



NÚCLEO OLÍMPICO DE INCENTIVO AO CONHECIMENTO

OLIMPÍADA BRASILEIRA DE QUÍMICA • EXAME NACIONAL

Resolução Comentada OBQ 2021



Modalidade A | 40 questões resolvidas passo a passo

Parte I — múltipla escolha | Parte II — analítico-expositivas

RESOLUÇÃO E EDIÇÃO

VITTORIO DALL'OLIO

2021

Gabarito rápido

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
b	e	d	c	a	a	a	a	a	a
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
a	c	a	a	a	a	a	a	a	a
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
d	a	a	a	a	a	a	a	c	a
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
a	a	a	a	a	a	e	a	a	a

Conferência com o gabarito oficial

As quarenta alternativas conferem com o gabarito oficial da OBQ 2021, que destaca a alternativa correta em vermelho ao pé de cada questão.

Sobre a distribuição das respostas. Chama atenção que 33 das 40 respostas sejam a letra (a). Verificamos que não se trata de erro de leitura: a ordem das alternativas no arquivo de gabarito é *idêntica* à do caderno de prova, e resolvemos independentemente as questões 2, 21, 30, 38 e 40 — confirmando em todas o gabarito. A concentração em (a) é característica de provas montadas a partir de bancos de questões, em que o compilador reordena as alternativas colocando a correta em primeiro lugar.

Isso tem uma consequência prática para quem estuda por este material: *não* use a posição da alternativa como pista. Cada questão está resolvida por seu próprio mérito.

Formato desta prova

A OBQ 2021 difere do padrão dos anos anteriores: são **40 questões, todas de múltipla escolha**, sem parte analítico-expositiva. Cobre praticamente todo o currículo — estrutura atômica, ligações, termoquímica, cinética, equilíbrio, eletroquímica, química orgânica, nuclear e analítica.

Convenções adotadas

Massas molares (em g mol^{-1}): H=1,008; C=12,01; N=14,01; O=16,00; Na=22,99; Al=26,98; S=32,07; Cl=35,45; K=39,10; Mn=54,94; Fe=55,85; Ag=107,9. $R = 0,082 \text{ atm L K}^{-1} \text{ mol}^{-1} = 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$; $N_A = 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

Questões

01 a 40 — Múltipla Escolha

Questão 1

Abaixo estão várias configurações que podem estar corretas para o átomo de flúor ($Z = 9$). Os elétrons são representados por setas cuja direção indica o valor do número quântico spin, m_s ; os três quadrados para os orbitais p indicam os possíveis valores de m_ℓ .

Configuração	Distribuição
1	$1s^2 2s^2 2p^5$ (normal, seguindo Hund)
2	$1s^2 2s^2 2p^6$ dez elétrons
3	$1s^2 2s^1 2p^5 3s^1$ um elétron $2s$ promovido a $3s$
4	$1s^2 2s^2 2p^5$ com dois elétrons de <i>mesmo spin</i> num orbital p
5	$1s^2 2s^2 2p^4 3p^1$ um elétron $2p$ promovido a $3p$

Em relação a essas configurações, considere as afirmações:

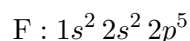
- I. A configuração 1 representa o estado fundamental para o átomo de flúor.
- II. A configuração 2 representa um estado excitado para o átomo de flúor.
- III. A configuração 3 representa um estado excitado para o átomo de flúor.
- IV. A configuração 4 representa um estado proibido para o átomo de flúor.
- V. A configuração 5 representa o estado fundamental para o átomo de flúor.

As afirmações **INCORRETAS** são:

- a) I, III e IV.
- b) II e V.
- c) I, III e V.
- d) II e IV.
- e) apenas III.

Resolução comentada

Referência — o estado fundamental do flúor. Com $Z = 9$, o preenchimento segue Aufbau, Pauli e Hund:



São **nove** elétrons, com um elétron desemparelhado no subnível $2p$.

I — Correta

A configuração 1 é exatamente $1s^2 2s^2 2p^5$ com os cinco elétrons p distribuídos segundo Hund (três orbitais: dois emparelhados, um com elétron solitário). É o **estado fundamental** ✓

II — INCORRETA

A configuração 2 tem $2p^6$, totalizando $2 + 2 + 6 = 10$ elétrons. Mas o flúor neutro tem apenas **nove**.

$$\text{Total de elétrons} = 10 \neq Z = 9$$

Isso não é um estado excitado do flúor — é a configuração do **íon fluoreto**, F^- , ou do átomo de neônio. Um estado excitado *preserva* o número de elétrons; apenas os redistribui em níveis mais altos.

III — Correta

A configuração 3 mantém os nove elétrons, mas com um deles promovido do $2s$ para o $3s$ — nível de energia *maior*. Configuração de mais alta energia, com número certo de elétrons: é um **estado excitado** legítimo ✓

IV — Correta

A configuração 4 coloca dois elétrons de **mesmo spin** no mesmo orbital p . Isso viola o **Princípio da Exclusão de Pauli**:

Dois elétrons de um mesmo átomo não podem ter os quatro números quânticos iguais.

Dois elétrons no mesmo orbital compartilham n , ℓ e m_ℓ ; a única maneira de diferirem é pelo spin ($m_s = +\frac{1}{2}$ e $-\frac{1}{2}$). Com spins paralelos, os quatro números coincidiriam.

É, portanto, um **estado proibido** — não apenas de alta energia, mas fisicamente inexistente ✓

V — INCORRETA

A configuração 5 tem $2p^4 3p^1$: um elétron foi promovido do $2p$ para o $3p$. O número de elétrons está certo (9), mas a energia é *maior* que a mínima.

Configuração 5 = **estado excitado**, não fundamental

O estado fundamental é, por definição, o de *menor* energia — a configuração 1.

Conclusão

Incorretas: **II e V**.

Os três regimes que a questão distingue

Situação	Critério	Exemplo aqui
Fundamental	n° correto de e^- , energia mínima	configuração 1
Excitado	n° correto de e^- , energia acima da mínima	configurações 3 e 5
Proibido	viola Pauli (ou outra regra fundamental)	configuração 4
Outra espécie	n° errado de e^-	configuração 2 (= F^-)

A armadilha da configuração 2 é sutil: ela é uma configuração eletrônica válida — só não pertence ao flúor neutro.

Resposta

Alternativa (b) II e V

Questão 2

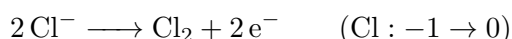
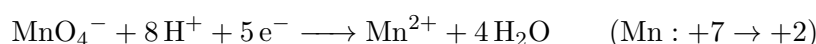
A partir da reação entre 200 g de permanganato de potássio e 200 g de ácido clorídrico há formação de cloreto de potássio, cloreto de manganês(II), água e cloro molecular gasoso. Sabendo que cada reagente apresenta grau de pureza igual a 75 %, assinale o volume de gás cloro (em L) produzido a 2,50 atm e $T = 27^\circ\text{C}$, sabendo que o rendimento da reação é de 66 %.

a) 2,50

- b) 3,65
- c) 4,66
- d) 6,89
- e) 8,35

Resolução comentada

Passo 1 — balancear por semirreações



Igualando elétrons ($\text{mmc}(5, 2) = 10$) e recompondo com os cátions espectadores:



Conferência: K 2=2; Mn 2=2; O 8=8; H 16=16; Cl 16 = 2 + 4 + 10 ✓

Passo 2 — mols efetivos de cada reagente

$$n(\text{KMnO}_4) = \frac{200 \times 0,75}{158,0} = \frac{150}{158,0} = 0,949 \text{ mol}$$

$$n(\text{HCl}) = \frac{200 \times 0,75}{36,46} = \frac{150}{36,46} = 4,114 \text{ mol}$$

Passo 3 — reagente limitante

A equação exige 16 mols de HCl para cada 2 de KMnO_4 , ou seja 8:1. Disponível:

$$\frac{n(\text{HCl})}{n(\text{KMnO}_4)} = \frac{4,114}{0,949} = 4,33 < 8$$

O ácido clorídrico é o limitante.

Passo 4 — mols de cloro

Pela proporção 16 HCl : 5 Cl_2 :

$$n(\text{Cl}_2)_{\text{teórico}} = \frac{5}{16} (4,114) = 1,286 \text{ mol}$$

Aplicando o rendimento:

$$n(\text{Cl}_2) = 1,286 \times 0,66 = 0,849 \text{ mol}$$

Passo 5 — o volume

$$V = \frac{nRT}{p} = \frac{(0,849)(0,082)(300)}{2,50} = \frac{20,89}{2,50}$$

$$V = 8,35 \text{ L}$$

Três correções em cadeia

A questão empilha **pureza** ($\times 0,75$), **limitante** e **rendimento** ($\times 0,66$). Esquecer qualquer uma leva a um dos distratores: sem rendimento, 12,7 L; usando o KMnO_4 como limitante, 15,6 L. Só a aplicação das três produz 8,35.

Resposta

Alternativa (e) 8,35 L

Questão 3

Considerando-se o pH do alho igual a 6,30, indique o valor da concentração hidroxiliônica (em mol L^{-1}) do alimento, sabendo que $\log 2 = 0,30$.

- a) $5,0 \times 10^{-7}$
- b) $5,0 \times 10^{-8}$
- c) $2,0 \times 10^{-7}$
- d) $2,0 \times 10^{-8}$
- e) Nenhuma das respostas anteriores

Resolução comentada

“Concentração hidroxiliônica” é $[\text{OH}^-]$ — o caminho passa pelo pOH.

| Passo 1 — do pH ao pOH

A 25 °C:

$$\text{pH} + \text{pOH} = 14 \implies \text{pOH} = 14 - 6,30 = 7,70$$

| Passo 2 — do pOH à concentração

$$[\text{OH}^-] = 10^{-7,70}$$

O truque para resolver sem calculadora está no dado $\log 2 = 0,30$. Escreva o expoente como diferença:

$$-7,70 = -8 + 0,30$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{-8} \times 10^{0,30} = 10^{-8} \times 2$$

$$[\text{OH}^-] = 2,0 \times 10^{-8} \text{ mol L}^{-1}$$

| Conferência pelo produto iônico

$$[\text{H}^+] = 10^{-6,30} = 10^{-7} \times 10^{0,70} = 5,0 \times 10^{-7}$$

$$K_w = [\text{H}^+][\text{OH}^-] = (5,0 \times 10^{-7})(2,0 \times 10^{-8}) = 1,0 \times 10^{-14} \quad \checkmark$$

O distrator mais tentador

A alternativa (a), $5,0 \times 10^{-7}$, é exatamente $[H^+]$ — a resposta de quem calcula a concentração hidrogeniônica em vez da hidroxiliônica. As alternativas (b) e (c) trocam a mantissa entre as duas. Vale reler o comando: “hidroxiliônica” é OH^- .

Sobre a química da notícia: o alho com $pH = 6,30$ é ligeiramente *ácido*, não alcalino — o que já desmente a premissa da dieta alcalina. E, como observa o texto, o sangue é tamponado por H_2CO_3/HCO_3^- em $pH = 7,35-7,45$; alimento algum desloca isso.

Resposta

Alternativa (d) $2,0 \times 10^{-8} \text{ mol L}^{-1}$

Questão 4

Considerando as equações (não balanceadas) e os dados termodinâmicos, analise as afirmações:

- I. $Fe(s) + O_2(g) \longrightarrow Fe_2O_3(s)$
II. $SO_2(g) + O_2(g) \longrightarrow SO_3(g)$
III. $NH_4NO_3(aq) \longrightarrow N_2O(g) + H_2O(g)$

- I. A decomposição do $NH_4NO_3(aq)$ é espontânea em qualquer faixa de temperatura.
II. A oxidação do ferro é espontânea em temperaturas inferiores a 2997 K.
III. A oxidação do dióxido de enxofre **não** é espontânea em temperaturas inferiores a 1052 K.
IV. Duas reações ocorrem de forma espontânea em qualquer faixa de temperatura.

As afirmações verdadeiras são:

- a) I e III.
b) II e IV.
c) I e II.
d) III e IV.
e) nenhuma das afirmações.

Dados

Substância	$\Delta_f H^\circ / \text{kJ mol}^{-1}$	$S^\circ / \text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$
$\text{H}_2\text{O}(\text{g})$	-241,8	188,8
$\text{N}_2\text{O}(\text{g})$	81,6	220,0
$\text{SO}_3(\text{g})$	-395,7	256,8
$\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s})$	-824,2	87,4
$\text{Fe}(\text{s})$	0	27,3
$\text{O}_2(\text{g})$	0	205,2
$\text{SO}_2(\text{g})$	-296,8	248,2
$\text{NH}_4\text{NO}_3(\text{aq})$	-339,9	259,8

Resolução comentada

O critério. $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$. O sinal dos dois termos determina a faixa de espontaneidade:

ΔH	ΔS	Espontânea
< 0	> 0	em qualquer T
> 0	< 0	em nenhuma T
< 0	< 0	apenas em $T < \Delta H/\Delta S$
> 0	> 0	apenas em $T > \Delta H/\Delta S$

Reação III — decomposição do nitrato de amônio

Balanceando: $\text{NH}_4\text{NO}_3(\text{aq}) \longrightarrow \text{N}_2\text{O}(\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{g})$

$$\Delta H^\circ = [81,6 + 2(-241,8)] - (-339,9) = -402,0 + 339,9 = -62,1 \text{ kJ}$$

$$\Delta S^\circ = [220,0 + 2(188,8)] - 259,8 = 597,6 - 259,8 = +337,8 \text{ J K}^{-1}$$

$\Delta H < 0$ e $\Delta S > 0 \Rightarrow$ espontânea em qualquer temperatura.

Afirmção I: VERDADEIRA

Reação I — oxidação do ferro

Balanceando: $4 \text{Fe}(\text{s}) + 3 \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 2 \text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s})$

$$\Delta H^\circ = 2(-824,2) - 0 = -1648,4 \text{ kJ}$$

$$\Delta S^\circ = 2(87,4) - [4(27,3) + 3(205,2)] = 174,8 - 724,8 = -550,0 \text{ J K}^{-1}$$

Ambos negativos $\Rightarrow$ espontânea apenas abaixo de

$$T = \frac{\Delta H^\circ}{\Delta S^\circ} = \frac{-1648,4 \text{ kJ}}{-0,5500 \text{ kJ K}^{-1}} = 2997 \text{ K}$$

Afirmção II: VERDADEIRA

Reação II — oxidação do dióxido de enxofre

Balanceando: $2 \text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 2 \text{SO}_3(\text{g})$

$$\Delta H^\circ = 2(-395,7) - 2(-296,8) = -791,4 + 593,6 = -197,8 \text{ kJ}$$

$$\Delta S^\circ = 2(256,8) - [2(248,2) + 205,2] = 513,6 - 701,6 = -188,0 \text{ J K}^{-1}$$

$$T = \frac{-197,8}{-0,1880} = 1052 \text{ K}$$

O número 1052 K confere — mas a afirmação III inverte o sentido. Com $\Delta H < 0$ e $\Delta S < 0$, a reação **É** espontânea *abaixo* de 1052 K, e deixa de ser acima.

Afirmação III: FALSA

Afirmação IV

Apenas a reação III (decomposição do NH_4NO_3) é espontânea em toda faixa de temperatura. As outras duas têm limite superior.

Afirmação IV: FALSA (é *uma*, não duas)

Conclusão

Verdadeiras: **I e II**.

Por que a decomposição do nitrato de amônio é tão perigosa

A combinação $\Delta H < 0$ com $\Delta S > 0$ significa espontaneidade irrestrita — e o ΔS enorme ($+337,8 \text{ J K}^{-1}$) vem de um soluto aquoso gerando **três** mols de gás. Uma vez iniciada, a reação se autoacelera pelo calor que libera. Foi essa química que causou as explosões de Beirute (2020) e de Texas City (1947).

Resposta

Alternativa (c) I e II

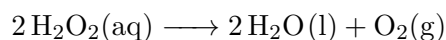
Questão 5

O peróxido de hidrogênio tem sua concentração comumente indicada em volumes. Para um frasco de **10 volumes** de água oxigenada, a concentração dessa solução, expressa em porcentagem (% m/m), é:

- a) 3
- b) 8
- c) 6
- d) 10
- e) 12

Resolução comentada

O que significa “10 volumes”. É a definição comercial: 1 L da solução libera 10 L de O_2 nas CNTP ao se decompor completamente.

**Passo 1 — mols de oxigênio liberados por litro**

$$n(O_2) = \frac{10 \text{ L}}{22,4 \text{ L mol}^{-1}} = 0,446 \text{ mol}$$

Passo 2 — mols de peróxido, pela estequiometria 2:1

$$n(H_2O_2) = 2 \times 0,446 = 0,893 \text{ mol}$$

Passo 3 — massa de peróxido por litro

$$M(H_2O_2) = 2(1,008) + 2(16,00) = 34,02 \text{ g mol}^{-1}$$

$$m(H_2O_2) = (0,893)(34,02) = 30,4 \text{ g}$$

Passo 4 — converter em porcentagem em massa

Como a solução é diluída, sua densidade é praticamente a da água ($1,00 \text{ g mL}^{-1}$), de modo que 1 L pesa 1000 g:

$$\% \text{ m/m} = \frac{30,4 \text{ g}}{1000 \text{ g}} \times 100 \%$$

$$\approx 3 \% \text{ (m/m)}$$

A regra prática

Existe um atalho útil: a porcentagem em massa é aproximadamente $0,3 \times$ (número de volumes).

Volumes	% m/m	Uso típico
10	≈ 3	antisséptico doméstico
20	≈ 6	clareamento capilar
30	≈ 9	branqueamento
40	≈ 12	industrial

Os distratores (c) 6 e (e) 12 correspondem a 20 e 40 volumes — quem troca o número da embalagem.

Resposta

Alternativa (a) 3 %

Questão 6

As propriedades coligativas **NÃO** são observadas na seguinte situação:

- Liberação de energia quando ácido sulfúrico e água são misturados a 1 atm e 25 °C.
- Adição de etilenoglicol aos radiadores automotivos para evitar o congelamento da água de refrigeração.
- Uso de membranas para purificação de água salobra em potável.
- Adição de composto iônico em um solvente polar, para aumentar a temperatura de ebulição do sistema.
- Uso de sal de cozinha para “derreter” gelo.

Resolução comentada

A definição. Propriedades coligativas dependem *exclusivamente* do **número de partículas** de soluto, e não de sua natureza química. São quatro:

Propriedade	Efeito	Alternativa
Tonoscopia	abaixa a pressão de vapor	—
Ebuliometria	eleva o ponto de ebulição	(d)
Crioscopia	abaixa o ponto de fusão	(b), (e)
Osmometria	gera pressão osmótica	(c)

Analizando as alternativas

- (b) O etilenoglicol abaixa o ponto de congelamento da água — **crioscopia**. (E também eleva o de ebulição, protegendo contra fervura no verão.)
- (c) Purificação por membranas é **osmose reversa**: aplica-se pressão superior à osmótica para forçar a água a atravessar a membrana no sentido contrário ao espontâneo. Depende de $\pi = iMRT$ — coligativa.
- (d) Elevação do ponto de ebulição por soluto iônico — **ebuliometria**, com $i > 1$.
- (e) Sal derretendo gelo — **crioscopia** novamente. É a prática de salgar estradas no inverno.

(a) — Não é coligativa

A liberação de calor ao misturar H_2SO_4 com água é a **entalpia de dissolução**, $\Delta_{\text{sol}}H$ — grandeza *termoquímica*, não coligativa.

Por que não é coligativa: ela depende crucialmente da **identidade química** do soluto. A dissolução do H_2SO_4 é fortemente exotérmica ($\approx -880 \text{ kJ mol}^{-1}$, entre hidratação e ionização), a do NaCl é levemente endotérmica, a do NaOH é exotérmica. Mesma quantidade de partículas, efeitos térmicos completamente distintos.

Propriedade coligativa *ignora* qual é o soluto; a entalpia de dissolução depende inteiramente disso.

Alternativa (a) — não é propriedade coligativa

Uma regra de segurança que vem daí

É por causa dessa exotermia que se ensina a adicionar **o ácido à água**, nunca o inverso. Despejando água sobre ácido concentrado, o calor liberado concentra-se num pequeno volume de água, que pode ferver instantaneamente e espirrar ácido. Com o ácido adicionado lentamente a um grande volume de água, a massa térmica dissipa o calor com segurança.

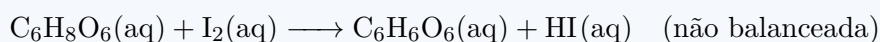
Resposta

Alternativa (a)

Questão 7

Padronização do titulante: padronizou-se a solução de iodo pela titulação de 50,00 mL de solução $0,0513 \text{ mol L}^{-1}$ de tiossulfato de sódio (par redox $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}/\text{S}_4\text{O}_6^{2-}$), sendo o volume gasto de iodo igual a 39,00 mL.

Titulação: um comprimido de ácido ascórbico de massa 1,070 g foi solubilizado e transferido para balão de 250,00 mL. Uma alíquota de 50,00 mL foi titulada, gastando-se 27,20 mL de titulante.

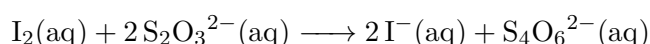


Indique a fração mássica percentual de ácido ascórbico na amostra.

- a) 73,6
- b) 66,5
- c) 14,6
- d) 80,2
- e) 50,7

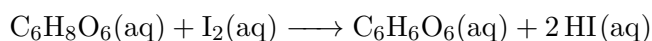
Resolução comentada**Passo 1 — balancear as duas reações**

Padronização (iodo com tiossulfato):



O enxofre passa de +2 (no tiossulfato) a +2,5 (no tetrationato), perdendo 1 elétron a cada dois enxofres; o iodo ganha 2. Proporção $1 \text{ I}_2 : 2 \text{ S}_2\text{O}_3^{2-}$.

Titulação (iodo com ácido ascórbico):



O ascorbato cede 2 elétrons; o iodo recebe 2. Proporção 1:1.

Passo 2 — concentração real do titulante

$$n(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) = (0,05000 \text{ L})(0,0513 \text{ mol L}^{-1}) = 2,565 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$$n(\text{I}_2) = \frac{2,565 \times 10^{-3}}{2} = 1,283 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$$C(\text{I}_2) = \frac{1,283 \times 10^{-3} \text{ mol}}{0,03900 \text{ L}} = 3,289 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$$

Passo 3 — ácido ascórbico na alíquota

$$n(\text{I}_2)_{\text{gasto}} = (0,02720 \text{ L})(3,289 \times 10^{-2}) = 8,946 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

Pela proporção 1:1:

$$n(\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6)_{\text{alíquota}} = 8,946 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

Passo 4 — extrapolar para o comprimido inteiro

A alíquota de 50,00 mL representa $\frac{1}{5}$ do balão de 250,00 mL:

$$n(\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6)_{\text{total}} = 5 \times 8,946 \times 10^{-4} = 4,473 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

Passo 5 — massa e porcentagem

$$M(\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6) = 6(12,01) + 8(1,008) + 6(16,00) = 176,1 \text{ g mol}^{-1}$$

$$m = (4,473 \times 10^{-3})(176,1) = 0,788 \text{ g}$$

$$\% \text{ m/m} = \frac{0,788 \text{ g}}{1,070 \text{ g}} \times 100 \%$$

73,6 %

Por que padronizar o iodo

A solução de I_2 não é padrão primário: o iodo é volátil e lentamente oxidado pelo ar a iodato. Sua concentração muda com o tempo, e por isso precisa ser aferida contra o tiosulfato imediatamente antes do uso — é a etapa de *padronização*.

Note ainda que o restante do comprimido (26,4 %, ou 0,282 g) são excipientes: aglutinantes, desintegrantes e edulcorantes. Um comprimido de “vitamina C de 500 mg” pesa tipicamente 700 mg a 1 g.

Resposta

Alternativa (a) 73,6 %

Questão 8

Na figura é apresentado o diagrama de fases de uma substância hipotética, com quatro regiões numeradas (1 e 2 à esquerda/centro, 3 acima e 4 abaixo à direita) e pontos em vermelho sobre as curvas. Analise:

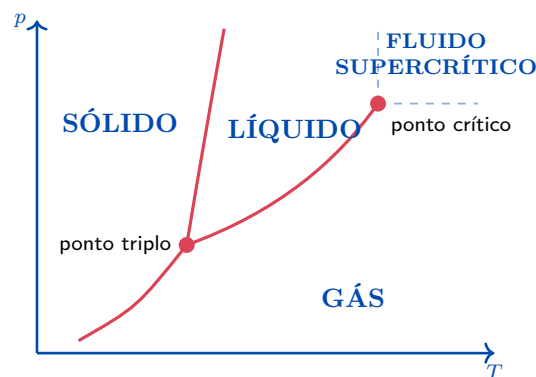
- I. Os números representam: 1 = líquido; 2 = sólido; 3 = gás; 4 = fluido supercrítico.
- II. Nas regiões demarcadas com pontos em vermelho, até três fases podem estar presentes.
- III. Em pressão constante (independentemente do valor desta), ao aquecer o composto haverá processos de fusão e vaporização.

Está correto o que se afirma em:

- a) II, somente.
- b) I e III, somente.
- c) I e II, somente.
- d) II e III, somente.
- e) I, somente.

Resolução comentada

Referência — como se lê um diagrama de fases



Cada região é delimitada pelas três curvas que partem do ponto triplo: a de **sublimação** (sólido-gás), a de **fusão** (sólido-líquido, quase vertical) e a de **vaporização** (líquido-gás, que termina no ponto crítico).

I — Falsa

A numeração proposta troca sólido e líquido. No diagrama do enunciado, a região 1 está à *esquerda* (baixas temperaturas, altas pressões) — é o **sólido**, não o líquido. A região 2, à direita da curva de fusão e acima da de vaporização, é o **líquido**. A região 3, no alto à direita, além do ponto crítico, é o **fluido supercrítico**; e a 4, abaixo, é o **gás**.

Ou seja: a afirmação inverte $1 \leftrightarrow 2$ e $3 \leftrightarrow 4$.

II — Verdadeira

Os pontos vermelhos marcam o **ponto triplo** e o **ponto crítico**.

No ponto triplo, as três curvas se encontram, e sólido, líquido e vapor coexistem em equilíbrio — exatamente **três fases**. Pela Regra das Fases de Gibbs:

$$F = C - P + 2 = 1 - 3 + 2 = 0$$

Zero graus de liberdade: o ponto triplo ocorre a uma única combinação de T e p , e é por isso que o da água (273,16 K, 611,7 Pa) serviu de referência para a definição do kelvin.

A afirmação diz “até três fases”, o que acomoda tanto o ponto triplo (três) quanto o crítico (onde líquido e gás se tornam indistinguíveis).

III — Falsa

O erro está em “**independentemente do valor desta**”.

Aquecer a pressão constante corresponde a percorrer uma *horizontal* no diagrama. O que se encontra depende da altura dessa horizontal:

- **Acima** da pressão do ponto triplo: cruza-se a curva de fusão e depois a de vaporização — há *fusão* seguida de *vaporização*, como a afirmação sustenta.
- **Abaixo** da pressão do ponto triplo: cruza-se apenas a curva de **sublimação**. O sólido passa direto a gás, sem jamais ser líquido.

O gelo seco (CO_2) é o exemplo cotidiano: seu ponto triplo está a 5,1 atm, de modo que a 1 atm ele sublima.

Conclusão

Correta apenas a **II**.

Resposta

Alternativa (a) II, somente

Questão 9

Quando os hidretos formados por alguns elementos do grupo 16 são dispostos em ordem crescente de temperatura de ebulição, obtém-se:



Avalie as afirmações:

- Esse comportamento é completamente justificado, pois a eletronegatividade dos elementos aumenta na mesma sequência ($\text{S} < \text{Se} < \text{Te} < \text{O}$).
- Para a água, há de se considerar a formação de ligações de hidrogênio clássicas, justificando a maior temperatura de ebulição.
- O aumento na temperatura de ebulição é justificado devido ao aumento da força das ligações de hidrogênio.
- De H_2S até H_2Te , o aumento é justificado pelo aumento na polarizabilidade das moléculas.

Está correto o que se afirma em:

- a) II e IV, somente.
- b) I, II, somente.
- c) I, II e IV, somente.
- d) III e IV, somente.
- e) I e III, somente.

Resolução comentada

A anomalia a explicar. A sequência tem *duas* partes de naturezas diferentes:

Hidreto	$M / \text{g mol}^{-1}$	T.E. / °C	Força dominante
H ₂ S	34	−60	dispersão de London
H ₂ Se	81	−41	dispersão de London
H ₂ Te	130	− 2	dispersão de London
H ₂ O	18	+100	ligação de hidrogênio (anomalia)

De H₂S a H₂Te a temperatura sobe suavemente com a massa. A água, sendo a *mais leve* de todas, deveria ser a de menor ponto de ebulição — e é, ao contrário, a de maior, por 102 °C de margem.

I — Falsa

Duas falhas.

Primeira, o fato está errado. A eletronegatividade *diminui* descendo o grupo:

$$\chi(\text{O}) = 3,44 > \chi(\text{S}) = 2,58 > \chi(\text{Se}) = 2,55 > \chi(\text{Te}) = 2,10$$

A ordem afirmada ($\text{S} < \text{Se} < \text{Te} < \text{O}$) não corresponde a nada.

Segunda, mesmo se estivesse certa, não bastaria. A eletronegatividade explica a anomalia da *água*, mas não a subida de H₂S para H₂Te — onde ela cai, e mesmo assim a temperatura sobe. A afirmação diz “completamente justificado”, o que é falso.

II — Verdadeira

Exatamente a explicação da anomalia. A ligação de hidrogênio “clássica” exige H ligado a F, O ou N — átomos pequenos e muito eletronegativos. Só o oxigênio, entre os calcogênios, satisfaz isso.

Cada molécula de água pode formar até **quatro** ligações de hidrogênio (duas doando pelos hidrogênios, duas recebendo pelos pares isolados), criando uma rede tridimensional que exige muita energia para desmontar.

III — Falsa

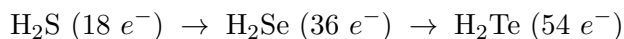
Generaliza indevidamente. H₂S, H₂Se e H₂Te **não formam** ligações de hidrogênio significativas: enxofre, selênio e telúrio são grandes demais e pouco eletronegativos, e sua densidade de carga é insuficiente para polarizar o hidrogênio.

Se a força das ligações de hidrogênio explicasse a série inteira, ela deveria *aumentar* de H₂S a H₂Te — o oposto do que a eletronegatividade decrescente prevê.

IV — Verdadeira

Esta é a explicação correta para o trecho regular da série. Sem ligações de hidrogênio, essas moléculas interagem apenas por **dispersão de London**, cuja intensidade cresce com a

polarizabilidade — e esta cresce com o número de elétrons e o volume da nuvem eletrônica:



Nuvens maiores e mais difusas deformam-se com mais facilidade, gerando dipolos instantâneos mais intensos.

Conclusão

Corretas: **II e IV**. Juntas, elas cobrem os dois regimes da série — a tendência regular (IV) e a anomalia da água (II).

A consequência de a água ser anômala

Se a água seguisse a tendência dos congêneres, ferveria por volta de $-80\text{ }^\circ\text{C}$ e congelaria a $-100\text{ }^\circ\text{C}$: seria um gás em toda a superfície terrestre. A ligação de hidrogênio é, literalmente, a razão pela qual existem oceanos.

Resposta

Alternativa (a) II e IV, somente

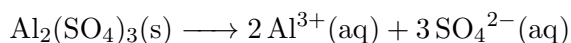
Questão 10

Calcule o número de partículas dispersas numa solução que contém 1 mol de sulfato de alumínio, suposto 66 % dissociado.

- a) $2,19 \times 10^{24}$
- b) $3,19 \times 10^{24}$
- c) $4,19 \times 10^{23}$
- d) $5,19 \times 10^{22}$
- e) $5,19 \times 10^{23}$

Resolução comentada

Passo 1 — quantos íons por fórmula



Cada fórmula dissociada gera $2 + 3 = 5$ íons.

Passo 2 — separar o que dissociou do que não dissociou

Com $\alpha = 0,66$ e 1 mol de partida:

Espécie	Quantidade / mol	Origem
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ não dissociado	$1 - 0,66 = 0,34$	permanece como fórmula intacta
Al^{3+}	$2 \times 0,66 = 1,32$	do que dissociou
SO_4^{2-}	$3 \times 0,66 = 1,98$	do que dissociou
Total de partículas	3,64	

O ponto que a questão cobra: as fórmulas *não* dissociadas contam como partículas. Esquecê-las daria apenas 3,30 mol.

Passo 3 — via fator de van't Hoff (atalho)

$$i = 1 + \alpha (q - 1)$$

onde $q = 5$ é o número de íons por fórmula:

$$i = 1 + 0,66 (5 - 1) = 1 + 2,64 = 3,64$$

Mesmo resultado, em uma linha.

Passo 4 — converter para número de partículas

$$N = n \times N_A = (3,64 \text{ mol})(6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1})$$

$$N = 2,19 \times 10^{24} \text{ partículas}$$

Por que o sulfato de alumínio é o clássico dos coagulantes

Com $i = 5$ na dissociação completa, o $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ é um dos eletrólitos de maior efeito coligativo por fórmula. Mas seu uso principal — no tratamento de água — explora outra propriedade: o Al^{3+} hidrolisa formando $\text{Al}(\text{OH})_3$ gelatinoso, que arrasta as impurezas em suspensão. É o mecanismo da **floculação**, que reaparece na Questão 27 desta mesma prova.

Resposta

$$\text{Alternativa (a)} \quad 2,19 \times 10^{24}$$

Questão 11

Volumes iguais de iodeto de potássio $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ e nitrato de prata $0,70 \text{ mol L}^{-1}$ são misturados. Assinale a opção que indica as espécies presentes (excluindo a água) e suas concentrações após a mistura.

- a) AgI(s) ; $0,35 \text{ mol L}^{-1}$ de NO_3^- ; $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ de K^+ ; $0,15 \text{ mol L}^{-1}$ de I^-
- b) AgI(s) ; $0,50$ de NO_3^- ; $0,25$ de K^+ ; $0,15$ de I^-
- c) AgI(s) ; $0,35$ de NO_3^- ; $0,25$ de K^+ ; $0,50$ de I^-

d) AgI(aq) ; 0,15 de NO_3^- ; 0,50 de K^+ ; 0,15 de I^-

e) AgI(s) ; 0,70 de NO_3^- ; 1,0 de K^+ ; 0,30 de I^-

Resolução comentada

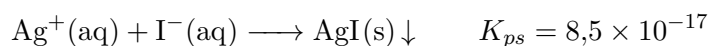
Passo 1 — a diluição pela mistura

Volumes *iguais* misturados dobram o volume total, o que **divide todas as concentrações por dois**:

$$[\text{KI}] = \frac{1,0}{2} = 0,50 \text{ mol L}^{-1} \quad [\text{AgNO}_3] = \frac{0,70}{2} = 0,35 \text{ mol L}^{-1}$$

Esse é o primeiro filtro: quem esquece a diluição cai na alternativa (e).

Passo 2 — a reação



O iodeto de prata é **extremamente** insolúvel — a precipitação é essencialmente completa.

Passo 3 — o balanço

	Ag^+	I^-	AgI(s)
Após diluição	0,35	0,50	—
Reage	-0,35	-0,35	+0,35
Final	≈ 0	0,15	0,35 mol precipitados

A prata é o **reagente limitante**: ela se esgota, sobrando iodeto.

Passo 4 — os íons espectadores

Nem o K^+ nem o NO_3^- participam da reação; permanecem em solução com as concentrações resultantes da diluição:

$$[\text{K}^+] = 0,50 \text{ mol L}^{-1} \quad [\text{NO}_3^-] = 0,35 \text{ mol L}^{-1}$$

Resposta

AgI(s) precipitado (amarelo)

$$[\text{K}^+] = 0,50 \quad [\text{NO}_3^-] = 0,35 \quad [\text{I}^-] = 0,15 \text{ mol L}^{-1}$$

Conferência de eletroneutralidade: cargas positivas = 0,50 (K^+); negativas = 0,35 + 0,15 = 0,50 ✓

Onde cada distrator erra

Erro
(b) Trocou os valores de K^+ e NO_3^- .
(c) Não descontou o iodeto consumido (0,50 em vez de 0,15).
(d) Diz AgI(aq) — mas o AgI é insolúvel, precipita.
(e) Esqueceu a diluição pela mistura de volumes iguais.

A eletroneutralidade é um teste rápido: em (c), positivas = 0,25 contra negativas = 0,85 — impossível.

Resposta

Alternativa (a).

Questão 12

Indique qual das afirmações abaixo é **INCORRETA**.

- a) O íon BrOF_4^- possui geometria piramidal quadrada e arranjo octaédrico.
- b) A molécula XeO_2F_4 possui geometria octaédrica e arranjo octaédrico.
- c) A molécula XeO_2 possui geometria linear.
- d) O íon IF_2^- possui geometria linear e arranjo bipirâmide trigonal.
- e) A molécula PF_3O possui geometria tetraédrica.

Resolução comentada

O procedimento. Para cada espécie, contam-se os domínios eletrônicos no átomo central (ligações σ + pares isolados). Os domínios dão o *arranjo*; descontando os pares isolados, obtém-se a *geometria molecular*.

(a) BrOF_4^- — Correta

Bromo: 7 elétrons de valência + 1 da carga = 8. Quatro ligações Br–F consomem 4; a dupla Br=O consome 2; sobram 2 — **um par isolado**.

$$4 + 1 + 1 = 6 \text{ domínios} \Rightarrow \text{arranjo octaédrico}$$

Com um par isolado ocupando um vértice, restam cinco posições com átomos: geometria **piramidal quadrada** ✓

(b) XeO_2F_4 — Correta

Xenônio: 8 elétrons. Duas duplas Xe=O consomem 4; quatro ligações Xe–F consomem 4; sobram 0 — **nenhum par isolado**.

$$2 + 4 + 0 = 6 \text{ domínios} \Rightarrow \text{arranjo octaédrico}$$

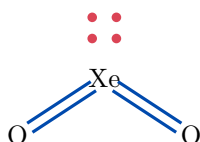
Sem pares isolados, a geometria molecular coincide com o arranjo: **octaédrica** ✓

(c) XeO_2 — INCORRETA

Xenônio: 8 elétrons de valência. Duas duplas Xe=O consomem 4; sobram 4, isto é, **dois pares isolados**.

$$2 + 2 = 4 \text{ domínios} \Rightarrow \text{arranjo tetraédrico}$$

Com dois pares isolados, a geometria molecular é **angular** — não linear.



dois pares isolados
 $\Rightarrow$ geometria **angular**
 ($\approx 105^\circ$), não linear

O XeO_2 é análogo da água em contagem de domínios: dois ligantes, dois pares isolados, geometria angular. Para ser linear, o xenônio teria de estar sem pares isolados (como no CO_2) ou com três deles em arranjo bipiramidal trigonal (como no XeF_2).

(d) IF_2^- — Correta

Iodo: $7 + 1 = 8$ elétrons. Duas ligações consomem 2; sobram 6 — **três pares isolados**.

$$2 + 3 = 5 \text{ domínios} \Rightarrow \text{arranjo } \mathbf{bipirâmide\ trigonal}$$

Os três pares ocupam as posições equatoriais e os dois flúores vão para as axiais: geometria **linear** ✓ (mesmo caso do XeF_2).

(e) PF_3O — Correta

Fósforo: 5 elétrons. Três ligações P–F consomem 3; a dupla P=O consome 2; sobram 0.

$$3 + 1 + 0 = 4 \text{ domínios} \Rightarrow \text{arranjo } \mathbf{tetraédrico}$$

Sem pares isolados, geometria molecular **tetraédrica** (distorcida, pois a dupla P=O repele mais) ✓

Resposta

Alternativa (c) XeO_2 é **angular**

Questão 13

De acordo com a teoria cinética dos gases, **NÃO** é correto afirmar que:

- a) as partículas apresentam um alto grau de coesão, estando muito unidas e, por causa disso, têm baixa velocidade.
- b) a energia cinética média é proporcional à temperatura em kelvin.
- c) por apresentarem movimento livre dentro do recipiente, as partículas ocupam todo o espaço disponível.
- d) as partículas apresentam movimentação, o que proporciona choques entre si e contra as paredes do recipiente.
- e) o movimento das partículas dentro do recipiente é totalmente caótico, sem nenhuma organização ou ordem.

Resolução comentada

Os postulados da teoria cinética. Um gás ideal é descrito por:

1. partículas em movimento **caótico e incessante**;
2. volume próprio desprezível frente ao do recipiente;

3. forças intermoleculares desprezíveis — sem coesão;
4. colisões perfeitamente elásticas;
5. energia cinética média proporcional à temperatura absoluta.

(a) — INCORRETA

A afirmação descreve exatamente o *oposto* de um gás. “Alto grau de coesão” e “partículas muito unidas” caracterizam **sólidos** e, em menor medida, líquidos.

Num gás, o postulado 3 diz que as interações são desprezíveis — é justamente por isso que o gás se expande até ocupar todo o recipiente (alternativa (c)) e que não tem forma nem volume próprios.

Além disso, “baixa velocidade” é falso: a velocidade quadrática média do N_2 a $25\text{ }^\circ\text{C}$ é de cerca de 515 m s^{-1} — mais rápido que o som.

As demais, todas corretas

- (b) Postulado quantitativo central:

$$\overline{E_c} = \frac{3}{2} k_B T \quad \Rightarrow \quad v_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

Note que a proporcionalidade é com T em **kelvin** — é por isso que a escala absoluta é indispensável em gases.

- (c) Consequência direta da ausência de coesão.
- (d) As colisões contra as paredes são a origem microscópica da **pressão**.
- (e) O movimento é aleatório em direção e módulo, descrito pela distribuição de Maxwell-Boltzmann.

Resposta

Alternativa (a)

Questão 14

Analise as afirmações sobre a Tabela Periódica:

- I. A Tabela Periódica, atualmente, é sistematizada em ordem crescente de **massa atômica**. A única exceção ocorre entre o telúrio e o iodo, devido à contração lantanídica.
- II. Todos os elementos que possuem um elétron em seu nível de valência pertencem ao Grupo dos Metais Alcalinos **Terrosos**.
- III. A proposta final da Tabela Periódica foi apresentada por D. Mendeleev, no final do século XIX.
- IV. As famílias ou grupos estão organizados de acordo com suas propriedades **físicas**.

Em relação a essas afirmações, é adequado afirmar que:

- a) todas estão incorretas.
- b) I, II e III estão corretas.
- c) I e IV estão corretas.
- d) II, III e IV estão corretas.
- e) II e III estão corretas.

Resolução comentada

I — Incorreta

Dois erros encadeados.

O critério de ordenação. Desde Moseley (1913), a Tabela Periódica é ordenada por **número atômico** (Z), não por massa atômica. Foi exatamente essa mudança que eliminou as anomalias que Mendeleev tivera de contornar “na mão”.

As inversões. Ordenando por *massa*, existem várias inversões, não uma:

Par	Z	Massa	Situação
Ar / K	18 / 19	39,95 / 39,10	massa <i>decrece</i>
Co / Ni	27 / 28	58,93 / 58,69	massa <i>decrece</i>
Te / I	52 / 53	127,6 / 126,9	massa <i>decrece</i>

E a causa é outra. As inversões decorrem da abundância isotópica natural — o telúrio tem isótopos pesados abundantes (^{128}Te , ^{130}Te). A *contração lantanídica* é fenômeno distinto: a redução anômala de raio ao longo dos lantanídeos, que torna Zr e Hf quase idênticos em tamanho. Nada tem a ver com Te/I.

II — Incorreta

Um elétron no nível de valência caracteriza o **Grupo 1**, os metais *alcalinos* — não os alcalino-terrosos, que são o Grupo 2 e têm **dois** elétrons de valência.

E há uma exceção adicional: o **hidrogênio** tem $1s^1$ mas não é metal alcalino. Também alguns metais de transição (Cr, Cu, Ag, Au) têm um único elétron s de valência.

III — Incorreta

Mendeleev apresentou sua proposta em **1869**, e ela foi decisiva — mas está longe de ser “final”. A tabela continuou evoluindo:

Ano	Autor	Contribuição
1869	Mendeleev	organização por massa, previsão de elementos
1894–1900	Ramsay	descoberta dos gases nobres (grupo inteiro novo)
1913	Moseley	ordenação por número atômico
1940s	Seaborg	reposicionamento dos actinídeos
2016	IUPAC	conclusão do sétimo período ($Z = 113$ a 118)

IV — Incorreta

Os grupos reúnem elementos de mesma **configuração eletrônica de valência**, o que se traduz em propriedades *químicas* semelhantes — não físicas.

As propriedades *físicas* variam enormemente dentro de um mesmo grupo: no Grupo 17, o F_2 é gás, o Br_2 é líquido e o I_2 é sólido, com pontos de fusão de -220 a $+114$ °C. O que os une é o comportamento químico: todos formam ânions -1 , todos são oxidantes.

Conclusão

Todas as quatro afirmações estão incorretas

Resposta

Alternativa (a)

Questão 15

Duas soluções aquosas de nitrato de potássio foram preparadas: a solução **I** com 28 g de KNO_3 em 1,0 L, e a solução **II** com 133 g em 1,0 L. É **INCORRETO** afirmar que:

- a) ambas as soluções têm temperatura de ebulição **menores** do que a da água.
- b) a temperatura de solidificação de ambas é mais baixa do que a da água.
- c) a solução I tem pressão de vapor maior do que a II, na mesma temperatura.
- d) a temperatura de ebulição da solução I é menor do que a da solução II.
- e) a temperatura de congelamento da solução II é mais baixa do que a da solução I.

Resolução comentada

Passo 1 — comparar as concentrações

$$M(KNO_3) = 39,10 + 14,01 + 3(16,00) = 101,1 \text{ g mol}^{-1}$$

$$n_I = \frac{28}{101,1} = 0,277 \text{ mol} \quad n_{II} = \frac{133}{101,1} = 1,316 \text{ mol}$$

Como o KNO_3 é eletrólito forte ($i = 2$), a solução **II** tem aproximadamente **4,8 vezes** mais partículas que a I.

Passo 2 — o que as propriedades coligativas preveem

Propriedade	Efeito do soluto	Ordem
Pressão de vapor	diminui	água > I > II
Temperatura de ebulição	aumenta	água < I < II
Temperatura de congelamento	diminui	água > I > II

Avaliando cada afirmação

- (a) **INCORRETA** — Solute não volátil **eleva** a temperatura de ebulição (ebuliometria). Ambas as soluções fervem *acima* de 100 °C, não abaixo.
- (b) Correta — crioscopia: ambas congelam abaixo de 0 °C.
- (c) Correta — a solução menos concentrada (I) sofre menor abaixamento de pressão de vapor, logo tem p_{vapor} maior.
- (d) Correta — mais partículas em II, maior elevação.
- (e) Correta — mais partículas em II, maior abaixamento crioscópico.

Estimativa numérica

Com $K_e = 0,52$ e $K_f = 1,86$ °C kg mol⁻¹, e tomando 1,0 L $\approx$ 1,0 kg de água:

	$i W / \text{mol kg}^{-1}$	$T_e / ^\circ\text{C}$	$T_f / ^\circ\text{C}$
Água pura	0	100,0	0,0
Solução I	0,554	100,3	-1,0
Solução II	2,632	101,4	-4,9

Confirma todas as ordens previstas.

Resposta

Alternativa (a) (a afirmação incorreta)

Questão 16

Uma amostra de 10,0 g de uma substância usada na fabricação de células solares é totalmente queimada, produzindo 28,7 g de CO₂ e 9,13 g de H₂O. Indique a fórmula empírica da molécula.

- C₉H₁₄O
- C₉H₁₃O
- C₉H₁₂O
- C₈H₁₄O
- C₈H₁₂O

Resolução comentada

A lógica da análise por combustão. Todo o carbono da amostra vai para o CO₂; todo o hidrogênio, para a H₂O. O oxigênio, porém, *não* pode ser medido diretamente — parte dele vem do O₂ da queima. Obtém-se por **diferença**.

Passo 1 — carbono, a partir do CO₂

$$n(\text{C}) = n(\text{CO}_2) = \frac{28,7 \text{ g}}{44,01 \text{ g mol}^{-1}} = 0,652 \text{ mol}$$

$$m(\text{C}) = (0,652)(12,01) = 7,83 \text{ g}$$

Passo 2 — hidrogênio, a partir da H₂O

Atenção ao fator 2: cada molécula de água traz *dois* hidrogênios.

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{9,13}{18,02} = 0,507 \text{ mol} \quad \Rightarrow \quad n(\text{H}) = 2(0,507) = 1,013 \text{ mol}$$

$$m(\text{H}) = (1,013)(1,008) = 1,02 \text{ g}$$

Passo 3 — oxigênio, por diferença

$$m(\text{O}) = 10,0 - 7,83 - 1,02 = 1,15 \text{ g}$$

$$n(\text{O}) = \frac{1,15}{16,00} = 0,0717 \text{ mol}$$

Passo 4 — a razão molar

Dividindo tudo pelo menor valor ($n(\text{O})$):

	C	H	O
mol	0,652	1,013	0,0717
÷ 0,0717	9,09	14,1	1,00
Arredondado	9	14	1

$$\text{Fórmula empírica} = \text{C}_9\text{H}_{14}\text{O}$$

Conferência. $M(\text{C}_9\text{H}_{14}\text{O}) = 9(12,01) + 14(1,008) + 16,00 = 138,2 \text{ g mol}^{-1}$. Em 10,0 g há 0,0724 mol, que gerariam 0,651 mol de C e 0,506 mol de H₂O — batendo com os dados ✓

Por que as demais falham

Todas as alternativas têm um único oxigênio, então a discriminação está em C e H. As opções com 8 carbonos exigiriam $n(\text{C})/n(\text{O}) = 8$, mas a razão calculada é 9,09; as com 12 ou 13 hidrogênios contradizem 14,1. Note que a razão H/C obtida é $14,1/9,09 = 1,55$ — coerente com um composto aromático parcialmente saturado.

Resposta

$$\text{Alternativa (a)} \quad \text{C}_9\text{H}_{14}\text{O}$$

Questão 17

Uma amostra aquosa contendo um ácido triprótico (H_3A) foi diluída 10 vezes. Uma alíquota de 20,00 mL dessa solução diluída foi titulada com NaOH $0,1000 \text{ mol L}^{-1}$, consumindo 35,00 mL de titulante. Indique a concentração (mol L^{-1}) do ácido **na amostra**. *Dados:* $K_{a1} = 7,11 \times 10^{-3}$; $K_{a2} = 6,32 \times 10^{-8}$; $K_{a3} = 4,47 \times 10^{-13}$. O ponto estequiométrico foi determinado com indicador de viragem em $\text{pH} = 9,1$.

- a) 0,875
- b) 0,437
- c) 1,31
- d) 0,0437
- e) 0,131

Resolução comentada

A pergunta escondida: quantos prótons foram titulados? Um ácido triprótico tem *três* pontos de equivalência, e o indicador determina em qual deles a titulação parou.

Passo 1 — os $\text{p}K_a$

$$\text{p}K_{a1} = -\log(7,11 \times 10^{-3}) = 2,15$$

$$\text{p}K_{a2} = -\log(6,32 \times 10^{-8}) = 7,20$$

$$\text{p}K_{a3} = -\log(4,47 \times 10^{-13}) = 12,35$$

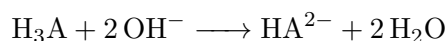
Passo 2 — localizar o pH de viragem

O pH em cada ponto de equivalência é aproximadamente a média de $\text{p}K_a$ consecutivos:

Ponto de equiv.	pH aprox.	Espécie predominante
1°	$\frac{2,15+7,20}{2} = 4,7$	H_2A^-
2°	$\frac{7,20+12,35}{2} = 9,8$	HA^{2-}
3°	> 12	A^{3-}

← indicador em 9,1

Com viragem em $\text{pH} = 9,1$, a titulação foi conduzida até o **segundo** ponto de equivalência: foram neutralizados **dois** dos três prótons.



Passo 3 — mols de base e de ácido

$$n(\text{NaOH}) = (0,03500 \text{ L})(0,1000 \text{ mol L}^{-1}) = 3,500 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$$n(\text{H}_3\text{A}) = \frac{n(\text{NaOH})}{2} = 1,750 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

Passo 4 — concentração na solução diluída

$$C_{\text{diluída}} = \frac{1,750 \times 10^{-3} \text{ mol}}{0,02000 \text{ L}} = 0,0875 \text{ mol L}^{-1}$$

Passo 5 — voltar à amostra original

A amostra foi diluída 10 vezes, logo a original era 10 vezes mais concentrada:

$$C_{\text{amostra}} = 10 \times 0,0875$$

$$C_{\text{amostra}} = 0,875 \text{ mol L}^{-1}$$

Três armadilhas, três distratores

	Valor	Erro
(d)	0,0437	Esqueceu a diluição e usou 1 próton.
(b)	0,437	Usou a proporção 1:1 em vez de 1:2.
(e)	0,131	Usou 3 prótons sem aplicar a diluição.
(c)	1,31	Usou os três prótons (viragem em pH > 12).

A informação decisiva é o pH do indicador. Sem ela, não haveria como saber onde a titulação parou — e é por isso que o enunciado a fornece explicitamente. Na prática de laboratório, essa é justamente a razão de escolher um indicador específico: ele define *qual* equivalência se está medindo.

Resposta

$$\text{Alternativa (a)} \quad 0,875 \text{ mol L}^{-1}$$

Questão 18

Considerando o modelo atual para o átomo, analise:

- O spin de um elétron depende do nível de energia em que se encontra.
- Os números quânticos são utilizados para “localizar” os elétrons em um átomo.
- Um átomo, teoricamente, apresenta infinitos níveis e subníveis de energia.
- Orbital é a região de maior probabilidade para se localizar um elétron.

Assinale a alternativa correta:

- somente ii, iii e iv estão corretas.
- somente ii e iii estão corretas.
- todas as afirmativas estão corretas.
- somente i, ii e iii estão corretas.
- somente i e iv estão corretas.

Resolução comentada

i — Incorreta

O número quântico de spin, m_s , assume apenas dois valores:

$$m_s = +\frac{1}{2} \quad \text{ou} \quad m_s = -\frac{1}{2}$$

Essa escolha é **independente** de n , ℓ e m_ℓ . Um elétron $1s$ e um elétron $5f$ têm exatamente as mesmas duas opções de spin.

O spin é uma propriedade *intrínseca* da partícula — tão fundamental quanto sua carga ou massa —, não algo determinado pelo orbital que ela ocupa.

ii — Correta

É precisamente a função dos quatro números quânticos:

	Símbolo	Determina	Valores
Principal	n	nível / tamanho e energia	$1, 2, 3, \dots$
Secundário	ℓ	subnível / forma	0 a $n - 1$
Magnético	m_ℓ	orientação espacial	$-\ell$ a $+\ell$
Spin	m_s	rotação intrínseca	$\pm \frac{1}{2}$

Pelo Princípio de Pauli, essa quádrupla é única para cada elétron do átomo — funciona como um “endereço”.

iii — Correta

A solução da equação de Schrödinger para o átomo de hidrogênio admite $n = 1, 2, 3, \dots$ até o **infinito**, com energias

$$E_n = -\frac{13,6}{n^2} \text{ eV}$$

que convergem para zero quando $n \rightarrow \infty$ — o limite de ionização.

Na prática, os átomos conhecidos preenchem no máximo até $n = 7$ no estado fundamental. Mas os níveis superiores *existem* e podem ser povoados: os chamados **átomos de Rydberg**, com n da ordem de centenas, são produzidos em laboratório e chegam a ter diâmetro de frações de milímetro.

iv — Correta

Definição corrente de orbital no modelo quântico. Como o Princípio da Incerteza de Heisenberg proíbe conhecer simultaneamente posição e momento,

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

abandona-se a ideia de trajetória. O que se define é a **densidade de probabilidade**, $|\psi|^2$, e o orbital é convencionalmente a região que contém 90 % da probabilidade de encontrar o elétron.

Conclusão

Corretas: **ii, iii e iv**.

Resposta

Alternativa (a)

Questão 19

Três frascos sem rótulo (A, B e C) contêm reagentes puros. Um analista realizou os testes:

- i) **Adição de água:** apenas 'A' é insolúvel;
- ii) **Medida de pH:** 'A' apresenta pH entre 7 e 11; 'B' pH > 9; 'C' pH < 7;
- iii) **Ajuste de pH até valores maiores que 11:** presença de odor característico apenas em 'C'.

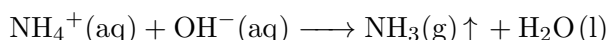
Os frascos A, B e C continham, respectivamente:

- a) BaCO₃, CaO e NH₄Cl
- b) CaCO₃, NH₄OH e H₂S
- c) AgCl, KOH e NH₄Cl
- d) AgNO₃, KOH e HCl
- e) Ag₂CO₃, NH₄Cl e H₂S

Resolução comentada

| Teste iii — o mais discriminante

Elevar o pH acima de 11 e obter **odor característico** aponta para uma única química: liberação de **amônia** a partir de um sal de amônio.

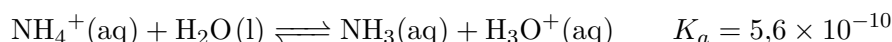


Portanto, **'C' contém NH₄⁺**. Isso já elimina (b), (d) e (e), que não têm sal de amônio em C.

Restam (a) — com NH₄Cl em C — e (c) — também com NH₄Cl em C.

| Teste ii — o pH de 'C'

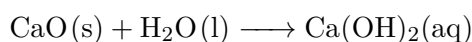
O NH₄Cl é sal de **ácido forte** (HCl) com **base fraca** (NH₃). O cátion hidrolisa:



Solução **ácida**, pH < 7 ✓ — compatível com ambas as alternativas restantes.

| Teste ii — o pH de 'B'

- (a) **CaO:** óxido básico que reage com água formando base forte:



pH bem acima de 9 ✓

- (c) **KOH**: base forte, pH altíssimo ✓

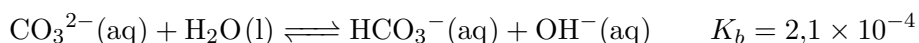
Ambas passam. A decisão está no frasco A.

Testes i e ii — o frasco 'A'

A é **insolúvel** em água e sua suspensão tem pH entre 7 e 11 — *levemente básica*.

Candidato	Insolúvel?	pH da suspensão	Veredito
BaCO ₃	sim ($K_{ps} = 2,6 \times 10^{-9}$)	levemente básico	compatível
AgCl	sim ($K_{ps} = 1,8 \times 10^{-10}$)	neutro	incompatível

Por que o BaCO₃ dá suspensão básica. O pouco carbonato que se dissolve sofre hidrólise, pois o CO₃²⁻ é base conjugada de ácido fraco:



A liberação de OH⁻ eleva o pH — tipicamente para a faixa 9–10, exatamente o intervalo do enunciado.

Por que o AgCl não serve. Nem Ag⁺ nem Cl⁻ hidrolisam de forma apreciável: o Cl⁻ é base conjugada de ácido *forte* (HCl), logo é base desprezível. A suspensão de AgCl é essencialmente **neutra**, pH ≈ 7, e não atende ao critério “entre 7 e 11”.

Conclusão



Como confirmar o BaCO₃ com um quarto teste

Se restasse dúvida entre carbonato e cloreto, bastaria adicionar ácido diluído: o BaCO₃ efervesce liberando CO₂,



enquanto o AgCl permanece inerte. É a marcha analítica clássica.

Resposta

Alternativa (a)

Questão 20

A constante de velocidade de uma reação de primeira ordem é $3,68 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ a 150 °C, e a energia de ativação é 71 kJ mol⁻¹. Qual é o valor da constante de velocidade (em s⁻¹) a 170 °C?

- $9,2 \times 10^{-2}$
- $3,7 \times 10^{-2}$

- c) 2,49
- d) $4,0 \times 10^{-2}$
- e) $3,7 \times 10^{-1}$

Resolução comentada

A ferramenta: Arrhenius na forma de dois pontos. Escrevendo a equação para duas temperaturas e dividindo, o fator A se cancela:

$$\ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

Passo 1 — converter para kelvin

$$T_1 = 150 + 273 = 423 \text{ K} \quad T_2 = 170 + 273 = 443 \text{ K}$$

Passo 2 — o termo entre parênteses

$$\frac{1}{423} - \frac{1}{443} = \frac{443 - 423}{423 \times 443} = \frac{20}{187389} = 1,067 \times 10^{-4} \text{ K}^{-1}$$

Passo 3 — o logaritmo da razão

$$\frac{E_a}{R} = \frac{71\,000 \text{ J mol}^{-1}}{8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}} = 8541 \text{ K}$$

$$\ln \frac{k_2}{k_1} = (8541)(1,067 \times 10^{-4}) = 0,911$$

Passo 4 — a nova constante

$$\frac{k_2}{k_1} = e^{0,911} = 2,49$$

$$k_2 = (2,49)(3,68 \times 10^{-2})$$

$$k_2 = 9,2 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$$

Leitura do resultado — e o distrator (c)

Um aumento de apenas 20 °C multiplicou a velocidade por 2,5. Essa sensibilidade extrema é a assinatura da dependência *exponencial* de Arrhenius, e está por trás da regra empírica de que a velocidade de muitas reações dobra a cada 10 °C.

A alternativa (c), 2,49, é exatamente a **razão** k_2/k_1 — a resposta de quem para no passo 4 sem multiplicar por k_1 . É o distrator mais bem construído da questão.

Resposta

$$\text{Alternativa (a)} \quad 9,2 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$$

Questão 21

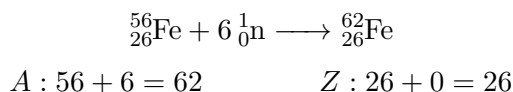
A existência de elementos mais pesados que o ferro envolve o rápido processo de captura de nêutrons (processo r). A captura de nêutrons de alta velocidade resulta em um núcleo instável que decai rapidamente; em cada etapa de decaimento, um nêutron se converte em um próton. Qual elemento é formado a partir da absorção de 6 nêutrons por um núcleo de ferro-56 e o subsequente decaimento a 6 prótons?

- a) ${}^{56}_{26}\text{Fe}$
- b) ${}^{26}_{62}\text{Fe}$
- c) ${}^{62}_{26}\text{Ge}$
- d) ${}^{62}_{32}\text{Ge}$
- e) ${}^{32}_{62}\text{Ge}$

Resolução comentada

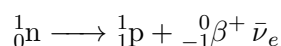
Etapa 1 — captura de seis nêutrons

Cada nêutron capturado aumenta o **número de massa** em 1, mas não altera o número atômico:

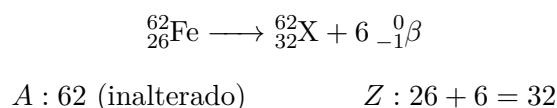


Etapa 2 — seis decaimentos β^-

O enunciado descreve a conversão de nêutron em próton — que é exatamente o decaimento beta negativo:



Cada evento **aumenta** Z **em 1** e **mantém** A :



Etapa 3 — identificar o elemento

$Z = 32$ corresponde ao **germânio**.



Por que as demais são impossíveis

Espécie	Problema
(a) ${}^{56}_{26}\text{Fe}$	é o <i>reagente</i> — nada teria acontecido
(b) ${}^{26}_{62}\text{Fe}$	índices trocados: $A < Z$, fisicamente impossível
(c) ${}^{62}_{26}\text{Ge}$	$Z = 26$ é ferro, não germânio — inconsistente
(e) ${}^{32}_{62}\text{Ge}$	índices trocados novamente

Um teste rápido descarta (b) e (e): o número de massa é sempre *maior ou igual* ao número atômico, pois $A = Z + N$ com $N \geq 0$.

O processo r e a origem dos elementos pesados

O ferro-56 é o núcleo de maior energia de ligação por nucleon — o fundo do “vale de estabilidade”. Fundir elementos além dele *consome* energia em vez de liberar, e por isso a fusão estelar comum para o ferro.

Todos os elementos mais pesados vêm de captura neutrônica. No **processo r** (*rapid*), o fluxo de nêutrons é tão intenso que o núcleo captura vários antes de decair, saltando para longe da estabilidade e só então decaindo por uma cascata de β^- . Ele ocorre em supernovas e, sobretudo, em fusões de estrelas de nêutrons — como a detectada em 2017 pelo LIGO, que produziu ouro e platina em quantidade estimada em várias massas terrestres.

Resposta

Alternativa (d) ${}^{62}_{32}\text{Ge}$

Questão 22

Durante as Olimpíadas de Tóquio 2020, um atleta foi retirado da competição sob suspeita de doping por uso de **ostarina**, de fórmula molecular $\text{C}_{19}\text{H}_{14}\text{F}_3\text{N}_3\text{O}_3$, vendida numa dosagem de 25 mg por comprimido. O doping é detectado quando a concentração na urina é, no mínimo, de 100 ng/100 mL. Escolha a alternativa que indica a razão entre a quantidade de substância ingerida por comprimido (n_i) e a quantidade mínima para detecção em 100 mL de urina (n_d).

- a) $n_i/n_d = 2,5 \times 10^5$
- b) $4,5 \times 10^6$
- c) $1,5 \times 10^6$
- d) $8,5 \times 10^3$
- e) $5,5 \times 10^6$

Resolução comentada

O atalho. Como se pede uma *razão* entre quantidades de matéria da **mesma** substância, a massa molar aparece no numerador e no denominador — e se cancela:

$$\frac{n_i}{n_d} = \frac{m_i/M}{m_d/M} = \frac{m_i}{m_d}$$

Basta, portanto, comparar as massas. Não é preciso calcular M .

Passo 1 — uniformizar as unidades

$$\begin{aligned} m_i &= 25 \text{ mg} = 25 \times 10^{-3} \text{ g} \\ m_d &= 100 \text{ ng} = 100 \times 10^{-9} \text{ g} = 1,00 \times 10^{-7} \text{ g} \end{aligned}$$

Passo 2 — a razão

$$\frac{n_i}{n_d} = \frac{25 \times 10^{-3}}{1,00 \times 10^{-7}} = 25 \times 10^4$$

$$\frac{n_i}{n_d} = 2,5 \times 10^5$$

O que o número significa

O limite de detecção corresponde a **um quarto de milionésimo** da dose ingerida. Basta que 0,0004 % do comprimido chegue à urina para o exame acusar.

Essa sensibilidade extrema é obtida por **cromatografia líquida acoplada a espectrometria de massas** (LC-MS/MS), técnica capaz de detectar picogramas por mililitro. É por isso que substâncias proibidas permanecem detectáveis semanas após a última ingestão — e por que o controle antidoping moderno é tão eficaz.

Sobre a ostarina: é um SARM (*selective androgen receptor modulator*), classe banida pela WADA por promover ganho de massa muscular com menos efeitos colaterais que os esteroides anabolizantes clássicos.

Se a massa molar fosse necessária

Por completude: $M(\text{C}_{19}\text{H}_{14}\text{F}_3\text{N}_3\text{O}_3) = 19(12,01) + 14(1,008) + 3(19,00) + 3(14,01) + 3(16,00) = 389,3 \text{ g mol}^{-1}$.

$$n_i = \frac{25 \times 10^{-3}}{389,3} = 6,42 \times 10^{-5} \text{ mol} \quad n_d = \frac{1,00 \times 10^{-7}}{389,3} = 2,57 \times 10^{-10} \text{ mol}$$

$$\frac{n_i}{n_d} = \frac{6,42 \times 10^{-5}}{2,57 \times 10^{-10}} = 2,5 \times 10^5 \quad \checkmark$$

Mesmo resultado, com quatro vezes mais trabalho.

Resposta

Alternativa (a) $2,5 \times 10^5$

Questão 23

Pesticidas organoclorados, ao serem usados nas plantações, são levados por chuvas a rios e lagos, podendo ser absorvidos por peixes e armazenados acumuladamente em seus tecidos gordurosos. Esse armazenamento é devido, principalmente, a:

- a) elevada hidrofobia.
- b) elevada polaridade.
- c) baixa massa molar.
- d) formação de ligações de hidrogênio.
- e) presença de cloro ativo.

Resolução comentada

O princípio: “semelhante dissolve semelhante”.

Organoclorados típicos — DDT, aldrin, dieldrin — são moléculas **apolares**: esqueletos de hidrocarboneto com cloros substituintes, sem grupos capazes de interagir fortemente com a água.

Por que se acumulam na gordura

- **Baixíssima solubilidade em água.** O DDT dissolve $0,0055 \text{ mg L}^{-1}$ — praticamente nada. Sendo apolar, ele não consegue romper a rede de ligações de hidrogênio da água.
- **Alta solubilidade em lipídios.** Os tecidos gordurosos são igualmente apolares, e o organoclorado é retido ali por forças de dispersão de London.
- **Excreção dificultada.** O organismo elimina compostos pela urina, que é aquosa. Uma substância que não se dissolve em água não é excretada — fica retida indefinidamente.

Essa afinidade é quantificada pelo **coeficiente de partição octanol-água**:

$$\log K_{ow}(\text{DDT}) \approx 6,9$$

isto é, o DDT é cerca de **oito milhões** de vezes mais solúvel em fase orgânica do que em água.

Alternativa (a) — elevada hidrofobia

Por que as demais falham

- (b) Polaridade elevada produziria o efeito *oposto*: o composto seria solúvel em água, circularia no sangue e seria excretado rapidamente.
- (c) Organoclorados são moléculas *grandes* ($M_{\text{DDT}} = 354 \text{ g mol}^{-1}$). E massa molar baixa favoreceria a eliminação, não o acúmulo.
- (d) Ligações de hidrogênio exigem H ligado a F, O ou N. Organoclorados não têm esses grupos — e, se tivessem, seriam *mais* hidrossolúveis.
- (e) “Cloro ativo” designa espécies oxidantes como HClO , usadas em desinfecção. No organoclorado o cloro está covalentemente ligado ao carbono, quimicamente inerte.

Biomagnificação

A hidrofobia produz um efeito em cascata ao longo da cadeia alimentar. Cada nível trófico concentra o que ingeriu, e as concentrações crescem por ordens de grandeza:

água $\rightarrow$ plâncton $\rightarrow$ peixes pequenos $\rightarrow$ peixes grandes $\rightarrow$ aves de rapina

No caso clássico do DDT, a concentração em águas-pescadoras chegava a 10^7 vezes a da água. O efeito — afinamento das cascas de ovos e colapso populacional — foi denunciado por Rachel Carson em *Primavera Silenciosa* (1962) e levou à proibição do DDT na agricultura. Compostos com esse comportamento formam a classe dos **POPs** (poluentes orgânicos persistentes), regulada pela Convenção de Estocolmo.

Resposta

Alternativa (a)

Questão 24

Os óxidos CO_2 e SO_2 têm fórmulas moleculares similares, são gasosos à temperatura ambiente e formam soluções levemente ácidas em meio aquoso. Considere:

- I. ambos são polares, solúveis em água e apresentam geometria linear.
- II. ambos são não polares e reagem com a água por apresentarem geometria angular.
- III. O primeiro é não polar e possui geometria linear; o segundo é polar, com geometria trigonal plana.
- IV. O dióxido de carbono reage com a água, formando uma solução de ácido carbônico que pode se dissociar.
- V. O dióxido de enxofre reage com a água, formando uma solução de ácido **sulfúrico** que pode se dissociar.
- VI. O dióxido de enxofre é polar e tem geometria angular; o dióxido de carbono é não polar e tem geometria linear.

As afirmações corretas são:

- a) IV e VI.
- b) todas.
- c) I, III e VI.
- d) IV, V e VI.
- e) nenhuma.

Resolução comentada

Preparação — as geometrias, lado a lado

	e^- val. central	Pares isolados	Domínios	Geometria	Polaridade
CO_2	4 (C)	0	2	linear	apolar
SO_2	6 (S)	1	3	angular	polar

A diferença está no **par isolado** do enxofre. O carbono usa seus quatro elétrons nas duas duplas e não sobra nada; o enxofre usa quatro nas duplas e retém dois — um par isolado, que ocupa um domínio e força a geometria angular ($\approx 119^\circ$).

I — Falsa

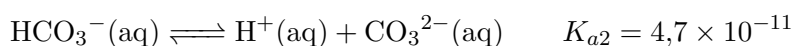
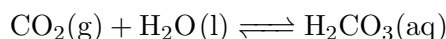
O CO_2 não é polar e o SO_2 não é linear. Dois erros.

II — Falsa

O SO_2 é polar; e o CO_2 não é angular. Além disso, reagir com água não decorre de geometria — o CO_2 , apolar e linear, reage perfeitamente bem.

III — Falsa

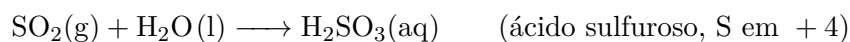
A primeira metade está certa (CO_2 apolar e linear), mas o SO_2 é **angular**, não trigonal plano. Trigonal plana seria a geometria do SO_3 , que aliás é apolar.

IV — Verdadeira

É por isso que a água da chuva é naturalmente ácida ($\text{pH} \approx 5,6$), mesmo sem poluição.

V — Falsa

O erro é de **nomenclatura**, e é o mesmo que apareceu na Questão 14 da OBQ 2024. O SO_2 produz ácido sulfuroso, não sulfúrico:



Para chegar ao H_2SO_4 seria preciso primeiro *oxidar* o enxofre a +6:

**VI — Verdadeira**

Descreve corretamente ambas: SO_2 polar e angular; CO_2 apolar e linear ✓

Conclusão

Corretas: **IV e VI**.

Resposta

Alternativa (a) IV e VI

Questão 25

Bulas de remédios recomendam armazenamento em lugar fresco, assim como alimentos em geladeira, porque podem ocorrer alterações como:

- I. evaporação de líquidos
- II. decomposição devido ao contato com oxigênio e calor
- III. apodrecimento

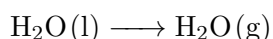
Dessas alterações, são **fenômenos químicos**:

- a) II e III, somente.
- b) I, II e III.
- c) I, somente.
- d) I e II, somente.
- e) I e III, somente.

Resolução comentada

O critério. Um fenômeno é **químico** quando há formação de *novas substâncias* — as ligações se rompem e se refazem, alterando a identidade das espécies. É **físico** quando apenas o estado de agregação, a forma ou a distribuição muda, sem alterar a composição.

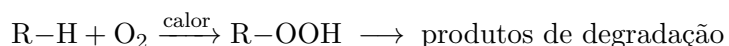
I — Fenômeno físico



A evaporação é mudança de estado. As moléculas continuam sendo água — apenas ganham energia suficiente para vencer as forças intermoleculares. Nenhuma ligação covalente é rompida, e o processo é **reversível** por condensação.

II — Fenômeno químico

Decomposição por oxigênio e calor é **oxidação**: as moléculas do princípio ativo reagem com O_2 , formando produtos diferentes. É o mecanismo de degradação de vitaminas, de rancificação de óleos e de perda de potência de medicamentos.



Vale notar que essa é a razão para os frascos âmbar e as embalagens seladas: excluir luz e oxigênio.

III — Fenômeno químico

Apodrecimento é decomposição biológica: micro-organismos secretam enzimas que **hidrolisam** proteínas, lipídios e carboidratos, produzindo substâncias inteiramente novas — aminas voláteis (o cheiro característico), ácidos orgânicos, gases.

Conclusão

Químicos: **II e III**.

Por que refrigerar funciona nos três casos

Curiosamente, a geladeira ajuda tanto no fenômeno físico quanto nos químicos, por razões diferentes:

- **Evaporação (físico):** a pressão de vapor cai exponencialmente com a temperatura (equação de Clausius-Clapeyron).
- **Oxidação e apodrecimento (químicos):** a velocidade das reações cai exponencialmente pela equação de Arrhenius, e o metabolismo dos micro-organismos praticamente cessa.

Como visto na Questão 20, uma queda de 20°C pode reduzir a velocidade de uma reação por um fator de dois a quatro — o que multiplica o prazo de validade.

Resposta

Alternativa (a) II e III, somente

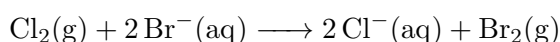
Questão 26

Ao se evaporar água do mar nas salinas, forma-se uma solução rica em brometo, nocivo à saúde. Para removê-lo, a solução é borbulhada com uma corrente de gás cloro, obtendo-se vapores de bromo. Em relação a esse processo, assinale a afirmação correta.

- a) O cloro é reduzido e o bromo é oxidado.
- b) Ocorre uma reação de desproporcionamento envolvendo o cloro.
- c) Ocorre uma reação de comproporcionamento envolvendo o bromo.
- d) O bromo é reduzido e o cloro é oxidado.
- e) Não ocorre uma reação redox, uma vez que elementos do grupo 17 estão envolvidos.

Resolução comentada

Passo 1 — a equação



Passo 2 — os números de oxidação

Elemento	Antes	Depois	Processo
Cl (em $\text{Cl}_2 \rightarrow \text{Cl}^-$)	0	-1	ganha e^- — redução
Br (em $\text{Br}^- \rightarrow \text{Br}_2$)	-1	0	perde e^- — oxidação

O cloro é **reduzido**; o bromo é **oxidado**

Passo 3 — por que o cloro consegue deslocar o bromo

O cloro é oxidante mais forte:

$$E^\circ(\text{Cl}_2/\text{Cl}^-) = +1,36 \text{ V} > E^\circ(\text{Br}_2/\text{Br}^-) = +1,07 \text{ V}$$

$$\Delta E^\circ = 1,36 - 1,07 = +0,29 \text{ V} > 0 \implies \text{espontânea}$$

A ordem de poder oxidante no grupo 17 é $\text{F}_2 > \text{Cl}_2 > \text{Br}_2 > \text{I}_2$: um halogênio desloca os que estão *abaixo* dele.

Por que as demais falham

- (b) e (c) Desproporcionamento exige que *um mesmo* elemento seja simultaneamente oxidado e reduzido; comproporcionamento é o inverso (dois estados convergindo para um intermediário). Aqui cada elemento tem um único destino: o cloro só reduz, o bromo só oxida.

- (d) Inverte os papéis.
- (e) Pertencer ao mesmo grupo não impede reação redox — ao contrário, é exatamente o gradiente de potencial *dentro* do grupo que a torna possível.

Um processo industrial real

Essa é a base do **processo de extração de bromo** a partir de salmouras. Depois de deslocado, o Br_2 é arrastado por corrente de ar ou vapor (*stripping*) e condensado. O Mar Morto e as salinas do Arkansas respondem pela maior parte da produção mundial. E note a lógica econômica: o que era contaminante indesejável na produção de sal torna-se produto de valor — o bromo é usado em retardantes de chama, fármacos e filmes fotográficos.

Resposta

Alternativa (a)

Questão 27

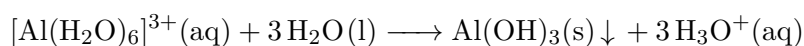
No tratamento de água, reações produzem um material gelatinoso usado para retirar materiais em suspensão. Tanto o sulfato de alumínio como o cloreto férrico podem ser utilizados, sendo esses sais escolhidos pelo seguinte motivo:

- os íons Al^{3+} e Fe^{3+} são hidrolisados e formam seus respectivos hidróxidos, que se aderem aos poluentes, promovendo a floculação.
- os íons SO_4^{2-} e Cl^- são hidrolisados e formam ácidos fortes, capazes de oxidar toda matéria orgânica em suspensão.
- por serem sais de bases fracas, reagem com os poluentes ácidos, precipitando-os como sais insolúveis.
- ambos os sais formam soluções básicas, e a alcalinidade altera o pH, promovendo a floculação de todos os poluentes.
- a formação de um complexo insolúvel dos cátions com os poluentes causa a precipitação dos mesmos.

Resolução comentada

O mecanismo da coagulação-floculação

Passo 1 — hidrólise do cátion trivalente. Cátions pequenos e de carga alta polarizam intensamente as moléculas de água de sua esfera de hidratação, liberando prótons:



Passo 2 — o precipitado gelatinoso. Os hidróxidos $\text{Al}(\text{OH})_3$ e $\text{Fe}(\text{OH})_3$ formam-se como

flocos gelatinosos de enorme área superficial — exatamente o “material gelatinoso” do enunciado.

Passo 3 — captura das impurezas. As partículas coloidais em suspensão (argila, matéria orgânica, micro-organismos) têm superfície carregada negativamente e por isso se repelem, permanecendo dispersas indefinidamente. Os flocos atuam por dois caminhos:

- **neutralização de carga** — os cátions $+3$ anulam a repulsão eletrostática entre os coloides, permitindo que se aproximem;
- **varredura** — os flocos, ao decantarem, arrastam mecanicamente as partículas.

Passo 4 — decantação e filtração. Os agregados, já pesados, sedimentam, e a água clarificada segue para filtração e desinfecção.

Alternativa (a)

Por que as demais falham

- **(b)** SO_4^{2-} e Cl^- são bases conjugadas de ácidos *fortes* — praticamente não hidrolisam. E não há oxidação da matéria orgânica nesta etapa.
- **(c)** $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ e FeCl_3 são sais de base fraca com ácido forte, o que é verdade — mas o mecanismo descrito (reagir com poluentes ácidos) não é o que ocorre. As impurezas removidas são *coloides*, não ácidos.
- **(d)** Inverte o efeito: a hidrólise desses cátions produz H_3O^+ , tornando o meio **ácido**, não básico. Por isso, no tratamento real, adiciona-se cal ou soda para corrigir o pH.
- **(e)** Não há formação de complexo com os poluentes; o mecanismo é de adsorção e neutralização de carga sobre flocos de hidróxido.

Por que só cátions trivalentes servem

A eficiência da coagulação cresce dramaticamente com a carga do cátion — a **regra de Schulze-Hardy** estabelece que ela varia com a sexta potência da carga:

$$\text{eficiência} \propto z^6$$

Um cátion $+3$ é, portanto, cerca de 700 vezes mais eficaz que um $+1$. É por isso que se usam Al^{3+} e Fe^{3+} , e não Na^+ ou Ca^{2+} .

Resposta

Alternativa (a)

Questão 28

O diesel S10 contém 10 ppm de enxofre, contra os 50 ppm do S50. Sobre o enxofre e seus derivados, assinale a opção **incorreta**:

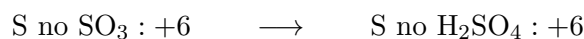
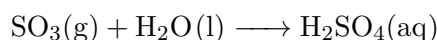
- a) O SO_3 , formado durante a queima do diesel, é **oxidado** a ácido sulfúrico na atmosfera, na presença do oxigênio atmosférico.
- b) Os óxidos de enxofre formados durante a combustão são óxidos ácidos por serem formados de ametais e são responsáveis pela chuva ácida.
- c) Um dos principais problemas causados pela chuva ácida é a remoção do íon cálcio insolúvel (presente em concreto, estátuas, recifes de corais).
- d) O enxofre elementar, presente no diesel, sofre oxidação durante a queima, formando óxidos (anidridos sulfuroso e sulfúrico).
- e) A chuva ácida produz a diminuição do pH de reservatórios de água, comprometendo a qualidade da água e a vida aquática.

Resolução comentada

(a) — INCORRETA

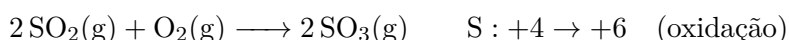
Dois erros conceituais numa só frase.

Erro 1 — a transformação não é oxidação. A conversão de SO_3 em H_2SO_4 é uma **hidratação**, e nela o enxofre *não muda* de estado de oxidação:

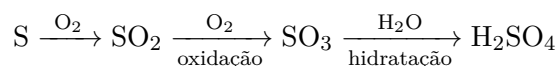


Sem variação de Nox, não há oxidação nem redução — é reação ácido-base de Lewis com a água.

Erro 2 — o oxigênio não participa. A afirmação diz que a conversão ocorre “na presença do oxigênio atmosférico”. O O_2 é necessário na etapa *anterior*, e é essa que de fato é uma oxidação:



A sequência correta é:



A afirmação (a) atribui ao último passo o mecanismo do penúltimo.

As demais, corretas

- **(b)** SO_2 e SO_3 são óxidos de ametal, logo de caráter ácido — reagem com água formando oxiácidos (H_2SO_3 e H_2SO_4).
- **(c)** A chuva ácida ataca carbonatos:



É o que corrói mármore e calcário em monumentos, e o que ameaça recifes de corais.

- (d) O enxofre presente no combustível é oxidado na câmara de combustão, gerando os anidridos sulfuroso (SO_2) e sulfúrico (SO_3).
- (e) A acidificação de lagos é um dos efeitos mais documentados da chuva ácida — abaixo de $\text{pH} = 5$, peixes e invertebrados começam a desaparecer.

Uma imprecisão na alternativa (c)

Vale registrar que a alternativa (c) tem redação questionável: fala em “remoção do íon cálcio *insolúvel*”. Íons, em si, não são solúveis nem insolúveis — quem tem solubilidade é o *composto*. O que a chuva ácida faz é converter o CaCO_3 insolúvel em sais solúveis, que são lixiviados. Ainda assim, a alternativa descreve corretamente um efeito real, e o erro de (a) é de natureza *conceitual* — confunde oxidação com hidratação —, portanto mais grave. O gabarito oficial assinala (a).

Resposta

Alternativa (a) (a incorreta)

Questão 29

Qual transição eletrônica em um átomo de hidrogênio está associada com a **absorção** de maior energia?

- a) $n = 2 \rightarrow n = 1$
- b) $n = 2 \rightarrow n = 3$
- c) $n = 2 \rightarrow n = 5$
- d) $n = 3 \rightarrow n = 2$
- e) $n = 4 \rightarrow n = 5$

Resolução comentada

Passo 1 — eliminar as transições de emissão

Absorção exige que o elétron **suba** de nível ($n_{\text{final}} > n_{\text{inicial}}$). Descendo, o átomo *emite* energia.

Transição		
(a)	$2 \rightarrow 1$	desce — emissão
(b)	$2 \rightarrow 3$	sobe — absorção
(c)	$2 \rightarrow 5$	sobe — absorção
(d)	$3 \rightarrow 2$	desce — emissão
(e)	$4 \rightarrow 5$	sobe — absorção

Restam (b), (c) e (e).

Passo 2 — calcular a energia de cada uma

Para o hidrogênio,

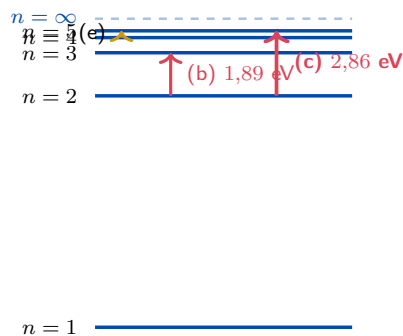
$$E_n = -\frac{13,6}{n^2} \text{ eV} \quad \Rightarrow \quad \Delta E = 13,6 \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2} \right) \text{ eV}$$

	Transição	Cálculo	ΔE / eV
(b)	$2 \rightarrow 3$	$13,6 \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{9} \right) = 13,6(0,139)$	1,89
(c)	$2 \rightarrow 5$	$13,6 \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{25} \right) = 13,6(0,210)$	2,86
(e)	$4 \rightarrow 5$	$13,6 \left(\frac{1}{16} - \frac{1}{25} \right) = 13,6(0,0225)$	0,31

$$n = 2 \rightarrow n = 5 \quad (\Delta E = 2,86 \text{ eV})$$

Por que o resultado faz sentido sem calcular

Os níveis de energia do hidrogênio se **adensam** à medida que n cresce — a separação entre eles cai com $1/n^2$:



Duas regras emergem:

1. Partir de n menor dá saltos maiores — por isso (b) e (c) superam (e);
2. Partindo do mesmo nível, chegar a n maior dá salto maior — por isso (c) supera (b).

A transição (c) satisfaz ambas: parte do menor n disponível entre as opções de absorção e vai ao maior.

Onde essa transição aparece

Transições que *partem* de $n = 2$ formam a **série de Balmer** — a única do hidrogênio na região visível. A transição $2 \rightarrow 5$ corresponde à linha $H\gamma$, de 434 nm (violeta), e é uma das raíes características do espectro solar.

Resposta

$$\text{Alternativa (c)} \quad n = 2 \rightarrow n = 5$$

Questão 30

Na Igreja de Zeitz, na Alemanha, num inverno rigoroso, o órgão de tubos de estanho começou a se desfazer. Descobriu-se depois que a baixa temperatura causa uma mudança do estanho beta (metal íntegro) em estanho alfa (pó amorfo). Essa mudança estrutural pode ser definida como:

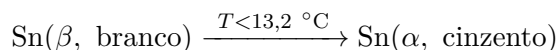
- a) alotropia.
- b) isotopia.
- c) radioatividade.
- d) criogenia.
- e) isomeria.

Resolução comentada

A definição. Alotropia é a propriedade de um *mesmo elemento químico* formar substâncias simples diferentes, distintas pela estrutura cristalina ou pela atomicidade.

É exatamente o caso: os dois estanhos são ambos Sn puro, diferindo apenas no arranjo dos átomos.

	Estanho β (branco)	Estanho α (cinzento)
Estrutura	tetragonal	cúbica tipo diamante
Aspecto	metálico, dúctil	pó cinzento, quebradiço
Densidade / g cm^{-3}	7,31	5,77
Caráter	metálico	semicondutor
Estável	acima de 13,2 °C	abaixo de 13,2 °C



Alternativa (a) — alotropia

Por que as demais estão erradas

- **(b) Isotopia** refere-se a átomos de mesmo Z e A diferentes — fenômeno *nuclear*. Aqui não há mudança no núcleo.
- **(c) Radioatividade** envolve emissão de partículas ou radiação com transmutação. O estanho continua estanho.
- **(d) Criogenia** é a *técnica* de produzir e trabalhar com temperaturas muito baixas — não é um fenômeno químico, é um método. E 13 °C está longe do domínio criogênico.
- **(e) Isomeria** aplica-se a *compostos* de mesma fórmula molecular e estruturas diferentes. O estanho é substância *simples*, não composto.

A peste do estanho e a história

O fenômeno é conhecido como **peste do estanho** (*Zinnpest*), e tem duas características que explicam o pânico na igreja: a transformação é **autocatalítica** — uma vez iniciada num ponto, propaga-se pelo objeto — e vem acompanhada de expansão volumétrica de 26 %, já que o estanho α é menos denso. O metal literalmente se esfarela.

Duas outras histórias são atribuídas ao mesmo efeito: a falha nos botões dos uniformes do exército de Napoleão na campanha da Rússia (1812) e o vazamento de combustível na expedição de Scott à Antártida (1912), cujas latas eram seladas com solda de estanho.

Curiosidade adicional: como o estanho α tem estrutura tipo diamante, ele é **semicondutor**, e não metal — a transição alotrópica muda até a natureza eletrônica do material.

Resposta

Alternativa (a) alotropia

Questão 31

Considere os produtos de solubilidade de três carbonatos: ZnCO_3 ($K_{ps} = 1,5 \times 10^{-10}$), CoCO_3 ($K_{ps} = 1,0 \times 10^{-10}$) e MnCO_3 ($K_{ps} = 2,2 \times 10^{-11}$). São feitas três afirmações:

- I. em uma solução saturada de cada sal, ZnCO_3 é a espécie de maior solubilidade em quantidade de matéria (mol L^{-1}).
- II. em soluções **não saturadas equimolares** dos sais, a concentração mássica do ânion (g L^{-1}) é a mesma para os três.
- III. em soluções preparadas usando-se $1,0 \times 10^{-2}$ g de sal para 1,0 L de solução, a concentração mássica (g L^{-1}) será a mesma para os três sais.

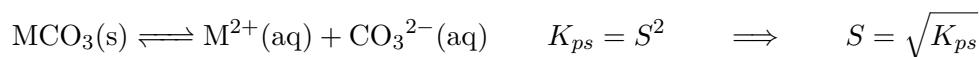
É correto o que se afirma em:

- a) I e II, somente.
- b) I, II e III.
- c) III, somente.
- d) I e III, somente.
- e) II, somente.

Resolução comentada

I — Correta

Os três sais têm a **mesma estequiometria** 1:1:



Só por serem do mesmo tipo é legítimo comparar os K_{ps} diretamente:

Sal	K_{ps}	$S / \text{mol L}^{-1}$
ZnCO ₃	$1,5 \times 10^{-10}$	$1,22 \times 10^{-5}$
CoCO ₃	$1,0 \times 10^{-10}$	$1,00 \times 10^{-5}$
MnCO ₃	$2,2 \times 10^{-11}$	$0,47 \times 10^{-5}$

Maior K_{ps} , maior solubilidade — o ZnCO₃ lidera ✓

II — Correta

A palavra decisiva é “**não saturadas**”. Abaixo da saturação, todo o sal adicionado está dissolvido, e o K_{ps} é irrelevante — nenhum equilíbrio de precipitação está em jogo.

Sendo as soluções **equimolares** e cada fórmula liberando exatamente um carbonato:

$$[\text{CO}_3^{2-}] = C \quad (\text{igual nos três})$$

E como o ânion é o *mesmo* em todos, com a mesma massa molar (60,01 g mol⁻¹), a concentração mássica também é idêntica ✓

III — Incorreta

Esta é a afirmação sutil da questão. À primeira vista parece trivialmente verdadeira: $1,0 \times 10^{-2}$ g em 1,0 L dá $1,0 \times 10^{-2}$ g L⁻¹ para qualquer sal.

Mas será que todo o sal *dissolve*? Comparando com a solubilidade máxima:

Sal	$M / \text{g mol}^{-1}$	$S_{\text{max}} / \text{g L}^{-1}$	Dissolve $1,0 \times 10^{-2}$ g/L?
ZnCO ₃	125,4	$1,53 \times 10^{-3}$	não
CoCO ₃	118,9	$1,19 \times 10^{-3}$	não
MnCO ₃	114,9	$0,54 \times 10^{-3}$	não

Em todos os casos a massa oferecida (10^{-2} g) **excede** a solubilidade (da ordem de 10^{-3} g). Forma-se corpo de fundo, e a solução fica **saturada** — com concentração fixada pelo K_{ps} , que é *diferente* para cada sal.

$$\text{Concentrações dissolvidas: } 1,53 \times 10^{-3} \neq 1,19 \times 10^{-3} \neq 0,54 \times 10^{-3}$$

A afirmação seria verdadeira apenas se estivesse falando da massa *adicionada*; falando de concentração em solução, é falsa.

Conclusão

Corretas: **I e II**.

O contraste entre II e III é o ponto da questão

As duas afirmações parecem semelhantes, mas diferem num detalhe decisivo:

- **II** especifica soluções *não saturadas* — o K_{ps} não atua, e o comportamento é idêntico.
- **III** não especifica, e a quantidade proposta *ultrapassa* a saturação — o K_{ps} passa a governar, e o comportamento diverge.

Reconhecer quando o produto de solubilidade é ou não relevante é exatamente a competência avaliada.

Resposta

Alternativa (a) I e II, somente

Questão 32

A presença de cloreto em solução aquosa pode ser determinada pela acidificação e adição de íons Ag^+ , com formação de precipitado branco. Se ao sólido formado for adicionada solução aquosa de amônia, o precipitado se solubiliza, pela formação de um íon complexo. Indique qual espécie corresponde a esse íon.

- a) $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$
- b) $[\text{AgNH}_4]^+$
- c) $[\text{AgNH}_3]$
- d) $[\text{AgClNH}_3]^+$
- e) $[\text{Ag}^+\text{Cl}^-]$

Resolução comentada

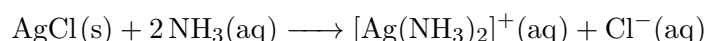
Passo 1 — a precipitação



Precipitado branco, característico.

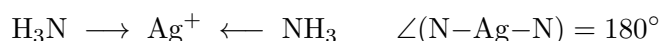
Passo 2 — a dissolução em amônia

A amônia é **base de Lewis** — o nitrogênio doa seu par isolado. A prata é **ácido de Lewis**, com orbitais vazios. Formam-se duas ligações dativas:



Por que dois ligantes

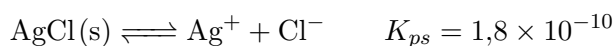
O Ag^+ tem configuração $[\text{Kr}] 4d^{10}$ — subnível d completo. Com d^{10} , a hibridação favorecida é sp , que acomoda **dois** ligantes em geometria **linear**:



Número de coordenação 2 é típico de Ag^+ , Cu^+ e Au^+ — todos d^{10} .

Por que a complexação dissolve o precipitado

Trata-se de competição entre dois equilíbrios:





A constante global é o produto:

$$K = K_{ps} \times K_f = (1,8 \times 10^{-10})(1,7 \times 10^7) = 3,1 \times 10^{-3}$$

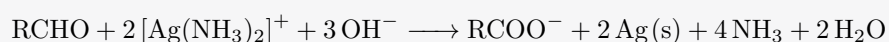
Valor pequeno, mas *muitas* ordens de grandeza maior que K_{ps} sozinho — suficiente para dissolver o precipitado em amônia concentrada. A amônia sequestra o Ag^+ livre, e o equilíbrio de dissolução desloca-se para a direita.

Por que as demais falham

- (b) O ligante é NH_3 (que tem par isolado), não NH_4^+ . O amônio já usou o par na ligação com o próton e, sendo cátion, seria repelido pelo Ag^+ .
- (c) Carga errada: com um Ag^+ e um ligante neutro, o complexo seria $[\text{Ag}(\text{NH}_3)]^+$, não neutro. E o número de coordenação do Ag^+ é 2.
- (d) O cloreto *sai* do sólido para a solução; ele não faz parte do complexo formado.
- (e) Não é complexo — é apenas o par iônico, isto é, o próprio AgCl .

O reagente de Tollens

Essa mesma espécie, $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$, é o **reagente de Tollens**, usado para distinguir aldeídos de cetonas. Aldeídos o reduzem a prata metálica, que se deposita nas paredes do tubo formando o clássico *espelho de prata*:



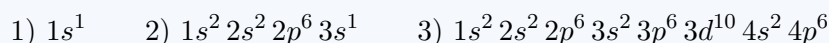
A mesma química é usada industrialmente para prateação de espelhos.

Resposta

Alternativa (a) $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$

Questão 33

Considere as distribuições eletrônicas e as afirmações:



- O elemento “1” não pode formar compostos moleculares; o “2” tende a ceder um elétron em ligações iônicas; e o “3” é encontrado na natureza na forma de moléculas diatômicas.
- O elemento “1” é um gás nobre; o “2” pode formar cátion com estado de oxidação +3; e o “3” possui o nível de valência completo.
- O elemento “1” é o hidrogênio; o “2” pode formar cátion com estado de oxidação +1; e o “3” é um gás nobre.

Está correto o que se afirma em:

- a) III, somente.
- b) I e II, somente.
- c) II e III, somente.
- d) I e II, somente.
- e) I e III, somente.

Resolução comentada

Passo 1 — identificar os três elementos

	Configuração	Total de e^-	Elemento	Classificação
1	$1s^1$	1	hidrogênio	não metal, classe própria
2	$\dots 3s^1$	11	sódio	metal alcalino (Grupo 1)
3	$\dots 4p^6$	36	criptônio	gás nobre (Grupo 18)

I — Falsa

Contém um erro em cada terço.

Sobre o elemento 1: dizer que o hidrogênio “não pode formar compostos moleculares” é o oposto da verdade. Ele forma os compostos moleculares mais comuns que existem: H_2 , H_2O , NH_3 , CH_4 , e todos os orgânicos.

Sobre o elemento 2: esta parte está *correta* — o sódio de fato cede um elétron.

Sobre o elemento 3: o criptônio é **monoatômico**, não diatômico. Gases nobres têm camada completa e não formam ligações entre si.

II — Falsa

Também três partes, duas erradas.

“O elemento 1 é um gás nobre” — o hidrogênio tem $1s^1$, camada *incompleta*. O gás nobre com Z próximo é o hélio, $1s^2$.

“O elemento 2 forma cátion +3” — o sódio tem *um* elétron de valência e forma exclusivamente Na^+ . Remover um segundo elétron exigiria quebrar o octeto do neônio, e a segunda energia de ionização salta de 496 para 4562 kJ mol^{-1} — quase dez vezes mais.

“O elemento 3 tem nível de valência completo” — esta parte está correta.

III — Verdadeira

As três partes conferem:

- “o elemento 1 é o hidrogênio” ✓ ($Z = 1$)
- “o elemento 2 pode formar cátion +1” ✓ ($Na \longrightarrow Na^+ + e^-$)
- “o elemento 3 é um gás nobre” ✓ (criptônio, $4s^2 4p^6$ completo)

Conclusão

Correta apenas a **III**.

Observação sobre as alternativas

As alternativas (b) e (d) do enunciado original são *idênticas* — ambas dizem “I e II, somente”. Trata-se de erro de digitação do caderno de prova. Como a resposta correta é “III, somente”, a duplicação não gera ambiguidade.

Resposta

Alternativa (a) III, somente

Questão 34

Dentre as estratégias do corpo humano para manutenção do pH do sangue há um sistema tampão e também a respiração (eliminação de CO_2 no ar exalado). Avalie:

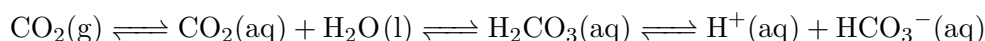
- I. desvios negativos de pH podem ser compensados pelo aumento na eliminação de CO_2 .
- II. um sistema tampão é capaz de evitar apenas o aumento do pH.
- III. a capacidade tamponante de qualquer solução tampão é limitada; assim, excesso de ácidos ou bases no sangue pode resultar em alterações de pH fora do biologicamente aceitável.

Está correto o que se afirma em:

- a) I e III, somente.
- b) I e II, somente.
- c) II e III, somente.
- d) I, II e III.
- e) I, somente.

Resolução comentada

O sistema tampão do sangue. O principal é o par bicarbonato/ácido carbônico, acoplado ao CO_2 dissolvido:



(a primeira seta é governada pelos **pulmões**; a última, pelos **rins**)

O pH normal do sangue é 7,35 a 7,45 — faixa estreitíssima, cujo rompimento é fatal.

I — Correta

“Desvio negativo de pH” significa **acidose** — pH abaixo de 7,35, isto é, excesso de H^+ . Eliminando mais CO_2 pela respiração (hiperventilação), retira-se um componente da *esquerda* da cadeia de equilíbrios. Pelo Princípio de Le Chatelier, todo o conjunto desloca-se para a esquerda, **consumindo** H^+ :



O pH sobe, compensando a acidose. É a **compensação respiratória**, e é rápida — atua em minutos, ao contrário da compensação renal, que leva horas a dias.

II — Incorreta

Erro por omissão. Um tampão resiste a variações de pH nos **dois** sentidos, porque contém simultaneamente uma espécie ácida e uma básica:

Perturbação	Quem neutraliza	Reação
Adição de ácido	a base conjugada	$\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \longrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$
Adição de base	o ácido conjugado	$\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{OH}^- \longrightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$

A afirmação restringe indevidamente a ação do tampão a um só sentido.

III — Correta

Todo tampão tem **capacidade tamponante finita** — ela é proporcional às concentrações das espécies do par:

$$\beta = 2,303 \frac{C_{\text{total}} K_a [\text{H}^+]}{(K_a + [\text{H}^+])^2}$$

Quando o ácido adicionado consome toda a base conjugada disponível, o tampão “quebra” e o pH despenca. No organismo, isso ocorre em cetoacidose diabética, acidose láctica grave ou insuficiência renal — situações em que o pH sanguíneo pode cair abaixo de 7,0, com risco de morte.

Conclusão

Corretas: **I e III**.

Por que o tampão bicarbonato é tão eficaz apesar do pKa ruim

O $\text{p}K_{a1}$ do H_2CO_3 é 6,1 — quase 1,3 unidade abaixo do pH sanguíneo. Pela teoria, um tampão é mais eficiente quando $\text{pH} \approx \text{p}K_a$, o que sugeriria baixa eficiência aqui.

O que o salva é ser um **sistema aberto**: o CO_2 é continuamente removido pelos pulmões e o HCO_3^- regulado pelos rins. Ambos os componentes podem ser ajustados independentemente pelo organismo, o que confere ao sistema uma capacidade muito superior à de um tampão fechado de mesma composição.

Resposta

Alternativa (a) I e III, somente

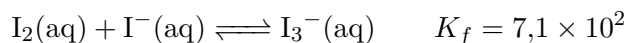
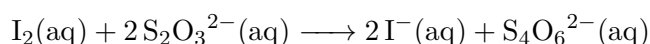
Questão 35

A solubilidade de iodo (I_2) em água é maior na presença de iodeto (I^-), pois ocorre a formação do íon triiodeto (I_3^-). Iodo pode ser reduzido a iodeto em reação com tiosulfato ($\text{S}_2\text{O}_3^{2-}/\text{S}_4\text{O}_6^{2-}$). Considerando que uma solução aquosa de iodo foi titulada com solução de tiosulfato, indique qual dos gráficos melhor representa a concentração de triiodeto ao longo da titulação. As alternativas mostram: (a) uma curva que **sobe até um máximo e depois cai a zero**; (b) decaimento exponencial desde o início; (c) queda sigmoidal; (d) crescimento em degraus.

Resolução comentada

| Passo 1 — os dois equilíbrios em jogo

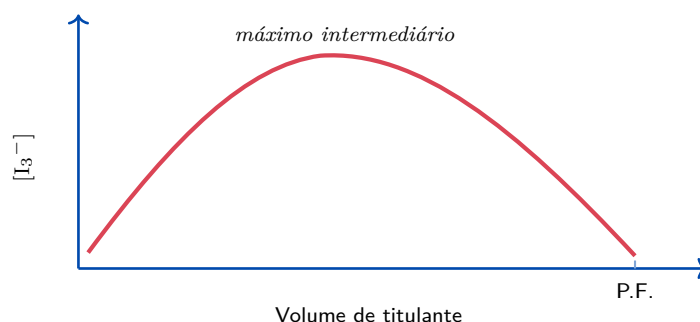
Formação do triiodeto:

Note que ela exige **ambas** as espécies — I_2 e I^- .A **titulação**:Cada gota de titulante **consome** I_2 e **produz** I^- .

| Passo 2 — o efeito combinado

Os dois reagentes do triiodeto evoluem em sentidos *opostos* ao longo da titulação:

Momento	$[\text{I}_2]$	$[\text{I}^-]$	$[\text{I}_3^-]$
Início	alta	baixa	baixa
Meio	média	média	máxima
Ponto final	zero	alta	zero

No começo, falta iodeto; no fim, falta iodo. O produto $[\text{I}_2] \times [\text{I}^-]$ — e portanto $[\text{I}_3^-]$ — passa por um **máximo intermediário**.

| Passo 3 — por que zera no ponto final

No ponto final da titulação, todo o I_2 foi consumido pelo tiossulfato. Sem I_2 , o equilíbrio de formação não tem como ocorrer:

$$[\text{I}_2] = 0 \implies [\text{I}_3^-] = K_f [\text{I}_2][\text{I}^-] = 0$$

É exatamente esse desaparecimento que se observa: o **descoloramento** da solução, que passa de castanha a incolor.

Gráfico (a) — sobe até um máximo e cai a zero

| Por que as demais falham

- (b) e (c) Mostram queda desde o início. Isso exigiria que $[\text{I}_3^-]$ fosse máxima em $V = 0$ — mas no início quase não há iodeto, e portanto quase não há triiodeto.
- (d) Mostra crescimento contínuo, o que ignoraria o consumo do I_2 .

O indicador de amido

Na prática, a iodometria usa **amido** como indicador. A amilose enrola-se em hélice ao redor de cadeias lineares de I_5^- e I_3^- , formando um complexo de **azul intenso** — visível em concentrações da ordem de $10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$.

O amido é adicionado apenas *perto* do ponto final, e não no início: em concentrações altas de iodo o complexo adsorve tanto que a liberação se torna lenta, atrasando a viragem.

Resposta

Alternativa (a)

Questão 36

Uma montagem de destilação é utilizada na produção de etanol após fermentação de uma mistura contendo açúcar. No balão **A** está a mistura fermentada; no frasco **B**, o destilado recolhido. Avalie:

- i) a temperatura de ebulição da solução A é maior que da solução B.
- ii) a densidade da solução A é menor que a de B.
- iii) a solução A apresenta menor condutividade que a solução B.

As afirmações corretas são:

- a) apenas i.
- b) apenas i e ii.
- c) apenas ii e iii.
- d) apenas iii.
- e) nenhuma das alternativas.

Resolução comentada**Identificando o conteúdo de cada frasco**

	A (balão de destilação)	B (frasco coletor)
Conteúdo	mosto fermentado	destilado
Composição	água, açúcar residual, sais, leveduras, etanol	etanol (com pouca água)

A destilação separa o componente mais volátil — o **etanol**, que ferve a 78°C — deixando para trás a fase aquosa com os solutos não voláteis.

i — Correta

$$T_e(A) \approx 100\text{ }^{\circ}\text{C ou mais} > T_e(B) \approx 78\text{ }^{\circ}\text{C}$$

A solução A é majoritariamente aquosa, e ainda contém solutos não voláteis que *elevam* sua temperatura de ebulição por efeito ebuliométrico. A solução B é essencialmente etanol. Aliás, é justamente essa diferença que torna a destilação possível.

ii — Incorreta

As densidades são:

Substância	$d / \text{g cm}^{-3}$
Água	1,00
Mosto (A)	$\approx 1,0$ ou mais (açúcar dissolvido)
Etanol (B)	0,789

$$d(A) > d(B)$$

A afirmação inverte a relação. (É por isso, aliás, que um densímetro serve para medir o teor alcoólico: quanto mais etanol, menos densa a mistura.)

iii — Incorreta

Também invertida. A condutividade elétrica depende da presença de **íons livres**:

- **A** contém sais minerais do meio de cultura, ácidos orgânicos produzidos na fermentação e íons dissolvidos — conduz razoavelmente.
- **B** é etanol praticamente puro. Etanol é molecular, não se ioniza, e sua constante dielétrica baixa ($\epsilon = 24$ contra 78 da água) sequer favorece a dissociação de eletrólitos. Condutividade praticamente nula.

$$\text{condutividade(A)} \gg \text{condutividade(B)}$$

Conclusão

Correta apenas a **i**.

O limite azeotrópico

Por mais eficiente que seja a coluna, a destilação de mistura água/etanol não ultrapassa 95,6 % (m/m) de etanol: nessa composição forma-se um **azeótropo** de mínimo, que ferve a 78,2 °C e destila sem mudar de composição.

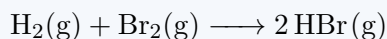
É por isso que o “álcool 96°” de farmácia tem exatamente essa concentração. Para obter álcool anidro — necessário como aditivo da gasolina — recorre-se a peneiras moleculares de zeólita ou à destilação com um terceiro componente.

Resposta

Alternativa (a) apenas i

Questão 37

A reação entre hidrogênio e bromo leva à formação de brometo de hidrogênio:



Exp.	$[\text{H}_2]_0 / \text{mmol L}^{-1}$	$[\text{Br}_2]_0 / \text{mmol L}^{-1}$	$v_0 / 10^{-5} \text{ mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$
I	1,5	3,0	2,0
II	1,5	27,0	6,0
III	4,5	3,0	6,0
IV	3,0	2,5	3,6

Mecanismo proposto: 1ª etapa: $\text{Br}_2 \longrightarrow 2 \text{Br}$; 2ª etapa: $\text{Br} + \text{H}_2 \longrightarrow \text{HBr} + \text{H}$; 3ª etapa: $\text{H} + \text{Br}_2 \longrightarrow \text{HBr} + \text{Br}$. Assinale a afirmação correta.

- A constante de velocidade é $7,6 \times 10^{-6}$.
- A partir da lei de velocidade conclui-se que a terceira etapa é a etapa lenta.
- Todas as etapas elementares no mecanismo são bimoleculares.
- A equação de velocidade é expressa por $v = k [\text{H}_2]^{1/2} [\text{Br}_2]$.
- k encontrado a partir da equação de velocidade foi 0,242.

Resolução comentada

Passo 1 — determinar as ordens

Ordem em H_2 : experimentos I e III ($[\text{Br}_2]$ constante):

$$\frac{[\text{H}_2]_{\text{III}}}{[\text{H}_2]_{\text{I}}} = \frac{4,5}{1,5} = 3 \quad \frac{v_{\text{III}}}{v_{\text{I}}} = \frac{6,0}{2,0} = 3$$

$$3 = 3^m \implies \boxed{m = 1}$$

Ordem em Br_2 : experimentos I e II ($[\text{H}_2]$ constante):

$$\frac{[\text{Br}_2]_{\text{II}}}{[\text{Br}_2]_{\text{I}}} = \frac{27,0}{3,0} = 9 \quad \frac{v_{\text{II}}}{v_{\text{I}}} = \frac{6,0}{2,0} = 3$$

$$3 = 9^n \implies 3 = 3^{2n} \implies \boxed{n = \frac{1}{2}}$$

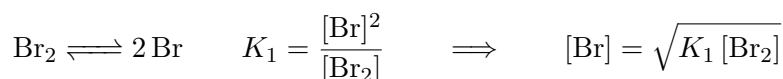
$$\boxed{v = k [\text{H}_2] [\text{Br}_2]^{1/2}}$$

Ordem **fracionária** em Br_2 — assinatura inequívoca de mecanismo em cadeia com pré-equilíbrio de dissociação.

Isso já derruba a alternativa (d), que inverte os expoentes.

Passo 2 — testar (b) e (c)

(b) — **Falsa**. A etapa determinante é a **segunda**. Demonstrando: a primeira etapa é um pré-equilíbrio rápido,



Se a etapa lenta for a segunda ($\text{Br} + \text{H}_2$):

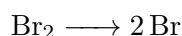
$$v = k_2 [\text{Br}] [\text{H}_2] = k_2 \sqrt{K_1} [\text{Br}_2]^{1/2} [\text{H}_2]$$

— exatamente a lei experimental ✓

É justamente o expoente $\frac{1}{2}$ que denuncia a origem: ele vem da raiz quadrada na concentração do radical Br.

Se a terceira etapa fosse a lenta, a lei envolveria $[\text{H}]$ e daria dependência diferente.

(c) — **Falsa**. Basta olhar a primeira etapa:



Um único reagente $\Rightarrow$ etapa **unimolecular**. Apenas a segunda e a terceira são bimoleculares.

Passo 3 — calcular k e decidir entre (a) e (e)

Aqui há uma armadilha de **unidades**: as concentrações estão em mmol L^{-1} , mas a velocidade em $\text{mol L}^{-1} \text{s}^{-1}$. Para coerência dimensional, tudo deve ir para mol L^{-1} .

Usando o experimento I:

$$[\text{H}_2] = 1,5 \times 10^{-3} \quad [\text{Br}_2] = 3,0 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$$

$$k = \frac{v}{[\text{H}_2][\text{Br}_2]^{1/2}} = \frac{2,0 \times 10^{-5}}{(1,5 \times 10^{-3})\sqrt{3,0 \times 10^{-3}}}$$

$$\sqrt{3,0 \times 10^{-3}} = 5,477 \times 10^{-2} \quad k = \frac{2,0 \times 10^{-5}}{(1,5 \times 10^{-3})(5,477 \times 10^{-2})} = \frac{2,0 \times 10^{-5}}{8,216 \times 10^{-5}}$$

$$k = 0,243 \approx 0,242 \text{ mol}^{-1/2} \text{ L}^{1/2} \text{ s}^{-1}$$

Verificação com o experimento IV:

$$k = \frac{3,6 \times 10^{-5}}{(3,0 \times 10^{-3})\sqrt{2,5 \times 10^{-3}}} = \frac{3,6 \times 10^{-5}}{(3,0 \times 10^{-3})(5,0 \times 10^{-2})} = \frac{3,6 \times 10^{-5}}{1,5 \times 10^{-4}} = 0,24 \quad \checkmark$$

De onde vem o distrator (a)

O valor $7,6 \times 10^{-6}$ resulta de usar as concentrações em mmol L^{-1} *sem convertê-las*, mantendo a velocidade em $\text{mol L}^{-1} \text{s}^{-1}$:

$$k = \frac{2,0 \times 10^{-5}}{(1,5)\sqrt{3,0}} = \frac{2,0 \times 10^{-5}}{2,598} = 7,7 \times 10^{-6}$$

É uma mistura incoerente de unidades — e, note, nem sequer reproduz exatamente o valor da alternativa (7,6 contra 7,7). A alternativa (e) é a única dimensionalmente consistente.

Por que a lei de velocidade completa é ainda mais complexa

A expressão $v = k[\text{H}_2][\text{Br}_2]^{1/2}$ vale apenas no *início* da reação. A lei completa, deduzida por Bodenstein e Lind em 1907, é

$$v = \frac{k [\text{H}_2][\text{Br}_2]^{1/2}}{1 + k' [\text{HBr}]/[\text{Br}_2]}$$

O termo no denominador reflete a **inibição pelo produto**: o HBr formado reage com os radicais H, competindo com o Br_2 . Por isso os dados do enunciado são de *velocidade inicial* — quando $[\text{HBr}] = 0$ e o denominador vale 1.

Este é um dos sistemas fundadores da cinética de reações em cadeia.

Resposta

Alternativa (e) $k = 0,242$

Questão 38

Uma esfera metálica de densidade igual a $7,85 \text{ g cm}^{-3}$ e insolúvel em Hg foi introduzida em um recipiente contendo mercúrio metálico, sendo que apenas parte da esfera ficou submersa. Sabendo que a densidade do Hg líquido é $13,58 \text{ g cm}^{-3}$, indique qual percentual da esfera ficou submersa.

- a) 57,8
- b) 54,7
- c) 61,3
- d) 65,8
- e) 65,3

Resolução comentada

O princípio de Arquimedes. Um corpo em equilíbrio flutuando tem seu peso equilibrado pelo empuxo, que é o peso do fluido deslocado:

$$P = E \quad \Rightarrow \quad m_{\text{esfera}} g = m_{\text{fluido deslocado}} g$$

Passo 1 — escrever as massas em função das densidades

$$d_{\text{esfera}} V_{\text{esfera}} = d_{\text{Hg}} V_{\text{submerso}}$$

Passo 2 — isolar a fração submersa

$$\frac{V_{\text{submerso}}}{V_{\text{esfera}}} = \frac{d_{\text{esfera}}}{d_{\text{Hg}}}$$

Resultado notavelmente simples: a fração submersa é a **razão das densidades** — não depende da forma nem do tamanho do corpo.

Passo 3 — substituir

$$\frac{V_{\text{submerso}}}{V_{\text{esfera}}} = \frac{7,85}{13,58} = 0,578$$

57,8 % da esfera fica submersa

Por que o mercúrio faz o ferro flutuar

Com $d = 7,85 \text{ g cm}^{-3}$, a esfera é quase certamente de **ferro** ou aço. A imagem é contraintuitiva — uma bola de ferro *flutuando* —, mas o mercúrio é 73 % mais denso que ela.

O mercúrio tem densidade tão alta (13,58) que faz flutuar quase todos os metais comuns: alumínio (2,70), zinco (7,14), ferro (7,85), cobre (8,96) e até o chumbo (11,34, que afundaria apenas 84 %). Só os metais realmente pesados — ouro (19,3), platina (21,5), tungstênio (19,3) — afundam.

Vale notar ainda que a maioria dos metais é *solúvel* em mercúrio, formando amálgamas — daí a ressalva do enunciado de que a esfera é insolúvel. O ferro é justamente uma das poucas exceções, razão pela qual o mercúrio foi historicamente transportado em recipientes de ferro.

Resposta

Alternativa (a) 57,8 %

Questão 39

Nas Olimpíadas do Japão, as medalhas foram feitas a partir da reciclagem de lixo eletrônico e têm as seguintes características:

Tipo	Diâmetro	Massa	Composição
Ouro	85 mm	556 g	550 g de prata, 6 g de ouro
Prata	85 mm	550 g	550 g de prata
Bronze	85 mm	450 g	latão vermelho (95 % de cobre e 5 % de zinco)

Dados: $d(\text{Au}) = 19,3$; $d(\text{Ag}) = 10,49$; $d(\text{Cu}) = 8,96$; $d(\text{Zn}) = 7,13 \text{ g cm}^{-3}$. Indique a alternativa que corresponde ao **volume** (em cm^3) da medalha de prata e à quantidade de substância dos metais em cada medalha:

- a) volume = 52,43; $n_{\text{Au}} = 0,03$; $n_{\text{Ag}} = 5,10$; $n_{\text{Cu}} = 6,73$; $n_{\text{Zn}} = 0,34$.
- b) volume = 52,43; $n_{\text{Au}} = 0,10$; $n_{\text{Ag}} = 2,10$; $n_{\text{Cu}} = 2,73$; $n_{\text{Zn}} = 0,14$.
- c) volume = 22,43; $n_{\text{Au}} = 0,03$; $n_{\text{Ag}} = 8,10$; $n_{\text{Cu}} = 2,73$; $n_{\text{Zn}} = 0,34$.
- d) volume = 12,43; $n_{\text{Au}} = 0,08$; $n_{\text{Ag}} = 5,10$; $n_{\text{Cu}} = 6,73$; $n_{\text{Zn}} = 0,14$.
- e) volume = 22,43; $n_{\text{Au}} = 0,08$; $n_{\text{Ag}} = 2,10$; $n_{\text{Cu}} = 4,73$; $n_{\text{Zn}} = 0,34$.

Resolução comentada**Passo 1 — volume da medalha de prata**

A medalha de prata é constituída *apenas* de prata, o que torna o cálculo direto:

$$V = \frac{m}{d} = \frac{550 \text{ g}}{10,49 \text{ g cm}^{-3}}$$

$$V = 52,43 \text{ cm}^3$$

Isso já elimina (c), (d) e (e). Restam (a) e (b), que diferem nas quantidades de matéria.

Observação: o diâmetro de 85 mm é dado supérfluo. Ele permitiria estimar a espessura ($\approx 9,2$ mm, considerando a medalha um cilindro), mas não é necessário para o volume, que sai da massa e da densidade.

Passo 2 — quantidades de matéria

Ouro (na medalha de ouro):

$$n(\text{Au}) = \frac{6 \text{ g}}{197,0 \text{ g mol}^{-1}} = 0,0305 \approx \mathbf{0,03 \text{ mol}}$$

Prata (na medalha de prata):

$$n(\text{Ag}) = \frac{550 \text{ g}}{107,9 \text{ g mol}^{-1}} = 5,098 \approx \mathbf{5,10 \text{ mol}}$$

Cobre (na medalha de bronze — 95 % de 450 g):

$$m(\text{Cu}) = 0,95 \times 450 = 427,5 \text{ g}$$

$$n(\text{Cu}) = \frac{427,5}{63,55} = 6,727 \approx \mathbf{6,73 \text{ mol}}$$

Zinco (5 % de 450 g):

$$m(\text{Zn}) = 0,05 \times 450 = 22,5 \text{ g}$$

$$n(\text{Zn}) = \frac{22,5}{65,38} = 0,344 \approx \mathbf{0,34 \text{ mol}}$$

Metal	Massa / g	$M / \text{g mol}^{-1}$	n / mol
Au	6	197,0	0,03
Ag	550	107,9	5,10
Cu	427,5	63,55	6,73
Zn	22,5	65,38	0,34

Todos os quatro valores conferem com a alternativa (a).

A medalha de ouro quase não tem ouro

Os 6 g de ouro representam 1,1 % da massa da medalha — o resto é prata banhada. É a regra olímpica desde 1912: a medalha de ouro deve conter *no mínimo* 6 g de ouro puro, e as organizações raramente excedem esse mínimo.

Em quantidade de matéria a desproporção é ainda maior: 0,03 mol de ouro contra 5,10 mol de prata — cerca de 170 vezes mais átomos de prata.

Sobre a reciclagem: as medalhas de Tóquio 2020 foram integralmente produzidas a partir de 78,9 toneladas de eletrônicos descartados — cerca de 6,2 milhões de celulares —, dos quais se extraíram 32 kg de ouro, 3500 kg de prata e 2200 kg de bronze. É *mineração urbana*: a concentração de ouro numa placa de circuito supera a de muitos minérios naturais.

Resposta

Alternativa (a)

Questão 40

De uma solução que contém $0,200 \text{ mol L}^{-1}$ de um ácido diprótico H_2A foi retirada uma alíquota de $25,00 \text{ mL}$, transferida para um balão volumétrico de $100,00 \text{ mL}$ e o menisco ajustado com água destilada. Considerando-se $K_{a1} = 2,9 \times 10^{-6}$ e $K_{a2} = 6,7 \times 10^{-9}$, calcule o pH da solução final.

- a) 3,42
- b) 6,24
- c) 4,83
- d) 3,24
- e) 4,38

Resolução comentada

Passo 1 — a concentração após a diluição

$$C_1 V_1 = C_2 V_2 \implies C_2 = \frac{(0,200 \text{ mol L}^{-1})(25,00 \text{ mL})}{100,00 \text{ mL}}$$

$$C_2 = 0,0500 \text{ mol L}^{-1}$$

Diluição de 4 vezes, como esperado de $25 \rightarrow 100 \text{ mL}$.

Passo 2 — a simplificação decisiva

Comparando as duas constantes:

$$\frac{K_{a1}}{K_{a2}} = \frac{2,9 \times 10^{-6}}{6,7 \times 10^{-9}} = 433$$

A primeira ionização é mais de **quatrocentas vezes** mais forte que a segunda. Além disso, os H^+ liberados na primeira etapa suprimem a segunda pelo efeito do íon comum.

Conclusão: a contribuição da segunda ionização para $[\text{H}^+]$ é **desprezível**, e o ácido pode ser tratado como **monoprótico fraco**.

Passo 3 — o equilíbrio da primeira ionização



	H_2A	H^+	HA^-
Início	0,0500	0	0
Equilíbrio	$0,0500 - x$	x	x

$$K_{a1} = \frac{x^2}{0,0500 - x} = 2,9 \times 10^{-6}$$

Passo 4 — resolver com a aproximação

Como K_{a1} é pequeno, espera-se $x \lll 0,0500$:

$$x \approx \sqrt{K_{a1}C} = \sqrt{(2,9 \times 10^{-6})(0,0500)} = \sqrt{1,45 \times 10^{-7}}$$

$$x = [\text{H}^+] = 3,81 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$$

Validando a aproximação: $x/C = 3,81 \times 10^{-4}/0,0500 = 0,76\%$ — bem abaixo do limite usual de 5% ✓

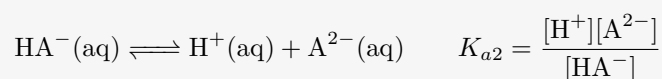
Passo 5 — o pH

$$\text{pH} = -\log(3,81 \times 10^{-4}) = 4 - \log 3,81 = 4 - 0,581$$

$$\text{pH} = 3,42$$

Conferindo que a segunda ionização é mesmo desprezível

Vale verificar. No equilíbrio da segunda etapa,



Como $[\text{H}^+] \approx [\text{HA}^-]$ (ambos vêm da primeira ionização), esses termos se cancelam e resulta

$$[\text{A}^{2-}] \approx K_{a2} = 6,7 \times 10^{-9} \text{ mol L}^{-1}$$

Esse é o acréscimo de H^+ vindo da segunda ionização: cinco ordens de grandeza abaixo dos $3,8 \times 10^{-4}$ da primeira. Desprezível, como antecipado.

Os distratores. O valor (d) 3,24 é o mesmo 3,42 com os algarismos trocados; (c) 4,83 resulta de esquecer a diluição e inverter a raiz; (b) 6,24 vem de usar $\text{p}K_{a1}$ diretamente como pH, sem resolver o equilíbrio.

Resposta

Alternativa (a) pH = 3,42