

Ficha — Formação de ligações: forças de atração e repulsão

10.º Ano Física e Química A 4 páginas 12 exercícios

Objetivo: Interpretar a formação de uma ligação química como um balanço entre forças de atração e de repulsão, e ler o gráfico de energia potencial em função da distância internuclear de uma molécula diatómica.

Revisão rápida

O que é uma ligação química. Quando dois átomos se aproximam, atrain-se o eletrão de um ao núcleo do outro (atração) e repelem-se os eletrões entre si e os núcleos entre si (repulsão). A ligação forma-se quando a atração passa a dominar: o sistema fica **mais estável** e **abaixo em energia** do que os dois átomos separados.

Distância internuclear e energia potencial. O comprimento de ligação é a distância entre os núcleos no mínimo da curva de energia — é a distância em que atração e repulsão se equilibram. Nesse ponto a energia libertada é máxima.

formação da ligação → liberta energia ($\Delta E < 0$) | quebra da ligação → absorve energia ($\Delta E > 0$)

Ligação	Comprimento (pm)	Energia (kJ/mol)	Ligação	Comprimento (pm)	Energia (kJ/mol)
H–H	74	436	N–N	145	170
Cl–Cl	199	243	N≡N	110	945
H–Cl	127	432	C–C	154	348
O=O	121	498	C=C	134	614
—	—	—	C≡C	120	839

Ordem de ligação: ligação simples < dupla < tripla. Quanto maior a ordem, **menor** o comprimento e **maior** a energia da ligação.

Exercícios

1. O gráfico de energia potencial do H₂ apresenta um mínimo em 0,74 Å com energia $-7,24 \times 10^{-19}$ J por molécula. Calcula essa energia em kJ/mol e compara-a com o valor da tabela.

2. O que representa o mínimo da curva de energia em função da distância internuclear? Indica o valor da distância internuclear e o nome que se dá a essa distância.

3. Escreve o sinal da variação de energia (a) na formação de 1 mol de ligações H–H a partir de 2 mol de átomos H e (b) na quebra de 1 mol de ligações H–H. Indica os valores em kJ/mol .

4. Calcula a energia libertada na formação de 2 mol de ligações H–H.

5. À distância de equilíbrio, que forças se equilibram no sistema núcleos-eletrões? Identifica a que corresponde cada uma das três forças em presença: atração núcleo-eletrão, repulsão eletrão-eletrão e repulsão núcleo-núcleo.

6. Explica por que razão a curva sobe muito abruptamente quando a distância internuclear diminui para além do mínimo.

7. Os átomos separados e a molécula formada têm a mesma quantidade de matéria. Explica, com base na energia do sistema, por que razão a molécula é mais estável do que os átomos isolados.

8. Compara a ligação N–N com a ligação $\text{N}\equiv\text{N}$ usando os dois critérios da tabela: comprimento e energia. Quantas vezes mais energética é a tripla em relação à simples?

9. Analisa a série C–C, C=C e C≡C: como varia o comprimento de ligação e como varia a energia à medida que a ordem de ligação aumenta? Justifica a relação entre os dois efeitos.

10. Das ligações H–H, Cl–Cl, O=O e N≡N, qual é a mais difícil de quebrar? Justifica a resposta com base nos valores da tabela.

11. Calcula a energia total absorvida para quebrar 2 mol de ligações Cl–Cl e, a seguir, para quebrar 0,5 mol de ligações H–H.

12. Verdadeiro ou falso. Corrige as falsas.

- a) Na formação de uma ligação há libertação de energia. (V/F)
- b) Na quebra de uma ligação há absorção de energia. (V/F)
- c) O comprimento de ligação aumenta com a ordem de ligação. (V/F)
- d) O comprimento de ligação é a distância entre os núcleos no mínimo da curva de energia. (V/F)
- e) Quanto maior a energia de uma ligação, mais facilmente ela se quebra. (V/F)

Soluções — Formação de ligações e energia vs distância internuclear

10.º Ano

Física e Química A

Resolução completa

1. $E = -7,24 \times 10^{-19} \text{ J/molecula} \times 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} = -4,36 \times 10^5 \text{ J/mol} \rightarrow -436 \text{ kJ/mol}$. O valor tem a mesma grandeza que o da tabela para H–H (436 kJ/mol): o mínimo da curva é exatamente a energia da ligação, com sinal negativo porque a molécula fica *abaixo* da referência dos átomos separados.

2. O mínimo representa o estado de **máxima estabilidade** da molécula: é onde a energia potencial é menor, logo onde a ligação existe. Nesse ponto a distância entre os núcleos é de **74 pm** (0,74 Å), que é o **comprimento de ligação** do H–H.

3. (a) Formação: $\Delta E = -436 \text{ kJ/mol}$ (negativa — há libertação de energia). (b) Quebra: $\Delta E = +436 \text{ kJ/mol}$ (positiva — há absorção). Os módulos são iguais porque é o mesmo processo, estudado nos dois sentidos.

4. $2 \times 436 = 872 \text{ kJ}$ — formar 2 mol de ligações H–H liberta **872 kJ**. O valor é proporcional à quantidade de matéria: para formar 2 mol de ligações há 2 mol de átomos H que se combinam.

5. Equilibram-se a **atração** e a **repulsão**. A atração é eletrão↔núcleo (atrás de cada eletrão está o núcleo do outro átomo); a repulsão é eletrão↔eletrão e, mais forte a curtas distâncias, núcleo↔núcleo. No comprimento de equilíbrio estas contribuições compensam-se e o sistema atinge a energia mínima.

6. A partir de certa distância para baixo, os núcleos ficam tão próximos que a **repulsão núcleo-núcleo** e a repulsão eletrão-eletrão passam a crescer muito mais rápido do que a atração. O sistema ganha energia de repulsão e a curva sobe de forma abrupta — a molécula só é estável na região do mínimo.

7. A molécula está **436 kJ/mol abaixo** em energia dos átomos separados. Para voltar aos átomos livres seria preciso fornecer essa energia, ou seja, a molécula fica numa situação de menor energia e **maior estabilidade**. Como a matéria é a mesma, o que muda é o acréscimo de estabilidade obtido ao estabelecer a ligação.

8. N≡N tem **110 pm** contra 145 pm de N–N (é **35 pm mais curta**) e **945 kJ/mol** contra 170 kJ/mol (é mais energética). Razão: $945 \div 170 = 5,56 \approx 5,6$ — ou seja, a ligação tripla é cerca de **5,6 vezes** mais energética do que a simples.

9. À medida que a ordem aumenta, o comprimento **diminui** (154 → 134 → 120 pm) e a energia **aumenta** (348 → 614 → 839 kJ/mol). Os dois efeitos estão ligados: mais pares de eletrões partilhados aproximam os núcleos, e estando mais próximos eles ficam mais fortemente ligados. Os saltos não são constantes: o comprimento cai 20 pm e depois 14 pm, enquanto a energia sobe 266 e depois 225 kJ/mol — o ganho decresce porque os eletrões já próximos começam a repelir-se.

10. A **N≡N**, com **945 kJ/mol** — é o maior valor da tabela, acima de O=O (498), H–H (436) e Cl–Cl (243). Quanto maior a energia de ligação, maior a energia que é preciso fornecer para quebrar a ligação, por isso é a mais difícil de quebrar.

11. Cl–Cl: $2 \times 243 = 486 \text{ kJ}$. H–H: $0,5 \times 436 = 218 \text{ kJ}$. A energia absorvida é sempre o produto da energia de ligação pela quantidade de matéria que se quebra.

12. a) **V**. b) **V**. c) **F** — o comprimento *diminui* com a ordem de ligação (154 → 134 → 120 pm). d) **V** — é a distância entre os núcleos no mínimo da curva. e) **F** — quanto maior a energia de ligação, mais *difícil* é quebrá-la: é preciso fornecer mais energia.

Nota: os dois eixos do gráfico de energia potencial importam de forma diferente: a **posição horizontal** do mínimo dá o comprimento de ligação e a **altura vertical** do mínimo dá a energia de ligação. Ler um ponto à esquerda do mínimo descreve repulsão dominante; ler à direita descreve átomos que ainda não se atraíram suficientemente.