



## G A B A R I T O

### QUESTÕES DE MULTIPLA ESCOLHA

Questão	Alternativa
1	<b>d</b>
2	<b>c</b>
3	<b>a</b>
4	<b>e</b>
5	<b>c</b>
6	<b>b</b>
7	<b>d</b>
8	<b>a</b>
9	<b>a</b>
10	<b>b</b>
11	<b>e</b>
12	<b>b</b>
13	<b>e</b>
14	<b>d</b>
15	<b>c</b>

### PARTE II – QUESTÕES ANALÍTICO-EXPOSITIVAS

QUESTÃO 16. O carbeto de cálcio ( $\text{CaC}_2$ ) é um material sólido usado na indústria para a produção de acetileno. Sobre essas substâncias, as reações químicas e as transformações correlacionadas, analise e responda aos itens a seguir.

- a) **Escreva** a equação química que representa a entalpia de formação molar padrão do  $\text{CaC}_2$ .

**Resposta:**



- b) Considerando as equações termoquímicas apresentadas na tabela a seguir, **calcule** o valor da entalpia de formação molar padrão do  $\text{CaC}_2$ .

Equação Termoquímica	$\Delta_f H^\theta / \text{kJ}$
$\text{Ca(s)} + 2 \text{ H}_2\text{O(l)} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2\text{(s)} + \text{H}_2\text{(g)}$	-414,8
$2 \text{ C(grafite)} + \text{O}_2\text{(g)} \rightarrow 2 \text{ CO(g)}$	-221,0
$\text{CaO(s)} + \text{H}_2\text{O(l)} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2\text{(s)}$	-65,19
$2 \text{ H}_2\text{(g)} + \text{O}_2\text{(g)} \rightarrow 2 \text{ H}_2\text{O(l)}$	-571,8
$\text{CaO(s)} + 3 \text{ C(grafite)} \rightarrow \text{CaC}_2\text{(s)} + \text{CO(g)}$	+462,3

**Resposta:**

Resolução aplicando a Lei de Hess.

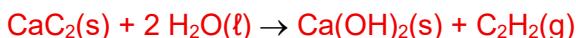


Olimpíada Brasileira de Química – 2025    Modalidade  
OBQ 2025 – Fase III – Exame Nacional    A

$\text{CaO(s)} + 3 \text{C(grafite)} \rightarrow \text{CaC}_2(\text{s}) + \text{CO(g)}$	$\Delta_f H^\circ = + 462,3 \text{ kJ}$
$\text{CO(g)} \rightarrow \text{C(grafite)} + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g})$	$\Delta_f H^\circ = + 110,5 \text{ kJ}$
$\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2\text{O(l)}$	$\Delta_f H^\circ = - 285,9 \text{ kJ}$
$\text{Ca(s)} + 2 \text{H}_2\text{O(l)} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2(\text{s}) + \text{H}_2(\text{g})$	$\Delta_f H^\circ = - 414,8 \text{ kJ}$
$\text{Ca(OH)}_2(\text{s}) \rightarrow \text{CaO(s)} + \text{H}_2\text{O(l)}$	$\Delta_f H^\circ = + 65,19 \text{ kJ}$
$\text{Ca(s)} + 2 \text{C(grafite)} \rightarrow \text{CaC}_2(\text{s})$	$\Delta_f H^\circ = - 62,71 \text{ kJ mol}^{-1}$

- c) Na produção do acetileno, o  $\text{CaC}_2$  sólido reage com água líquida para gerar hidróxido de cálcio sólido e o gás acetileno ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ). **Escreva** a equação química balanceada, com os menores coeficientes estequiométricos inteiros, que representa esse processo.

Resposta:



- d) Considerando sua resposta para o item (b) e os dados contidos na tabela a seguir, **calcule** a variação de entalpia para a reação de produção do acetileno. **Indique** se o processo é endotérmico ou exotérmico.

Substância	$\Delta_f H^\circ (\text{kJ mol}^{-1})$
$\text{H}_2\text{O(l)}$	-285,8
$\text{Ca(OH)}_2(\text{s})$	-985,2
$\text{C}_2\text{H}_2(\text{g})$	+227,4

Resposta:

Resolução aplicando a Lei de Hess.

$$\Delta H^\circ = [(-985,2) + (227,4)] - [(-62,71) + 2 \times (-285,80)] = - 123,49 \text{ kJ}$$

A reação é EXOTÉRMICA.

- e) Considerando os dados contidos na tabela a seguir, **calcule** a variação da energia de Gibbs da reação de produção do acetileno e **classifique** em espontânea ou não espontânea, **justificando a classificação** e considerando que ela ocorra à temperatura de 25,0 °C.

Substância	$S^\circ (\text{J mol}^{-1} \text{ K}^{-1})$
$\text{H}_2\text{O(l)}$	+70,0
$\text{Ca(OH)}_2(\text{s})$	+83,4
$\text{C}_2\text{H}_2(\text{g})$	+200,9
$\text{CaC}_2(\text{s})$	+70,0

Dados:  $\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ$  e  $T(\text{K}) = \theta(\text{°C}) + 273,15$ .

Resposta:

$$\Delta S^\circ = [(83,4) + (200,9)] - [(70,0) + 2 \times (70,0)] = + 74,3 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

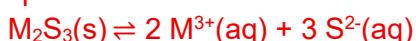
$$\Delta G^\circ = - 123,49 \times 10^3 \text{ J} - (298,15) \times (74,3) = - 145,64 \text{ kJ}$$

A reação é espontânea à temperatura de 25 °C porque o valor da variação da energia de Gibbs é negativa.

QUESTÃO 17. Um sulfeto com fórmula  $\text{M}_2\text{S}_3$  foi dissolvido em água; 1,0 L do solvente dissolveu  $1,36 \times 10^{-20}$  mol, correspondendo a 6,993 attogramas ( $10^{-18}$  g), uma das menores massas já medidas. Com base nesses dados, responda aos itens seguintes.

- a) **Escreva** a expressão de  $K_{ps}$  para o sulfeto.

Resposta:



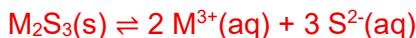


Olimpíada Brasileira de Química – 2025      Modalidade  
OBQ 2025 – Fase III – Exame Nacional      A

$$K_{ps} = [M^{3+}]^2 \times [S^{2-}]^3$$

- b) Calcule o valor de  $K_{ps}$  do sulfeto.

Resposta:



$$K_{ps} = [M^{3+}]^2 \times [S^{2-}]^3$$

Se são dissolvidos  $1,36 \times 10^{-20}$  mol,

$$[M^{3+}] = 2 \times 1,36 \times 10^{-20} = 2,72 \times 10^{-20} \text{ mol L}^{-1}, \text{ e } [S^{2-}] = 3 \times 1,36 \times 10^{-20} = 4,08 \times 10^{-20} \text{ mol L}^{-1}$$

$$K_{ps} = [2,72 \times 10^{-20}]^2 \times [4,08 \times 10^{-20}]^3 = 5,025 \times 10^{-98}$$

- c) Determine a massa atômica unificada do elemento M. Indique qual elemento seria esse na tabela periódica.

Resposta:

$$\begin{array}{ccc} 1,36 \times 10^{-20} \text{ mol} & & 6,993 \times 10^{-18} \text{ g} \\ 1 \text{ mol} & & X \end{array}$$

$$X = (6,993 \times 10^{-18}) / (1,36 \times 10^{-20}) = 514,19 \text{ g}$$

Pela estequiométrica do sulfeto,  $514,19 = 3 \times 32,06 + 2 \times$  massa molar de M

$$\text{Massa molar de M} = (514,19 - 96,18) / 2 = 209,005 \text{ g mol}^{-1}$$

Ao consultar a tabela, o elemento cuja massa molar mais se aproxima (209) é o bismuto (Bi).

- d) Quantos litros de água são necessários para dissolver uma molécula de  $M_2S_3$ ?

Resposta:

$$\begin{array}{ccc} 1 \text{ mol} & & 6,023 \times 10^{23} \text{ moléculas de } M_2S_3, \\ 1,36 \times 10^{-20} \text{ mol} & & X \end{array}$$

$$X = 6,023 \times 10^{23} \times 1,36 \times 10^{-20} = 8,193 \times 10^3 \text{ moléculas de } M_2S_3 \text{ dissolvidas em 1 L (1000 mL) de água.}$$

$$\begin{array}{ccc} 8,193 \times 10^3 \text{ moléculas} & & 1 \text{ L (1000 mL) de água} \\ 1 \text{ molécula} & & Y \end{array}$$

$$Y = 1 / 8,193 \times 10^3 = 1,22 \times 10^{-4} \text{ L ou } 0,122 \text{ mL de água}$$

- e) Qual é a natureza da ligação entre os elementos M e S? Justifique sua resposta. Para isso considere que os valores de eletronegatividade de Pauling para os elementos M e S são 1,9 e 2,5, respectivamente.

Resposta:

O bismuto é um metal do grupo 15 da tabela periódica e o enxofre pertence ao grupo seguinte (16), sendo um não metal. A ligação química é predominantemente de caráter covalente. Isso ocorre porque a diferença de eletronegatividade não é muito grande ( $\Delta\chi = 0,6$ ). Isso é refletido na solubilidade desse sal em água, que é muito baixa.

QUESTÃO 18. Em 5 de abril de 1913, Niels Bohr apresentou à comunidade científica mundial o artigo que levaria as discussões sobre a estrutura da matéria para um nível além das fronteiras da Física: "On the Constitution of Atoms and Molecules" (Bohr, N.; Phil. Mag., 26, 1-25, 1913). Bohr propôs que o elétron, em uma dada órbita no átomo, deveria assumir um estado energético ( $E_n$ ) fixo e que se relacionaria com o número inteiro  $n$  associado à sua órbita original. Ao fornecer uma quantidade de energia específica, o elétron absorveria essa energia e assumiria um novo estado energético  $E_{(n+1)}$ , passando para uma nova órbita, mais externa, associada ao número inteiro  $(n+1)$ . Ao retornar para a sua órbita original, o elétron emitiria a energia, a ele anteriormente fornecida, na



Olimpíada Brasileira de Química – 2025    Modalidade  
OBQ 2025 – Fase III – Exame Nacional              A

forma de radiação eletromagnética, o **famoso modelo do salto quântico**. Sabendo que o estado energético, para o elétron no  $i$ -ésimo nível energético, em um sistema hidrogenoide, é dado por  $E_i = -13,6 \left(\frac{Z}{n}\right)^2 \text{ eV}$  (em que  $Z$  é o número atômico do átomo e  $n$  o nível energético no qual o elétron se encontra), responda às perguntas a seguir.

- a) Qual estado energético um elétron assumiria, segundo esse modelo, se estivesse no nível de valência do átomo de hidrogênio?

**Resposta:**

Conforme apresentado na questão, se  $n=1$  e  $Z=1$ ,  $E_1 = -13,6 \left(\frac{1}{1}\right)^2 \text{ eV} \therefore E_1 = -13,6 \text{ eV}$ .

- b) Considerando o modelo apresentado, **escreva** a expressão matemática que deve ser usada para calcular a energia de ionização de um átomo. **Explicita** claramente o raciocínio usado para chegar à sua resposta.

**Resposta:**

De acordo com o modelo, se a excitação ocorrer de um  $i$ -ésimo ( $n_i$ ) nível para um  $j$ -ésimo ( $n_j$ ) nível, teremos:

$$E_j - E_i = \Delta E_{i \rightarrow j} = -13,6 \left(\frac{Z}{n_j}\right)^2 - \left[-13,6 \left(\frac{Z}{n_i}\right)^2\right]$$

ou seja

$$\Delta E_{i \rightarrow j} = 13,6 \times Z^2 \times \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_j^2}\right)$$

Assim, se estivermos tratando da ionização de um átomo,  $n_j$  assume valores muito grandes, de modo que

$$\Delta E_{i \rightarrow j} = E_{ion} = 13,6 \left(\frac{Z}{n_i}\right)^2 \text{ eV}$$

- c) Com base na descrição apresentada no item anterior, quanto de energia precisaríamos fornecer para ionizar o átomo de hidrogênio?

**Resposta:**

Aplicando a equação  $E_{ion} = 13,6 \left(\frac{Z}{n_i}\right)^2 \text{ eV}$ , onde  $Z=1$  e  $n_i = 1$ , então  $E_{ion} = 13,6 \text{ eV}$ .

- d) Qual seria a energia envolvida em uma excitação eletrônica, para o elétron no átomo de hidrogênio, de 1s para 2s?

**Resposta:**

No problema, notamos que se trata de uma excitação entre os subníveis 1s ( $n=1$ ) e 2s ( $n=2$ ) no átomo de hidrogênio ( $Z=1$ ), logo

$$\Delta E_{1 \rightarrow 2} = 13,6 \times (1)^2 \times \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}\right) \text{ eV} = 10,2 \text{ eV}$$

Ou seja, a energia envolvida na excitação do elétron, entre os estados descritos, seria de 10,2 eV.

- e) Considerando o modelo apresentado e o mesmo valor de  $n$  (mesma órbita), qual é a correlação existente entre  $Z$  e o estado de energia de um elétron em um átomo?

**Resposta:**

A energia do elétron no átomo é proporcional, em segunda ordem, a  $Z$ , de modo que



Olimpíada Brasileira de Química – 2025      Modalidade  
OBQ 2025 – Fase III – Exame Nacional      A

$$E_i = -13,6 \left(\frac{Z}{n}\right)^2 \text{ eV}$$

Se assumirmos o mesmo valor de  $n$ , então quanto maior  $Z$ , mais estável o elétron estará no átomo.

**QUESTÃO 19.** A descoberta do háfnio (o nome háfnio vem do nome latino de Copenague, Hafnia), elemento número 72, deu origem a um episódio polêmico na história da química. Em 1911, G. Urbain, um químico francês, afirmou ter isolado o elemento número 72 de uma amostra de substâncias contendo terras raras (elementos 58-71). No entanto, Niels Bohr pensou que o háfnio seria mais provável de ser encontrado junto com o zircônio do que com as terras raras. D. Coster e G. Von Hevesy, que trabalharam no laboratório de Bohr em Copenhague, mostraram em 1922 que o elemento 72 estava presente em uma amostra de zircão noruego, um minério de zircônio. Considerando as informações apresentadas, responda aos itens seguintes.

- a) Como você usaria argumentos de configuração eletrônica para justificar a previsão de Bohr?

**Resposta:**

A previsão de Niels Bohr se baseou na estrutura da Tabela Periódica e nas configurações eletrônicas dos elementos.

- ✓ O zircônio (Zr) tem número atômico 40 e configuração  $[Kr] 4d^2 5s^2$ .
- ✓ Esperava-se que o elemento 72, o háfnio (Hf), fosse o homólogo do Zr, no mesmo grupo 4 (4B antigo). Assim, sua configuração eletrônica seria  $[Xe] 4f^{14} 5d^2 6s^2$ .

Apesar de o háfnio ter orbitais f preenchidos (por estar logo após os lantanídeos), sua camada de valência é análoga à do zircônio: dois elétrons no subnível d, pertencendo ao mesmo grupo. Portanto, Bohr previu corretamente que o Hf estaria quimicamente mais próximo do zircônio do que das terras raras, por compartilhar propriedades químicas semelhantes (mesma configuração externa).

- b) O zircônio, um vizinho do háfnio no grupo 4, pode ser produzido na forma metálica por redução de  $\text{ZrCl}_4$  sólido com sódio metálico fundido. **Escreva** uma equação química, com os menores coeficientes estequiométricos inteiros, para a reação descrita. Essa reação é classificada como de oxidação-redução? Em caso afirmativo, o que oxida e o que reduz?

**Resposta:**

A equação balanceada da reação entre tetracloreto de zircônio ( $\text{ZrCl}_4$ ) e sódio metálico (Na) é:  
$$\text{ZrCl}_4(s) + 4\text{Na}(s) \rightarrow \text{Zr}(s) + 4 \text{NaCl}(s)$$

Sim, é uma reação de oxidação-redução, pois:

- ✓ O  $\text{Zr}^{4+}$  é reduzido a  $\text{Zr}^0$  (ganha elétrons)
- ✓ O  $\text{Na}^0$  é oxidado a  $\text{Na}^+$  (perde elétrons)

- c) O dióxido de zircônio sólido,  $\text{ZrO}_2(s)$ , reage com o cloro gasoso na presença de carbono. Os produtos da reação são  $\text{ZrCl}_4$  e dois gases,  $\text{CO}_2$  e CO na proporção de 1:2. **Escreva** uma equação química balanceada para a reação, com os menores coeficientes estequiométricos inteiros da equação.

**Resposta:**

Sabemos que os produtos:  $\text{ZrCl}_4$ ,  $\text{CO}_2$  e CO, sendo os gases na proporção de 1:2. Então a reação é:



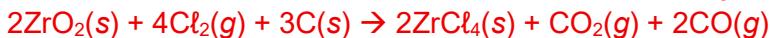
O balanceamento estequiométrico da reação, resulta em:





Olimpíada Brasileira de Química – 2025      Modalidade  
OBQ 2025 – Fase III – Exame Nacional      A

Para obter o balanceamento com os menores números inteiros da equação, multiplica-se por 2:



- d) A partir de uma amostra de 55,4 g de  $\text{ZrO}_2$ , calcule a massa de  $\text{ZrCl}_4$  que é formada, assumindo que  $\text{ZrO}_2$  é o reagente limitante e que o rendimento é de 100 %.

Resposta:

- ✓ Massa de  $\text{ZrO}_2$ ,  $m(\text{ZrO}_2) = 55,4$  g
- ✓ Massa molar do  $\text{ZrO}_2$ ,  $M(\text{ZrO}_2) = 123,22$  g mol $^{-1}$
- ✓ Massa molar do  $\text{ZrCl}_4$ ,  $M(\text{ZrCl}_4) = 233,04$  g mol $^{-1}$

$$2 \text{ mols de ZrO}_2 \equiv 2 \text{ mols de ZrCl}_4$$

$$\frac{m(\text{ZrO}_2)}{M(\text{ZrO}_2)} = \frac{m(\text{ZrCl}_4)}{M(\text{ZrCl}_4)}$$

$$m(\text{ZrCl}_4) = m(\text{ZrO}_2) \times \frac{M(\text{ZrCl}_4)}{M(\text{ZrO}_2)} = (55,4 \text{ g}) \times \frac{233,04 \text{ g mol}^{-1}}{123,22 \text{ g mol}^{-1}}$$
$$m(\text{ZrCl}_4) \approx 104,9 \text{ g}$$

- e) Com base em suas configurações eletrônicas, explique o fato de que Zr e Hf formarem cloreto de fórmula geral  $\text{MCl}_4$  e óxidos de fórmula geral  $\text{MO}_2$ .

Resposta:

Para a formação de  $\text{MCl}_4$  e  $\text{MO}_2$  para Zr e Hf, vejamos algumas características de ambos:

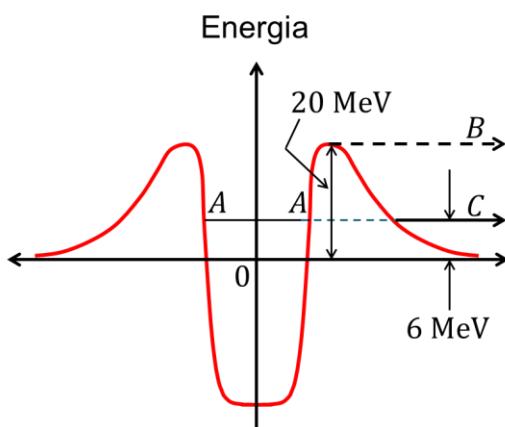
- ✓ Estão no grupo 4 da Tabela Periódica.
- ✓ Têm configuração de valência  $ns^2(n-1)d^2$ .
- ✓ Portanto, podem atingir o estado de oxidação +4, comum para esse grupo.

Então ao formar cloreto  $\text{MCl}_4$ , perdem 4 elétrons (formam  $\text{M}^{4+}$ ), cada um ligado a 4 íon cloreto,  $\text{Cl}^-$ .

E ao formar óxido  $\text{MO}_2$ , o estado de oxidação +4 é compensado por dois íons oxigênio,  $\text{O}^{2-}$ .

Logo, a semelhança nas configurações eletrônicas externas explica por que ambos formam compostos com o mesmo número de oxidação e estequiometria.

**Questão 20.** Os núcleos atômicos são constituídos por núcleons, os prótons e os nêutrons, comprimidos em um pequeno volume. Apesar das imensas forças repulsivas que existem entre os prótons, os nêutrons contribuem para a estabilidade nuclear por meio da força nuclear intensa que une os núcleons. No entanto, em alguns casos as forças de repulsão superam essa força intensa, ocorrendo a ejeção de fragmentos dos núcleos, processo chamado de decaimento nuclear ou decaimento radioativo. Um exemplo de decaimento radioativo é a emissão de partículas alfa ( $\alpha$ ), cujo diagrama de energia é mostrado a seguir.





Olimpíada Brasileira de Química – 2025      Modalidade  
OBQ 2025 – Fase III – Exame Nacional      A

Diagrama de energia para emissão de partículas  $\alpha$ . O nível **A** representa a energia da partícula  $\alpha$  no núcleo; O nível **B** representa a energia cinética que a partícula  $\alpha$  teria se tivesse superado a barreira coulômbica; o nível **C** representa a energia cinética média de uma partícula  $\alpha$  emitida do núcleo. Adaptado de: Mahan, B. M., Myers, R. J. **Química: um curso universitário**. São Paulo: Edgard Blücher, 1995, p.509.

Considere algumas reações nucleares de decaimento, representadas pelas equações nucleares numeradas de I a V e responda às perguntas indicadas a seguir.

- I.  $^{29}_{15}\text{P} \rightarrow ^{29}_{14}\text{Si} + \text{e}^+$
- II.  $^{59}_{27}\text{Co} + \text{n} \rightarrow ^{60}_{27}\text{Co}$
- III.  $^{41}_{20}\text{Ca} + \text{e}^- \rightarrow ^{41}_{27}\text{K}$
- IV.  $^{14}_{6}\text{C} \rightarrow ^{14}_{7}\text{N} + \text{e}^-$
- V.  $^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow ^{222}_{86}\text{Rn} + \alpha$

a) Qual o nome das partículas nucleares representadas nas equações I e II?

**Resposta:**

$\text{e}^+$  ⇒ pósitron

$\text{n}$  ⇒ neutron

b) Como se chama a reação nuclear representada pela equação III?

**Resposta:**

Captura de elétron.

c) Como explicar a emissão de um elétron do núcleo atômico, como representado na equação IV, considerando que no núcleo não há elétrons?

**Resposta:**

O processo de decaimento  $\beta$  pode ser interpretado como uma transformação de um nêutron em um próton, que permanece no núcleo, e um elétron, que é emitido, aumentando o número atômico em uma unidade e o mantendo o número de massa.

d) **Escreva** as partículas nucleares representadas nas equações I, II, III e V em ordem crescente de grau de penetração.

**Resposta:**

Ordem crescente de poder de penetração:  $\alpha^4 < \text{e}^- \approx \text{e}^+ < \text{n}$

e) Observa-se experimentalmente que em um decaimento  $\alpha$ , as partículas emitidas têm energia entre 3 e 9 MeV, porém a barreira coulômbica para uma partícula  $\alpha$  ser emitida do núcleo é de 20 MeV. **Explique** como ocorre a emissão dessas partículas mesmo com a discrepância energética.

**Resposta:**

Podemos remover essa discrepância por meio da descrição do comportamento da partícula em termos de mecânica quântica. A partícula comporta-se como se pudesse “tunelar” através da barreira coulômbica com um nível energia menor que 20 Mev. A análise matemática desse fenômeno de tunelamento leva à previsão de que quanto mais estreita for a barreira de energia potencial, mais provável e frequente será a emissão de partículas.