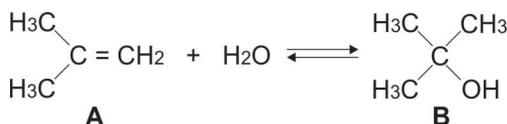


**Exercícios Dissertativos**

1. (2000) Considere o equilíbrio:



- (a) Calcule, usando as energias de ligação, o valor do  $\Delta H$  da reação de formação de 1 mol de **B**, a partir de **A**.
- (b) **B** é obtido pela reação de **A** com ácido sulfúrico diluído à temperatura ambiente, enquanto **A** é obtido a partir de **B**, utilizando-se ácido sulfúrico concentrado a quente. Considerando as substâncias envolvidas no equilíbrio e o sinal do  $\Delta H$ , obtido no item a, justifique a diferença nas condições empregadas quando se quer obter **A** a partir de **B** e **B** a partir de **A**.

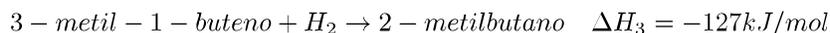
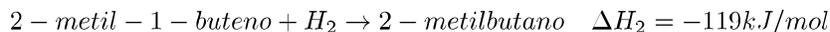
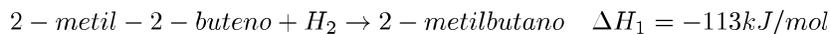
**Dados:**

Ligação	Energia (kJ/mol)
$(\text{CH}_3)_3\text{C} - \text{OH}$	389
$\text{HO} - \text{H}$	497
$(\text{CH}_3)_2\text{C}(\text{OH})\text{CH}_2 - \text{H}$	410
$\text{C} = \text{C}$ (transformação de ligação dupla em simples)	267

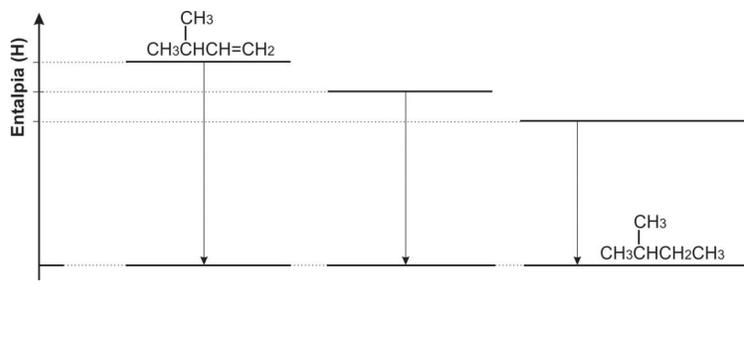
2. (2001) Passando acetileno por um tubo de ferro, fortemente aquecido, forma-se benzeno (um trímico do acetileno). Pode-se calcular a variação de entalpia dessa transformação, conhecendo-se as entalpias de combustão completa de acetileno e benzeno gasosos, dando produtos gasosos. Essas entalpias são, respectivamente,  $-1256 \text{ kJ/mol}$  de  $\text{C}_2\text{H}_2$  e  $-3168 \text{ kJ/mol}$  de  $\text{C}_6\text{H}_6$ .

- (a) Calcule a variação de entalpia, por mol de benzeno, para a transformação de acetileno em benzeno ( $\Delta H_1$ ).  
O diagrama ao lado mostra as entalpias do benzeno e de seus produtos de combustão, bem como o calor liberado na combustão ( $\Delta H_2$ ).
- (b) Complete o diagrama ao lado para a transformação de acetileno em benzeno, considerando o calor envolvido nesse processo ( $\Delta H_1$ ).  
Um outro trímico do acetileno é o 1,5-hexadiino. Entretanto, sua formação, a partir do acetileno, não é favorecida. Em módulo, o calor liberado nessa transformação é menor do que o envolvido na formação do benzeno.
- (c) No mesmo diagrama, indique onde se localizaria, aproximadamente, a entalpia do 1,5-hexadiino.
- (d) Indique, no mesmo diagrama, a entalpia de combustão completa ( $\Delta H_3$ ) do 1,5-hexadiino gasoso, produzindo  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$  gasosos. A entalpia de combustão do 1,5-hexadiino, em módulo e por mol de reagente, é maior ou menor do que a entalpia de combustão do benzeno?

3. (2003) O 2-metilbutano pode ser obtido pela hidrogenação catalítica, em fase gasosa, de qualquer dos seguintes alcenos isoméricos:



- (a) Complete o esquema da página ao lado com a fórmula estrutural de cada um dos alcenos que faltam. Além disso, ao lado de cada seta, coloque o respectivo  $\Delta H$  de hidrogenação.
- (b) Represente, em uma única equação e usando fórmulas moleculares, as reações de combustão completa dos três alcenos isoméricos.
- (c) A combustão total de cada um desses alcenos também leva a uma variação negativa de entalpia. Essa variação é igual para esses três alcenos? Explique.



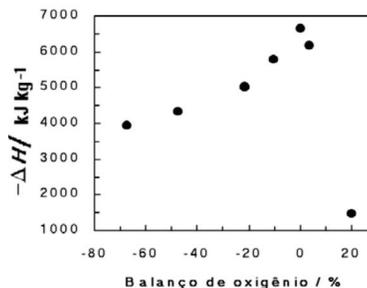
4. (2004) O Veículo Lançador de Satélites brasileiro emprega, em seus propulsores, uma mistura de perclorato de amônio sólido ( $NH_4ClO_4$ ) e alumínio em pó, junto com um polímero, para formar um combustível sólido.

- (a) Na decomposição térmica do perclorato de amônio, na ausência de alumínio, formam-se quatro produtos. Um deles é a água e os outros três são substâncias simples diatômicas, duas das quais são componentes naturais do ar atmosférico. Escreva a equação balanceada que representa essa decomposição.
- (b) Quando se dá a ignição do combustível sólido, todo o oxigênio liberado na decomposição térmica do perclorato de amônio reage com o alumínio, produzindo óxido de alumínio ( $Al_2O_3$ ). Escreva a equação balanceada representativa das transformações que ocorrem pela ignição do combustível sólido.
- (c) Para uma mesma quantidade de  $NH_4ClO_4$ , haverá uma diferença de calor liberado se sua decomposição for efetuada na presença ou na ausência de alumínio. Quanto calor a mais será liberado se 2 mols  $NH_4ClO_4$  de forem decompostos na presença de alumínio? Mostre o cálculo.

Dado: Calor de formação do óxido de alumínio =  $-1,68 \times 10^3$  kJ/mol.

5. (2005)

Define-se balanço de oxigênio de um explosivo, expresso em percentagem, como a massa de oxigênio faltante (sinal negativo) ou em excesso (sinal positivo), desse explosivo, para transformar todo o carbono, se houver, em gás carbônico e todo o hidrogênio, se houver, em água, dividida pela massa molar do explosivo e multiplicada por 100. O gráfico ao lado traz o calor liberado na decomposição de diversos explosivos, em função de seu balanço de oxigênio.



Um desses explosivos é o tetranitrato de pentaeritritol (PETN,  $C_5H_8N_4O_{12}$ ). A equação química da decomposição desse explosivo pode ser obtida, seguindo-se as seguintes regras:

- Átomos de carbono são convertidos em monóxido de carbono.
- Se sobrar oxigênio, hidrogênio é convertido em água.
- Se ainda sobrar oxigênio, monóxido de carbono é convertido em dióxido de carbono.
- Todo o nitrogênio é convertido em nitrogênio gasoso diatômico.

- (a) Escreva a equação química balanceada para a decomposição do PETN.
- (b) Calcule, para o PETN, o balanço de oxigênio.
- (c) Calcule o  $\Delta H$  de decomposição do PETN, utilizando as entalpias de formação das substâncias envolvidas nessa transformação.
- (d) Que conclusão é possível tirar, do gráfico apresentado, relacionando calor liberado na decomposição de um explosivo e seu balanço de oxigênio?

Substância	O	PETN
massa molar (g/mol)	16	316

Substância	PETN(s)	$CO_2(g)$	$CO(g)$	$H_2O(g)$
Entalpia de formação (kJ/mol)	-538	-394	-110	-242



6. (2007) Existem vários tipos de carvão mineral, cujas composições podem variar, conforme exemplifica a tabela a seguir.

Tipo de carvão	umidade (%emmassa)	material volátil* (%emmassa)	carbono não volátil (%emmassa)	outros constituintes** (%emmassa)
antracito	3,9	4,0	84,0	8,1
betuminoso	2,3	19,6	65,8	12,3
sub-betuminoso	22,2	32,2	40,3	5,3
lignito	36,8	27,8	30,2	5,2

\*Considere semelhante a composição do material volátil para os quatro tipos de carvão.

\*\*Dentre os outros constituintes, o principal composto é a pirita,  $Fe^{2+}S_2^{2-}$ .

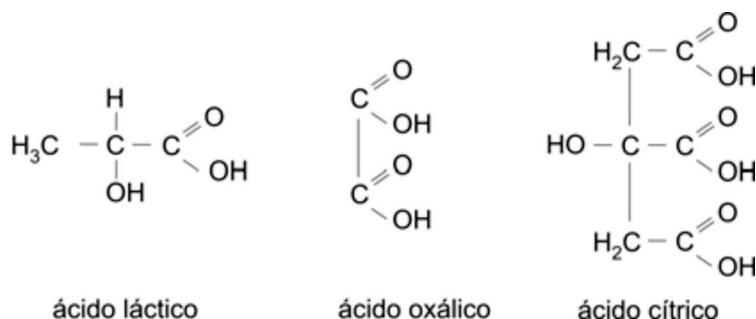
- (a) Qual desses tipos de carvão deve apresentar menor poder calorífico (energia liberada na combustão por unidade de massa de material)? Explique sua resposta.
- (b) Qual desses tipos de carvão deve liberar maior quantidade de gás poluente (sem considerar  $CO$  e  $CO_2$ ) por unidade de massa queimada? Justifique sua resposta.
- (c) Escreva a equação química balanceada que representa a formação do gás poluente a que se refere o item b (sem considerar  $CO$  e  $CO_2$ ).
- (d) Calcule o calor liberado na combustão completa de  $1,00 \times 10^3$  kg de antracito (considere apenas a porcentagem de carbono não volátil).

**Dados:**

Entalpia de formação do dióxido de carbono gasoso =  $-400$  kJ/mol  
massa molar do carbono =  $12$  g/mol

---

7. (2008) Em um exame, para o preenchimento de uma vaga de químico, as seguintes fórmulas estruturais foram apresentadas ao candidato:



A seguir, o examinador pediu ao candidato que determinasse, experimentalmente, o calor liberado ao fazer-se a mistura de volumes definidos de duas soluções aquosas, de mesma concentração, uma de hidróxido de sódio e outra de um dos três ácidos carboxílicos apresentados, sem revelar qual deles havia sido escolhido. Foi informado ao candidato que, quando o ácido e a base reagem na proporção estequiométrica, o calor liberado é máximo.

Os resultados obtidos foram os seguintes:

Volume da solução de base/mL	0	15	30	35	40	45	50
Volume da solução de ácido/mL	50	35	20	15	10	5	0
Calor liberado/J	0	700	1400	1500	1000	500	0

Diante dos resultados obtidos, o examinador pediu ao candidato que determinasse qual dos ácidos havia sido utilizado no experimento. Para responder, o candidato construiu uma tabela e um gráfico do calor liberado versus  $x_{base}$ , definido como:

$$x_{base} = \frac{V_{base}}{V_{base} + V_{ácido}}, \text{ equivalente a } x_{base} = \frac{n_{base}}{n_{base} + n_{ácido}}, \text{ onde:}$$

$n$  = quantidade de ácido ou de base (em mols)

$V$  = volume da solução de ácido ou de base (em mL)

- Reproduza, na página ao lado, a tabela e o gráfico que devem ter sido obtidos pelo candidato. Pelos pontos do gráfico, podem ser traçadas duas retas, cujo cruzamento corresponde ao máximo calor liberado.
- Determine o valor de  $x_{base}$  que corresponde ao ponto de cruzamento das retas em seu gráfico.
- Qual foi o ácido escolhido pelo examinador? Explique.
- Indique qual é o reagente limitante para o experimento em que o calor liberado foi 1400 J e para aquele em que o calor liberado foi 1500 J. Explique.

8. (2012) Um aluno efetuou um experimento para avaliar o calor envolvido na reação de um ácido com uma base. Para isso, tomou 8 tubos de ensaio e a cada um deles adicionou 50 mL de uma mesma solução aquosa de HCl e diferentes volumes de água. Em seguida, acondicionou esses tubos em uma caixa de isopor, para minimizar trocas de calor com o ambiente. A cada um desses tubos, foram adaptados uma rolha e um termômetro para medir a temperatura máxima atingida pela respectiva solução, após o acréscimo rápido de volumes diferentes de uma mesma solução aquosa de NaOH. O volume final da mistura, em cada tubo, foi sempre 100 mL. Os resultados do experimento são apresentados na tabela.

Tubo	Volume de $HCl(aq)$ (mL)	Volume de $H_2O$ (mL)	Volume de $NaOH(aq)$ (mL)	Temperatura máxima ( $^{\circ}C$ )
1	50	50	0	23,0
2	50	45	5	24,4
3	50	40	10	25,8
4	50	35	15	27,2
5	50	30	20	28,6
6	50	25	25	30,0
7	50	10	30	30,0
8	50	15	35	30,0

- (a) Construa um gráfico, no quadriculado apresentado na página de resposta, que mostre como a temperatura máxima varia em função do volume de solução aquosa de NaOH acrescentado.
- (b) A reação do ácido com a base libera ou absorve calor? Justifique sua resposta, considerando os dados da tabela.
- (c) Calcule a concentração, em mol  $L^{-1}$ , da solução aquosa de HCl, sabendo que a concentração da solução aquosa de NaOH utilizada era 2,0 mol  $L^{-1}$ .

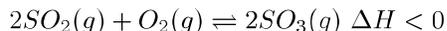
9. (2015) O hidrogênio tem sido apontado como possível fonte de energia do futuro. Algumas montadoras de automóveis estão construindo carros experimentais que podem funcionar utilizando gasolina ou hidrogênio líquido como combustível.

Considere a tabela a seguir, contendo dados obtidos nas mesmas condições, sobre a energia específica (quantidade de energia liberada pela combustão completa de 1 g de combustível) e o conteúdo de energia por volume (quantidade de energia liberada pela combustão completa de 1 L de combustível), para cada um desses combustíveis:

Combustível	Energia específica (kJ/g)	Conteúdo de energia por volume ( $10^3$ kJ/L)
Gasolina líquida	47	35
Hidrogênio líquido	142	10

- (a) Com base nos dados da tabela, calcule a razão entre as densidades da gasolina líquida e do hidrogênio líquido ( $d_{gasolina(l)}/d_{hidrogenio(l)}$ ). Mostre os cálculos.
- (b) Explique por que, embora a energia específica do hidrogênio líquido seja maior do que a da gasolina líquida, o conteúdo de energia por volume do hidrogênio líquido é menor do que o da gasolina líquida.

10. (2016) A oxidação de  $SO_2$  a  $SO_3$  é uma das etapas da produção de ácido sulfúrico.



Em uma indústria, diversas condições para essa oxidação foram testadas. A tabela a seguir reúne dados de diferentes testes:

Número do teste	Reagentes	Pressão (atm)	Temperatura ( $^{\circ}C$ )
1	$SO_2(g)$ + excesso de $O_2(g)$	500	400
2	excesso de $SO_2(g)$ + $O_2(g)$	500	1000
3	excesso de $SO_2(g)$ + ar	1	1000
4	$SO_2(g)$ + excesso de ar	1	400

- (a) Em qual dos quatro testes houve maior rendimento na produção de  $SO_3$ ? Explique.
- (b) Em um dado instante  $t_1$ , foram medidas as concentrações de  $SO_2$ ,  $O_2$  e  $SO_3$  em um reator fechado, a  $1000^{\circ}C$ , obtendo-se os valores:  $[SO_2] = 1,0 \text{ mol/L}$ ;  $[O_2] = 1,6 \text{ mol/L}$ ;  $[SO_3] = 20 \text{ mol/L}$ . Considerando esses valores, como é possível saber se o sistema está ou não em equilíbrio? No gráfico da página de resposta, represente o comportamento das concentrações dessas substâncias no intervalo de tempo entre  $t_1$  e  $t_2$ , considerando que, em  $t_2$ , o sistema está em equilíbrio químico.

Note e adote:  
Para a reação dada,  $K_C = 250$  a  $1000^{\circ}C$

