oxigênio, argônio, dióxido de carbono e muitos outros gases.

### 1.1 A pressão parcial

Constituinte	Fração mássica
N <sub>2</sub>	78%
O <sub>2</sub>	21%
Ar	1%

Em pressões baixas, todos os gases respondem da mesma maneira a mudanças de pressão, volume e temperatura. Por isso, nos cálculos comuns sobre as propriedades físicas dos gases, não é essencial que todas as moléculas de uma amostra sejam iguais. *Uma mistura de gases que não reagem entre si comporta-se como um único gás puro.*

John Dalton foi o primeiro a mostrar como calcular a pressão de uma mistura de gases. Para entender seu raciocínio, imagine determinada quantidade de oxigênio em um recipiente na pressão de 0,6 atm. O oxigênio é, então, evacuado. Depois disso, uma quantidade de gás nitrogênio suficiente para chegar à pressão de 0,4 atm é introduzida no recipiente, na mesma temperatura. Dalton queria saber qual seria a pressão total se as mesmas quantidades dos dois gases estivessem simultaneamente no recipiente. Ele fez algumas medidas pouco precisas e concluiu que a pressão total exercida pelos dois gases no mesmo recipiente era 1,0 atm, a soma das pressões individuais.

Dalton descreveu suas observações em termos do que chamou de **pressão parcial** de cada gás, isto é, a pressão que o gás exerceria se somente ele ocupasse o recipiente. Em nosso exemplo, as pressões parciais de oxigênio e nitrogênio na mistura são 0,6 atm e 0,4 atm, respectivamente, porque essas são as pressões que os gases exercem quando cada um está sozinho no recipiente. Dalton resumiu suas observações na **lei das pressões parciais**: A pressão total de uma mistura de gases é a soma das pressões parciais de seus componentes.

Se escrevemos as pressões parciais dos gases A, B, ... como  $P_A$ ,  $P_B$ , ... e a pressão total da mistura como  $P$ , então a lei de Dalton pode ser escrita como:

$$P = P_A + P_B + \dots$$

A lei das pressões parciais só é exata para gases de comportamento ideal, mas é uma boa aproximação para quase todos os gases em condições normais.

A pressão total de um gás é o resultado do choque das moléculas contra as paredes do recipiente. Os choques ocorrem com todas as moléculas da mistura. As moléculas do gás A colidem com as paredes, assim como as do gás B. Mas se essas colisões são independentes umas das outras, então a pressão resultante final é a soma das pressões individuais, como diz a lei de Dalton.

**Ponto para pensar** O ar úmido é mais denso ou menos denso do que o ar seco nas mesmas condições?

Um modo útil de expressar a relação entre a pressão total de uma mistura e as pressões parciais de seus componentes é usar a fração molar,  $x$ , de cada componente A, B, ..., isto é, a fração do número total de mols de moléculas da amostra. Se a quantidade total de moléculas de gás presentes é  $n$  e a quantidade de moléculas de cada gás A, B, etc. presente é  $n_A$ ,  $n_B$ , e assim sucessivamente, a fração molar é:

$$x_A = \frac{n_A}{n} = \frac{n_A}{n_A + n_B + \dots}$$

O mesmo acontece com as frações molares dos demais componentes. Em uma mistura binária (dois componentes) dos gases A e B,

$$x_A + x_B = \frac{n_A}{n_A + n_B} + \frac{n_B}{n_A + n_B} = \frac{n_A + n_B}{n_A + n_B} = 1$$

Quando  $x_A = 1$ , a mistura é de A puro e, quando  $x_B = 1$ , de B puro. Quando  $x_A = x_B = 0,5$ , metade das moléculas é do gás A e metade do gás B. Estas definições e a lei dos gases ideais podem ser usadas para expressar a pressão parcial de um gás em termos de sua fração molar em uma mistura.

**Como isso é feito?** Para expressar a relação entre a pressão parcial de um gás A em uma mistura e sua fração molar, utilize a lei dos gases ideais para expressar a pressão parcial,  $P_A$ , do gás em termos da quantidade de moléculas de A presentes,  $n_A$ , do volume,  $V$ , ocupado pela mistura e da temperatura,  $T$ :

$$P_A = \frac{n_A RT}{V}$$

Como  $n_A = n x_A$  (em que  $n$  é a quantidade total de todos os gases) e  $P = nRT/V$ ,

$$P_A = \frac{n_A RT}{V} = x_A \frac{nRT}{V} = x_A P$$

O resultado é

$$P_A = x_A P$$

em que  $P$  é a pressão total e  $x_A$  é a fração molar de A na mistura.

Um fator importante mas sutil é que, enquanto Dalton definiu pressão parcial como a pressão que um gás exerceria sozinho no interior de um recipiente, a abordagem moderna consiste em usar a equação  $P_A = x_A P$  como definição da pressão parcial de *gases ideais e reais*. Por exemplo, para uma mistura binária de qualquer gás,

$$P_A + P_B = x_A P + x_B P = P$$

#### EXEMPLO 1 Cálculo da pressão parcial

Uma amostra de 1 g de ar seco compõe-se quase completamente de 0,78 g de nitrogênio e 0,22 g de oxigênio. A pressão total é 5 atm

Calcule as pressões parciais de nitrogênio e oxigênio.

**Etapa 1.** Converta as massas em quantidade usando a massa molar ( $n = m/M$ ). As massas molares do  $N_2$  e da  $O_2$  são  $28 \text{ g mol}^{-1}$  e  $32 \text{ g mol}^{-1}$ , respectivamente.

$$n_{N_2} = \frac{0,78 \text{ g}}{28 \text{ g mol}^{-1}} = 28 \text{ mmol}$$

$$n_{O_2} = \frac{0,22 \text{ g}}{32 \text{ g mol}^{-1}} = 7 \text{ mmol}$$

**Etapa 2.** Calcule a quantidade total de moléculas de gás ( $n = n_{N_2} + n_{O_2}$ )

$$n = 28 \text{ mmol} + 7 \text{ mmol} = 35 \text{ mmol}$$

**Etapa 3.** Calcule as frações molares ( $x_A = n_A/n$ )

$$n_{N_2} = \frac{28 \text{ mmol}}{35 \text{ mmol}} = 0,8$$

$$n_{O_2} = \frac{7 \text{ mmol}}{35 \text{ mmol}} = 0,2$$

**Etapa 4.** Calcule a pressão parcial usando a pressão total e a fração molar ( $P_A = x_A P$ ).

$$P_{N_2} = 0,8 \times 5 \text{ atm} = \boxed{4 \text{ atm}}$$

$$P_{O_2} = 0,2 \times 5 \text{ atm} = \boxed{1 \text{ atm}}$$

**A pressão parcial de um gás é a pressão que ele exerceria se ocupasse sozinho o recipiente. A pressão total de uma mistura de gases é a soma das pressões parciais de seus componentes. A pressão parcial de um gás está relacionada à pressão total pela fração molar:  $P_A = x_A P$ .**

## 2 As reações de gases

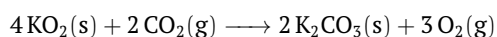
Muitas reações químicas têm gases como reagentes ou produtos. Conhecer a lei dos gases ideais permite acompanhar as quantidades de gás produzidas ou consumidas ao monitorar sua temperatura, sua pressão e seu volume. Esses cálculos podem ser usados independentemente de o gás ser um componente de uma mistura gasosa ou o único gás no recipiente.

### 2.1 A estequiometria dos gases em reações

Suponha que você precise conhecer o volume de dióxido de carbono produzido quando um combustível queima ou o volume de oxigênio necessário para reagir com uma determinada massa de hemoglobina nos glóbulos vermelhos do sangue. Para responder a esse tipo de pergunta, você pode combinar os cálculos de mol a mol com a conversão de mols de moléculas de gás ao volume que elas ocupam.

#### EXEMPLO 2 Cálculo do volume de gás que pode ser obtido de uma dada massa de reagente

O superóxido de potássio,  $KO_2$ , pode ser usado como purificador de ar, porque esse composto reage com o dióxido de carbono e libera oxigênio



**Calcule** a massa de  $KO_2$  necessária para a obtenção de 168 L de oxigênio em CNTP.

**Etapa 1.** Converta o volume de oxigênio em quantidade utilizando o volume molar ( $n = V/V_m$ ). O volume molar em CNTP é  $22,4 \text{ L mol}^{-1}$ .

$$n_{O_2} = \frac{168 \text{ L}}{22,4 \text{ L mol}^{-1}} = 7,5 \text{ mol}$$

**Etapa 2.** Use a relação estequiométrica para converter a quantidade de  $O_2$  na quantidade de  $KO_2$ .

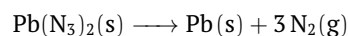
$$n_{KO_2} = 7,5 \text{ mol} \times \frac{4}{3} = 10 \text{ mol}$$

**Etapa 3.** Converta a quantidade de  $KO_2$  em massa utilizando sua massa molar ( $m = nM$ ). A massa molar do  $KO_2$  é  $71 \text{ g mol}^{-1}$ .

$$m_{KO_2} = 10 \text{ mol} \times 71 \text{ g mol}^{-1} = \boxed{710 \text{ g}}$$

Quando líquidos ou sólidos reagem para formar um gás, o volume pode aumentar de forma considerável. Os volumes molares dos gases estão próximos de  $25 \text{ L mol}^{-1}$  nas condições ambiente, ao passo que os líquidos e os sólidos só ocupam algumas dezenas de mililitros por mol. O volume molar da água líquida, por exemplo, é somente  $18 \text{ mL mol}^{-1}$  a  $25^\circ \text{C}$ . Em outras palavras, 1 mol de moléculas de gás em  $25^\circ \text{C}$  e 1 atm ocupa um volume aproximadamente mil vezes maior do que 1 mol de moléculas de um líquido ou sólido típico.

O aumento do volume durante a formação de produtos gasosos em uma reação química é ainda maior se várias moléculas de gás são produzidas por molécula de reagente, como no caso da formação de CO e  $CO_2$  a partir de um combustível sólido. A azida de chumbo(II),  $Pb(N_3)_2$ , um detonador para explosivos, libera um volume grande de gás nitrogênio quando sofre um golpe mecânico, produzindo a reação:



Uma explosão do mesmo tipo, com azida de sódio,  $NaN_3$ , é usada nos airbags de automóveis. A liberação explosiva de nitrogênio é detonada eletricamente quando o veículo desacelera abruptamente durante uma colisão.

**O volume molar (na temperatura e pressão especificadas) é usado para converter a quantidade de um reagente ou produto de uma reação química em um volume de gás.**

### 2.2 As previsões volume a volume

[EXEMPLO VOLUME]

### 2.3 As previsões pressão a pressão

[EXEMPLO RELACIONANDO COM A PRESSÃO TOTAL]

## 3 O movimento das moléculas

Os resultados empíricos resumidos pelas leis dos gases sugerem um modelo em que um gás ideal é formado por moléculas muito espaçadas, que não interagem entre si e que estão em movimento incessante e aleatório, com velocidades médias que aumentam com a temperatura. Este modelo é detalhado em duas etapas neste tópico. Primeiramente, as medidas experimentais da velocidade com que os gases viajam de uma região para outra são usadas para obter informações sobre as velocidades médias das moléculas. Em seguida, essas informações são empregadas para expressar quantitativamente o modelo.

### 3.1 A difusão e a efusão

A observação de dois processos, a difusão e a efusão, fornece resultados que mostram como as velocidades médias das moléculas dos gases se relacionam com a massa molar e a temperatura.

- a. A **difusão** é a dispersão gradual de uma substância em outra substância

Ocorre difusão quando, por exemplo, um cilindro de criptônio é aberto em uma atmosfera de neônio. A difusão explica a expansão dos perfumes e dos feromônios (sinais químicos que os animais trocam entre si) pelo ar. Ela também ajuda a manter aproximadamente uniforme a composição da atmosfera.

- a. A **efusão** é a fuga de um gás para o vácuo através de um orifício pequeno.

Ocorre efusão sempre que um gás está separado do vácuo por uma barreira porosa – uma barreira que contém orifícios microscópicos – ou por uma única abertura muito pequena. O gás escapa pela abertura porque ocorrem mais colisões com o orifício do lado de alta pressão do que do lado de baixa pressão e, conseqüentemente, passam mais moléculas da região de alta pressão para a região de baixa pressão do que na direção oposta. A efusão é examinada nesta seção, mas os aspectos discutidos são válidos também para a difusão.

**Ponto para pensar** Por que as moléculas mais pesadas difundem mais lentamente do que as moléculas leves na mesma temperatura?

#### EXEMPLO 3 Cálculo da massa molar por comparação de tempo de efusão

São necessários 40 s para 30 mL de argônio efundirem por uma barreira porosa. O mesmo volume de vapor de um composto volátil extraído de esponjas do Caribe leva 120 s para efundir pela mesma barreira nas mesmas condições.

**Calcule** a massa molar do composto.

**Etapa 1.** Rearranje  $t_X/t_{Ar} = \sqrt{M_X/M_{Ar}}$  para  $M_X = M_{Ar}(t_X/t_{Ar})^2$  e substitua os dados:

$$M_X = 40 \text{ g mol}^{-1} \left( \frac{120 \text{ s}}{40 \text{ s}} \right)^2 = \boxed{360 \text{ g mol}^{-1}}$$

**A velocidade média das moléculas de um gás é diretamente proporcional à raiz quadrada da temperatura e inversamente proporcional à raiz quadrada da massa molar.**

### 3.2 O modelo cinético dos gases

O **modelo cinético**, também chamado de *teoria cinética molecular*, é um modelo de gás ideal que explica as leis dos gases e o comportamento da efusão e pode ser usado para fazer previsões numéricas. Ele é baseado nas seguintes suposições:

1. Um gás é uma coleção de moléculas em movimento aleatório contínuo.
2. As moléculas de um gás são pontos infinitesimalmente pequenos.
3. As partículas se movem em linha reta até colidirem.

4. As moléculas não influenciam umas às outras, exceto durante as colisões.
5. As colisões são elásticas.

A quarta hipótese significa que o modelo exige que não existam forças de atração ou repulsão entre as moléculas do gás ideal, exceto durante as colisões instantâneas. Uma colisão é *elástica* se a energia cinética total das moléculas em colisão permanece invariável durante o fenômeno.

No modelo cinético dos gases, as moléculas são consideradas sempre muito separadas e em movimento aleatório constante. Elas se deslocam sempre em linha reta, mudando de direção apenas quando colidem com a parede do recipiente ou com outra molécula. As colisões mudam a velocidade e a direção das moléculas, como bolas em um jogo de sinuca molecular tridimensional. O modelo cinético de um gás permite obter a relação quantitativa entre a pressão e as velocidades das moléculas.

$$PV = \frac{1}{3}nMv_{rms}^2$$

em que  $n$  é a quantidade (em mols) de moléculas de gás,  $M$  é sua massa molar e  $v_{rms}$  é a raiz quadrada da velocidade quadrática média das moléculas (a raiz quadrada da média dos quadrados das velocidades). Se existem  $N$  moléculas na amostra cujas velocidades são, em algum momento,  $v_1, v_2, \dots, v_N$ , a raiz quadrada da velocidade quadrática média é

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_N^2}{N}}$$

A lei dos gases ideais pode agora ser usada para calcular a velocidade quadrática média das moléculas de um gás.

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

Esta equação importante serve para encontrar a raiz quadrada da velocidade quadrática média das moléculas em fase gás em qualquer temperatura. Ela também pode ser reescrita para enfatizar que, para um gás, a temperatura é uma medida da velocidade média das moléculas.

$$T = \frac{Mv_{rms}^2}{3R}$$

Isto é, a temperatura de um gás é proporcional à velocidade média de suas moléculas.

#### EXEMPLO 4 Cálculo da raiz quadrada da velocidade quadrática média das moléculas de um gás

**Calcule** a raiz quadrada da velocidade quadrática média das moléculas de nitrogênio em 20 °C.

**Etapa 1.** De  $v_{rms} = \sqrt{3RT/M}$

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{\overbrace{3 \times 8,3 \text{ J K}^{-1}}^R \times \overbrace{293 \text{ K}}^T}{\underbrace{2,8 \times 10^{-2} \text{ kg mol}^{-1}}_{M=28 \text{ g mol}^{-1}}}} = \boxed{511 \text{ m s}^{-1}}$$

**O modelo cinético dos gases é coerente com a lei dos gases ideais e produz uma expressão para a raiz quadrada da velocidade quadrática média das moléculas. A raiz quadrada da velocidade quadrática das moléculas de um gás é proporcional à raiz quadrada da temperatura.**

### 3.3 A distribuição das velocidades de Maxwell

*As moléculas de todos os gases têm uma ampla faixa de velocidades. Quando a temperatura cresce, a raiz quadrada da velocidade quadrática média e a faixa de velocidades aumentam.*

## Nível I

#### PROBLEMA 3.1

3C01

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da concentração molar de uma solução de 200 mL contendo 10 g de sacarose  $C_{12}H_{22}O_{11}$ .

- A 0,05 mol L<sup>-1</sup>
- B 0,10 mol L<sup>-1</sup>
- C 0,15 mol L<sup>-1</sup>
- D 0,20 mol L<sup>-1</sup>
- E 0,25 mol L<sup>-1</sup>

#### PROBLEMA 3.2

3C02

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da massa de sulfato de cobre (II) penta-hidratado,  $CuSO_4 \cdot 5 H_2O$ , necessária para preparar 250 mL de uma solução aquosa de  $CuSO_4$  de concentração 0,038 mol/L.

- A 1,2 g
- B 2,4 g
- C 3,6 g
- D 4,8 g
- E 6,0 g

#### PROBLEMA 3.3

3C03

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima do volume de uma solução aquosa 0,056 mol L<sup>-1</sup> de ácido acético necessário para preparar uma solução contendo 0,760 mmol dessa substância.

- A 10,3 mL
- B 11,4 mL
- C 12,5 mL
- D 13,6 mL
- E 14,7 mL

#### PROBLEMA 3.4

3C04

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima do volume de uma solução 0,027 mol L<sup>-1</sup> de hidróxido de sódio necessário para preparar 250 mL uma solução 1,25 mmol L<sup>-1</sup> dessa substância.

- A 10,7 mL
- B 11,6 mL
- C 12,5 mL
- D 13,4 mL
- E 14,3 mL

#### PROBLEMA 3.5

3C05

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da molalidade da frutose,  $C_6H_{12}O_6$ , em uma solução preparada pela dissolução de 90,5 g de frutose em 250 g de água.

- A 1 mol kg<sup>-1</sup>
- B 2 mol kg<sup>-1</sup>
- C 3 mol kg<sup>-1</sup>
- D 4 mol kg<sup>-1</sup>
- E 5 mol kg<sup>-1</sup>

#### PROBLEMA 3.6

3C06

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da molalidade da sacarose,  $C_{12}H_{22}O_{11}$ , em uma solução aquosa de concentração 1,06 mol/L, cuja densidade é 1,140 g mL<sup>-1</sup>.

- A 1,18 mol kg<sup>-1</sup>
- B 1,27 mol kg<sup>-1</sup>
- C 1,36 mol kg<sup>-1</sup>
- D 1,45 mol kg<sup>-1</sup>
- E 1,54 mol kg<sup>-1</sup>

#### PROBLEMA 3.7

3C07

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da molalidade do benzeno, em solução de tolueno com fração molar 0,150.

- A 1,7 mol kg<sup>-1</sup>
- B 1,9 mol kg<sup>-1</sup>
- C 2,1 mol kg<sup>-1</sup>
- D 2,3 mol kg<sup>-1</sup>
- E 2,5 mol kg<sup>-1</sup>

#### PROBLEMA 3.8

3C08

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da massa de 1 L de uma solução aquosa de nitrato de zinco de concentração molar  $0,643 \text{ mol L}^{-1}$  e molal  $0,653 \text{ mol kg}^{-1}$ .

- A 1,0 kg
- B 1,1 kg
- C 1,2 kg
- D 1,3 kg
- E 1,4 kg

## PROBLEMA 3.9

3C09

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da molaridade de uma solução aquosa com 0,1 ppm de DDT,  $\text{C}_{14}\text{H}_9\text{Cl}_5$ .

- A  $190 \text{ nmol L}^{-1}$
- B  $280 \text{ nmol L}^{-1}$
- C  $370 \text{ nmol L}^{-1}$
- D  $460 \text{ nmol L}^{-1}$
- E  $550 \text{ nmol L}^{-1}$

## PROBLEMA 3.10

3C10

Uma fábrica descarrega  $2500 \text{ L s}^{-1}$  de esgoto tratado contendo  $0,10 \text{ mg L}^{-1}$  de um pesticida em um rio cuja vazão, a montante da descarga, é de  $1500 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ .

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da concentração de pesticida após a mistura da água do rio.

- A 6 ppb
- B 7 ppb
- C 8 ppb
- D 9 ppb
- E 10 ppb

## PROBLEMA 3.11

3C11

Um balão de 1 L contendo uma solução  $0,2 \text{ mol L}^{-1}$  de nitrato de amônio é diluída com 3 L de água destilada.

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da quantidade de soluto em 100 mL da solução resultante.

- A 3 mmol
- B 4 mmol
- C 5 mmol
- D 6 mmol
- E 7 mmol

## PROBLEMA 3.12

3C12

Um químico dissolveu 33 mg de sulfato de cobre pentaidratado em água e diluiu a solução até a marca em um balão volumétrico de 250 mL. Uma amostra de 2 mL dessa solução foi transferida para outro balão volumétrico de 250 mL e diluída.

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima concentração molar de sulfato de cobre na solução resultante

- A  $2,1 \text{ } \mu\text{mol}$
- B  $4,2 \text{ } \mu\text{mol}$
- C  $6,3 \text{ } \mu\text{mol}$
- D  $8,4 \text{ } \mu\text{mol}$
- E  $9,6 \text{ } \mu\text{mol}$

## PROBLEMA 3.13

3C13

Foram dissolvidos 500 mg de um resíduo sólido em 13 mL de uma mistura dos ácidos nítrico e fluorídrico em proporção molar 10 : 3. A solução aquosa ácida obtida foi diluída até 250 mL com água desmineralizada. A quantidade de ferro nesta solução é de  $40 \text{ mg L}^{-1}$ .

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da fração mássica de ferro no resíduo sólido.

- A 1%
- B 2%
- C 3%
- D 4%
- E 5%

## PROBLEMA 3.14

3C14

Uma solução de ácido clorídrico concentrado contém 37,5% de HCl em massa e tem densidade  $1,205 \text{ g cm}^{-3}$ .

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima do volume de solução concentrada necessário para preparar 10 L de uma solução de concentração  $0,744 \text{ mol L}^{-1}$  de HCl.

- A 300 mL
- B 400 mL
- C 500 mL
- D 600 mL
- E 700 mL

## PROBLEMA 3.15

3C15

Uma amostra de 100 kg de um produto contendo 99% de água em massa é secada até que a fração mássica de água seja 98%.

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da massa de produto final.

- A 50 kg
- B 60 kg
- C 70 kg
- D 80 kg
- E 90 kg

## PROBLEMA 3.16

3C16



Uma solução é preparada pela adição de 50 mL uma solução 1% em massa de cloreto de sódio a 50 mL de uma solução 0,6% em massa de cloreto de potássio.

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da concentração de cloreto na solução resultante.

- A 0,11 mol L<sup>-1</sup>
- B 0,13 mol L<sup>-1</sup>
- C 0,15 mol L<sup>-1</sup>
- D 0,17 mol L<sup>-1</sup>
- E 0,19 mol L<sup>-1</sup>

**PROBLEMA 3.17**

3C17

Para preparar 500 mL de uma solução 0,1 mol L<sup>-1</sup> de nitrato de prata dispõe-se de uma solução 0,3 mol L<sup>-1</sup> e 1 L de uma solução 0,05 mol L<sup>-1</sup> de nitrato de prata.

**Assinale** a alternativa do volume empregado da solução concentrada.

- A 100 mL
- B 200 mL
- C 300 mL
- D 400 mL
- E 500 mL

**PROBLEMA 3.18**

3C18

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da concentração em volumes de uma solução aquosa com 6% em massa de peróxido de hidrogênio.

- A 6
- B 10
- C 12
- D 20
- E 24

**PROBLEMA 3.19**

3C20

Considere uma solução contendo cátions ferro (III), 0,30 mol L<sup>-1</sup> de cátions sódio, 0,28 mol L<sup>-1</sup> de cloreto e 0,10 mol L<sup>-1</sup> de sulfato.

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da concentração de cátions ferro (III) em solução.

- A 0,03 mol/L
- B 0,06 mol/L
- C 0,08 mol/L
- D 0,18 mol/L
- E 0,26 mol/L

**PROBLEMA 3.20**

3C21

Considere uma solução contendo cátions prata, 0,30 mol L<sup>-1</sup> de brometo, 0,06 mol L<sup>-1</sup> de fosfato e 0,10 mol L<sup>-1</sup> de cátions cálcio.

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da concentração de cátions prata em solução.

- A 0,20 mol/L
- B 0,24 mol/L
- C 0,28 mol/L
- D 0,32 mol/L
- E 0,36 mol/L

**Nível II****PROBLEMA 3.21**

3C22

Uma coluna de destilação contínua é usada para separar 800 kg por hora de uma mistura ternária dos compostos **A**, **B** e **C** com 40%, 10% e 50% em massa, respectivamente. O produto de topo deve apresentar 66% de **A** em massa e o de fundo é constituído apenas pelo componente **C**.

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da fração mássica de **B** no produto de topo.

- A 10%
- B 13%
- C 16%
- D 25%
- E 34%

**PROBLEMA 3.22**

3C23

Uma corrente líquida de vazão 20 kg h<sup>-1</sup> e composição percentual mássica de 60% de óleo e 40% de água é continuamente separada em duas correntes, uma com 95% e outra com 1% de óleo.

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da vazão mássica da corrente com menor concentração de óleo, em

- A 3,20 kg h<sup>-1</sup>
- B 5,60 kg h<sup>-1</sup>
- C 7,50 kg h<sup>-1</sup>
- D 12,5 kg h<sup>-1</sup>
- E 15,8 kg h<sup>-1</sup>

**PROBLEMA 3.23**

3C24

Um dos efluentes do processo de hidrotratamento de gás combustível é água contendo 3% de H<sub>2</sub>S e 1% NH<sub>3</sub> em base molar, denominada água ácida. Para possibilitar a remoção de H<sub>2</sub>S e NH<sub>3</sub>, duas colunas de destilação são empregadas.

São recuperados no topo da primeira coluna 95% do H<sub>2</sub>S e 0,5% do NH<sub>3</sub> que entram. Na segunda coluna, 99,5% do H<sub>2</sub>S e do NH<sub>3</sub> são recuperados no topo. Não há recuperação de água no topo das colunas.

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da fração molar de H<sub>2</sub>S que sai junto à água na corrente de fundo da segunda coluna de destilação.

- A  $7,8 \times 10^{-7}$
- B  $7,8 \times 10^{-6}$
- C  $7,8 \times 10^{-5}$
- D  $7,8 \times 10^{-4}$
- E  $7,8 \times 10^{-3}$

## PROBLEMA 3.24

3C25

Uma unidade industrial produz uma corrente aquosa de vazão  $10 \text{ kg h}^{-1}$  contendo um sal de baixa solubilidade em água. Visando a recuperar o sal, inicialmente empregou-se um processo de filtração. A corrente de filtrado obtida apresentou apenas água e vazão de  $6 \text{ kg h}^{-1}$ . A corrente de concentrado foi encaminhada a uma etapa de evaporação, ao final da qual se obteve uma corrente contendo apenas vapor com vazão de  $1 \text{ kg h}^{-1}$  e outra contendo apenas o sal.

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da fração mássica de sal na corrente inicial.

- A 10%
- B 30%
- C 50%
- D 70%
- E 90%

## PROBLEMA 3.25

3C26

Em um processamento, 8000 kg de um produto que contém 20% de água em massa deve ser seco com ar quente, contendo 10% de água em massa. O produto final apresenta 5% de água em massa e o ar sai com 25% de água em massa.

- a. **Determine** a massa do produto seco.
- b. **Determine** a massa de ar quente empregada.
- c. **Determine** a massa de ar úmido que sai do secador.

## PROBLEMA 3.26

3C27

*Oleum*, ou ácido sulfúrico fumegante, é obtido através da absorção do trióxido de enxofre por ácido sulfúrico. Ao se misturar oleum com água obtém-se ácido sulfúrico concentrado. Considere uma carga de 1 tonelada de oleum, com 20% em massa trióxido de enxofre.

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da massa de água que deve ser adicionada à carga para ser obtido ácido sulfúrico com concentração de 95% em massa.

- A 42 kg
- B 45 kg
- C 100 kg
- D 104,5 kg
- E 300 kg

## PROBLEMA 3.27

3C19

Uma planta industrial descarrega  $3,50 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  de água contendo 65 ppm de HCl em um rio cuja vazão é  $50 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  e contém  $\text{Ca}^{2+}$  na concentração de 10,2 ppm. Para que outra indústria utilize a água do rio, essa deve ser neutralizada com óxido de cálcio, que reage com o ácido clorídrico formando cloreto de cálcio. A segunda indústria utiliza  $18 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  de água e retorna 90% ao rio.

- a. **Determine** a concentração de cloreto na água do rio após a descarga da primeira indústria.
- b. **Determine** a concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  na água do rio após a descarga da segunda indústria.

## PROBLEMA 3.28

3C28

Uma turbina descarta vapor saturado a 1 atm, com uma vazão de  $1150 \text{ kg h}^{-1}$  e entalpia  $2676 \text{ kJ kg}^{-1}$ . A corrente de vapor descartado pela turbina se mistura com vapor superaquecido proveniente de outra fonte a  $400^\circ\text{C}$  e 1 atm, de entalpia  $3278 \text{ kJ kg}^{-1}$ , produzindo vapor a  $300^\circ\text{C}$  e 1 atm, de entalpia  $3070 \text{ kJ kg}^{-1}$ , para alimentar um trocador de calor.

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da alimentação de vapor no trocador de calor.

- A  $1000 \text{ kg h}^{-1}$
- B  $2240 \text{ kg h}^{-1}$
- C  $3390 \text{ kg h}^{-1}$
- D  $4450 \text{ kg h}^{-1}$
- E  $6620 \text{ kg h}^{-1}$

## PROBLEMA 3.29

3C29

Considere um recipiente adiabático contendo 1 kg de uma solução aquosa de NaOH, a 30% em massa, e a uma temperatura inicial  $25^\circ\text{C}$  são diluídos a 20% em massa, com água à mesma temperatura.

Os dados termodinâmicos para o sistema NaOH-água a  $25^\circ\text{C}$  são apresentados a seguir. O estado de referência para a entalpia é água líquida a  $0^\circ\text{C}$ ,

$x_{\text{NaOH}}/\%$	$H/\text{J g}^{-1}$	$C_P/\text{J g}^{-1} \text{K}^{-1}$
20	76	3,54
30	104	3,63

()

**Determine** a temperatura final da solução após a diluição.

## Dados

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

## PROBLEMA 3.30

3C30

Considere as proposições:

1. A condutividade elétrica de uma solução 0,1 mol/L de ácido acético é menor que a do ácido acético puro.
2. A condutividade elétrica de uma solução de cloreto de amônio é igual a de uma solução de hidróxido de amônio de mesma concentração.
3. A condutividade elétrica de uma solução de cloreto de sódio é maior que a de uma solução de cloreto de rubídio de mesma concentração.
4. A condutividade elétrica de uma solução saturada em iodo de chumbo é maior que a do sal fundido.

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

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

#### PROBLEMA 3.31

3C31

Considere uma porção de uma solução aquosa de concentração 10 mmol/L de um eletrólito em formato de um cilindro de 2 cm de diâmetro e 314 cm de comprimento. A resistência elétrica dessa porção é de 10 k $\Omega$ .

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da condutividade molar da solução.

- A 1 kScm<sup>2</sup> mol<sup>-1</sup>
- B 2 kScm<sup>2</sup> mol<sup>-1</sup>
- C 3 kScm<sup>2</sup> mol<sup>-1</sup>
- D 4 kScm<sup>2</sup> mol<sup>-1</sup>
- E 5 kScm<sup>2</sup> mol<sup>-1</sup>

#### PROBLEMA 3.32

3C32

A condutividade molar a 25 °C do KCl, KNO<sub>3</sub>, e AgNO<sub>3</sub> são 15 mS m<sup>2</sup> mol<sup>-1</sup>, 14 mS m<sup>2</sup> mol<sup>-1</sup> e 13 mS m<sup>2</sup> mol<sup>-1</sup>, respectivamente.

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da condutividade molar do AgCl.

- A 12 mS m<sup>2</sup> mol<sup>-1</sup>
- B 13 mS m<sup>2</sup> mol<sup>-1</sup>
- C 14 mS m<sup>2</sup> mol<sup>-1</sup>
- D 15 mS m<sup>2</sup> mol<sup>-1</sup>
- E 16 mS m<sup>2</sup> mol<sup>-1</sup>

#### PROBLEMA 3.33

3C33

A condutividade molar a 25 °C do KF, KCH<sub>3</sub>CO<sub>2</sub>, e Mg(CH<sub>3</sub>CO)<sub>2</sub> são 13 mS m<sup>2</sup> mol<sup>-1</sup>, 11 mS m<sup>2</sup> mol<sup>-1</sup> e 18 mS m<sup>2</sup> mol<sup>-1</sup>, respectivamente.

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da condutividade molar do MgF<sub>2</sub>.

- A 18 mS m<sup>2</sup> mol<sup>-1</sup>
- B 20 mS m<sup>2</sup> mol<sup>-1</sup>
- C 22 mS m<sup>2</sup> mol<sup>-1</sup>
- D 24 mS m<sup>2</sup> mol<sup>-1</sup>
- E 26 mS m<sup>2</sup> mol<sup>-1</sup>

#### PROBLEMA 3.34

3C34

Considere uma solução saturada do sal **MX** que é pouco solúvel em água destilada a 25 °C. A condutância dessa solução é  $2 \times 10^{-7}$  Scm<sup>-1</sup> acima da condutância da água destilada.

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima solubilidade de **MX**.

- A 1  $\mu$ mol L<sup>-1</sup>
- B 2  $\mu$ mol L<sup>-1</sup>
- C 3  $\mu$ mol L<sup>-1</sup>
- D 4  $\mu$ mol L<sup>-1</sup>
- E 5  $\mu$ mol L<sup>-1</sup>

**Dados**

- $\lambda_{M^+} = 60$  S<sup>-1</sup>cm<sup>2</sup>mol<sup>-1</sup>
- $\lambda_{X^-} = 40$  S<sup>-1</sup>cm<sup>2</sup>mol<sup>-1</sup>

#### PROBLEMA 3.35

3C35

Considere as relações a respeito da condutividade molar de soluções diluídas de CaCl<sub>2</sub>, NaCl e KCl.

1.  $\Lambda_{CaCl_2} / \Lambda_{KCl} = 1,8$
2.  $\Lambda_{CaCl_2} / \Lambda_{NaCl} = 1,9$

**Assinale** a alternativa com a ordenação correta para a condutividade de soluções de mesma concentração mássica dessas espécies.

- A  $\kappa_{CaCl_2} = \kappa_{NaCl} = \kappa_{KCl}$
- B  $\kappa_{CaCl_2} = \kappa_{NaCl} > \kappa_{KCl}$
- C  $\kappa_{CaCl_2} > \kappa_{NaCl} > \kappa_{KCl}$
- D  $\kappa_{CaCl_2} < \kappa_{NaCl} = \kappa_{KCl}$
- E  $\kappa_{CaCl_2} < \kappa_{NaCl} < \kappa_{KCl}$

#### PROBLEMA 3.36

3C36



Uma solução de concentração molar  $C_0$  de hidróxido de sódio é adicionada a uma solução de concentração  $C_0$  de acetato de etila. A reação forma água e íons acetato. As condutividades molares do sódio, hidróxido e acetato são, respectivamente,  $\lambda_{\text{Na}^+}$ ,  $\lambda_{\text{OH}^-}$  e  $\lambda_{\text{Ac}^-}$ . Em um dado instante, a condutividade da solução é  $\Psi$ .

**Determine** a expressão para a concentração de ânions acetato em solução.

## PROBLEMA 3.37

3C37

Uma solução  $0,1 \text{ mmol L}^{-1}$  de um composto desconhecido é colocada em uma célula de absorção de 1 cm de caminho óptico, transmitindo 10% da luz incidente de comprimento de onda 320 nm.

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima do coeficiente de absorção molar desse composto a 320 nm.

- A  $1 \times 10^2 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$
- B  $1 \times 10^3 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$
- C  $1 \times 10^4 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$
- D  $1 \times 10^5 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$
- E  $1 \times 10^6 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$

## PROBLEMA 3.38

3C38

O coeficiente de absorção molar de um soluto é  $400 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$  a 540 nm. Quando luz desse comprimento de onda atravessa uma célula de absorção de 5 mm contendo essa substância, 40% da luz é absorvida.

**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da concentração desse soluto.

- A  $1 \text{ mmol L}^{-1}$
- B  $2 \text{ mmol L}^{-1}$
- C  $3 \text{ mmol L}^{-1}$
- D  $4 \text{ mmol L}^{-1}$
- E  $5 \text{ mmol L}^{-1}$

## PROBLEMA 3.39

3C39

O *Colorímetro de Duboscq* consiste em uma célula de caminho óptico fixo e uma célula de caminho óptico variável. O comprimento dessa célula é ajustado até que a transmissão das células seja a mesma. Uma solução de concentração  $24 \mu\text{g L}^{-1}$  de certa substância é adicionada à célula fixa de comprimento 4 cm. Uma solução do mesmo soluto de concentração desconhecida é adicionada à célula de concentração variável e seu comprimento é ajustado para 3 cm.

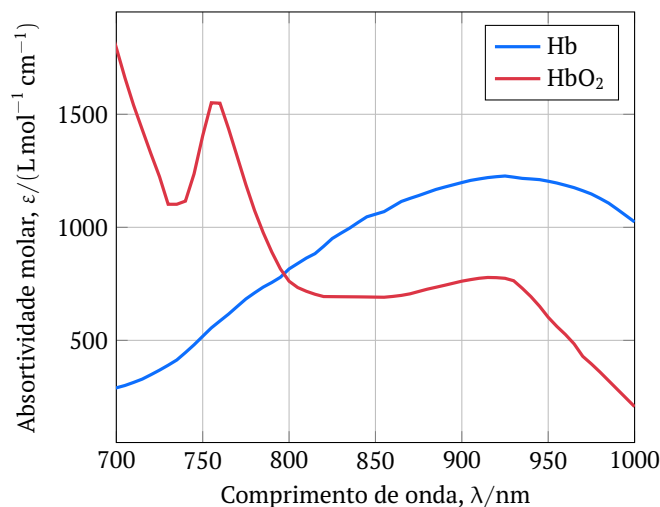
**Assinale** a alternativa que mais se aproxima da concentração da segunda solução.

- A  $24 \mu\text{g L}^{-1}$
- B  $28 \mu\text{g L}^{-1}$
- C  $32 \mu\text{g L}^{-1}$
- D  $36 \mu\text{g L}^{-1}$
- E  $40 \mu\text{g L}^{-1}$

## PROBLEMA 3.40

3C40

A saturação de oxigênio, definida como a razão entre a concentração de oxi-hemoglobina e a concentração total de hemoglobina no sangue, pode ser determinada por espectroscopia de absorção. Uma amostra de sangue é coletada e colocada em uma célula com 10 mm de caminho óptico.



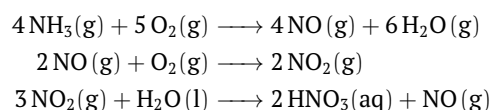
A solução transmite 10% da luz incidente de comprimento de onda 750 nm e 30% da luz incidente de comprimento de onda 850 nm.

- Determine** concentração de oxi-hemoglobina e desoxi-hemoglobina no sangue.
- Determine** a saturação do sangue.

## PROBLEMA 3.41

3C41

Ácido nítrico é produzido comercialmente pelo Processo Ostwald.



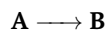
Uma indústria deve produzir  $1 \times 10^6 \text{ kg}$  de ácido nítrico.

- Determine** a massa de amônia necessária para a produção sendo o óxido nítrico formado na última etapa não é reaproveitado.
- Determine** a massa de amônia necessária para a produção sendo todo óxido nítrico formado na última etapa é reaproveitado.
- Determine** a massa de amônia necessária para a produção sendo 40% do óxido nítrico formado na última etapa é reaproveitado

## PROBLEMA 3.42

3C43

Uma planta foi projetada para conduzir a reação:



Uma corrente de  $60 \text{ mol h}^{-1}$  de **A** é combinada à corrente de refluxo, contendo  $140 \text{ mol h}^{-1}$  de **A** e alimentada no reator. A corrente de saída do reator passa por uma unidade de destilação na qual o produto de topo contém  $10 \text{ mol h}^{-1}$  de **A** e  $50 \text{ mol h}^{-1}$  de **B** e o produto de fundo é a corrente de reciclo.

- Determine a composição da corrente de saída do reator.
- Determine o rendimento da reação por passe no reator.
- Determine a conversão global do processo.

- $4,1 \times 10^5 \text{ kg}$
  - $2,7 \times 10^5 \text{ kg}$
  - $3,5 \times 10^5 \text{ kg}$
- $150 \text{ mol h}^{-1}$  de **A** e  $50 \text{ mol h}^{-1}$  de **B**
  - 25%
  - 83%

## Gabarito

### Nível I

- |              |              |              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1. <b>C</b>  | 2. <b>B</b>  | 3. <b>D</b>  | 4. <b>B</b>  | 5. <b>B</b>  |
| 6. <b>C</b>  | 7. <b>B</b>  | 8. <b>B</b>  | 9. <b>B</b>  | 10. <b>D</b> |
| 11. <b>C</b> | 12. <b>B</b> | 13. <b>B</b> | 14. <b>D</b> | 15. <b>A</b> |
| 16. <b>B</b> | 17. <b>A</b> | 18. <b>D</b> | 19. <b>B</b> | 20. <b>C</b> |

### Nível II

- C**
- C**
- B**
- B**
- 6740 kg
  - 6320 kg
  - 7580 kg
- B**
- 4,25 ppm
  - 10,3 ppm
- C**
- 32,8 °C
- D**
- A**
- C**
- C**
- B**
- B**
- $$[\text{Ac}^-] = \frac{2\Psi - C_0\lambda_{\text{Na}^+} - C_0\lambda_{\text{OH}^-}}{2(\lambda_{\text{Ac}^-} - \lambda_{\text{OH}^-})}$$
- C**
- B**
- C**
- 7 mmol/L e 0,4 mmol/L
  - 95%