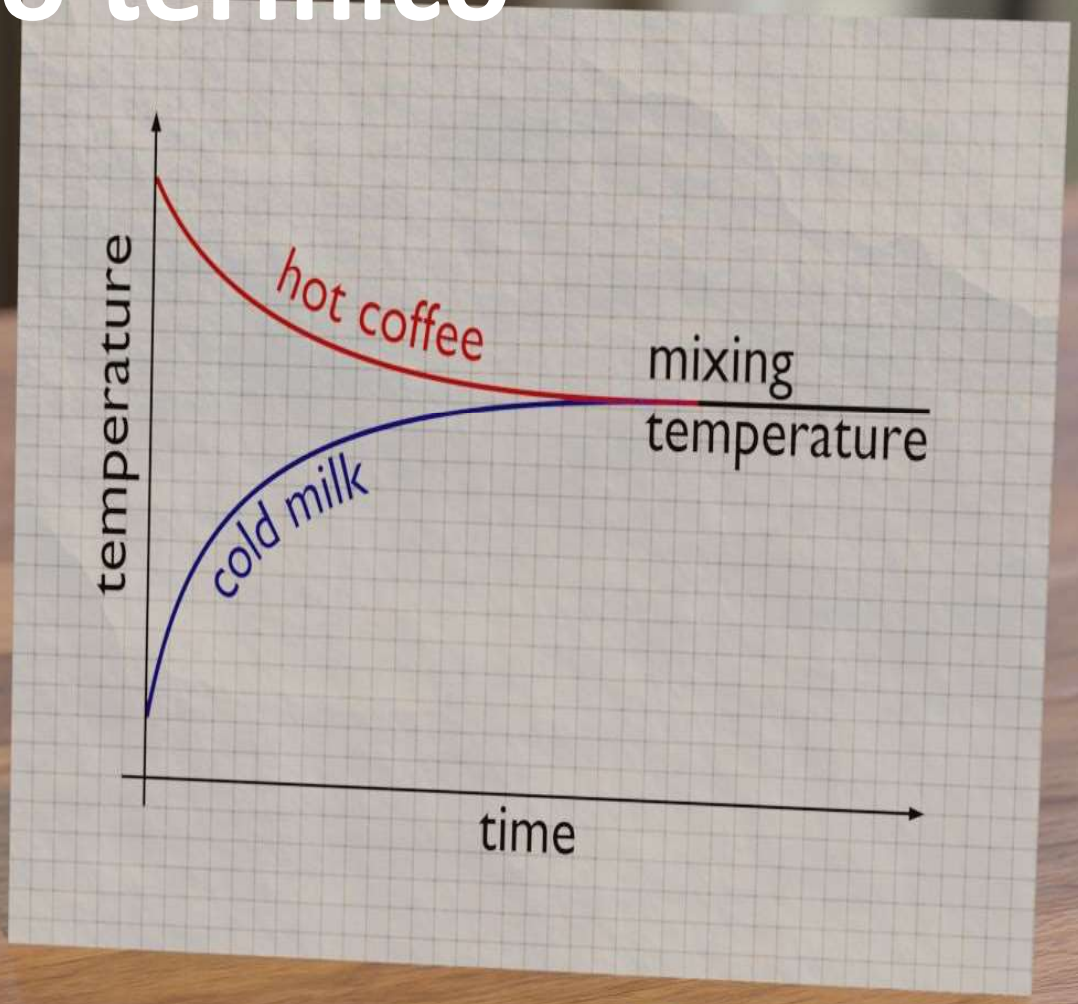
UC Modelagem de fenômenos físico-químicos

Calor e equilíbrio térmico



Prof. Simões

TEC-SCIENCE.COM

Sumário dessa aula

Histórico

Johann Joachim Becher (1635 – 1682) propôs a Teoria do flogisto, segundo a qual os corpos combustíveis possuiriam uma matéria chamada flogisto, liberada ao ar durante os processos de combustão (material orgânico) ou de calcinação (metais)

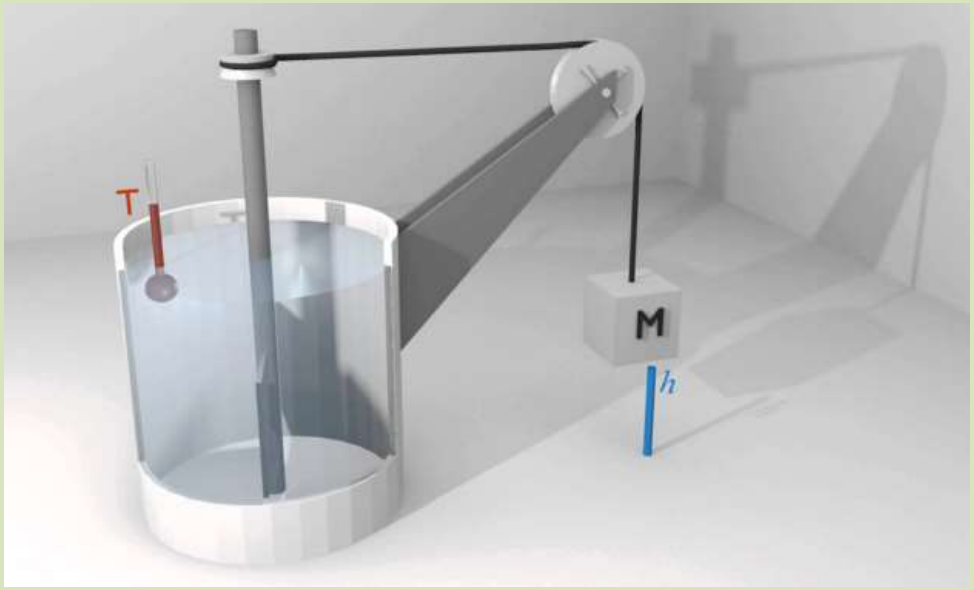
Histórico

Antoine-Laurent de Lavoisier (1743 – 1794) refutou a teoria, demonstrando que não há perda de massa nos processos de combustão, e que o ar (oxigênio) era um princípio ativo na atmosfera.

Histórico

James Prescott Joule
(1818-1889)

Demonstrou a relação entre calor e trabalho



“Calor é a energia térmica que se transfere entre corpos de diferentes temperaturas”

Unidades

- Seu experimento de equivalência mostrou que o trabalho de 4,18 Joules (na época N.m) produzia o aumento de 1 ˚C em 1 grama de água, na pressão de 1 atm.
- Essa unidade ficou conhecida como caloria
- 1 cal = 4,18 J (equivalente mecânico do calor)
- Definição
  - 1 caloria é a quantidade de calor que produz uma variação de 1 ˚C em (entre 14,5˚C e 15,5˚C) 1 g de água
- Símbolo: Q
- Unidade: no SI, joule (J), ou caloria (cal)
- Unidade comercial importante:
  - 1 BTU (British Thermal Unit) = 252,4 cal = 1055 Joules

Unidade

- Exemplo

INFORMAÇÃO NUTRICIONAL Porção de 20g (2 colheres de sopa)		
Quantidade por porção		%VD(*)
Valor Energético	75 kcal = 315kJ	4
Carboidratos	15 g	5
Proteínas	1,4 g	2
Gorduras Totais	1,0 g	1
Gorduras Saturadas	0,4 g	2
Gorduras Trans	0 g	**
Fibra Alimentar		

e·nutri

Relação calor x trabalho

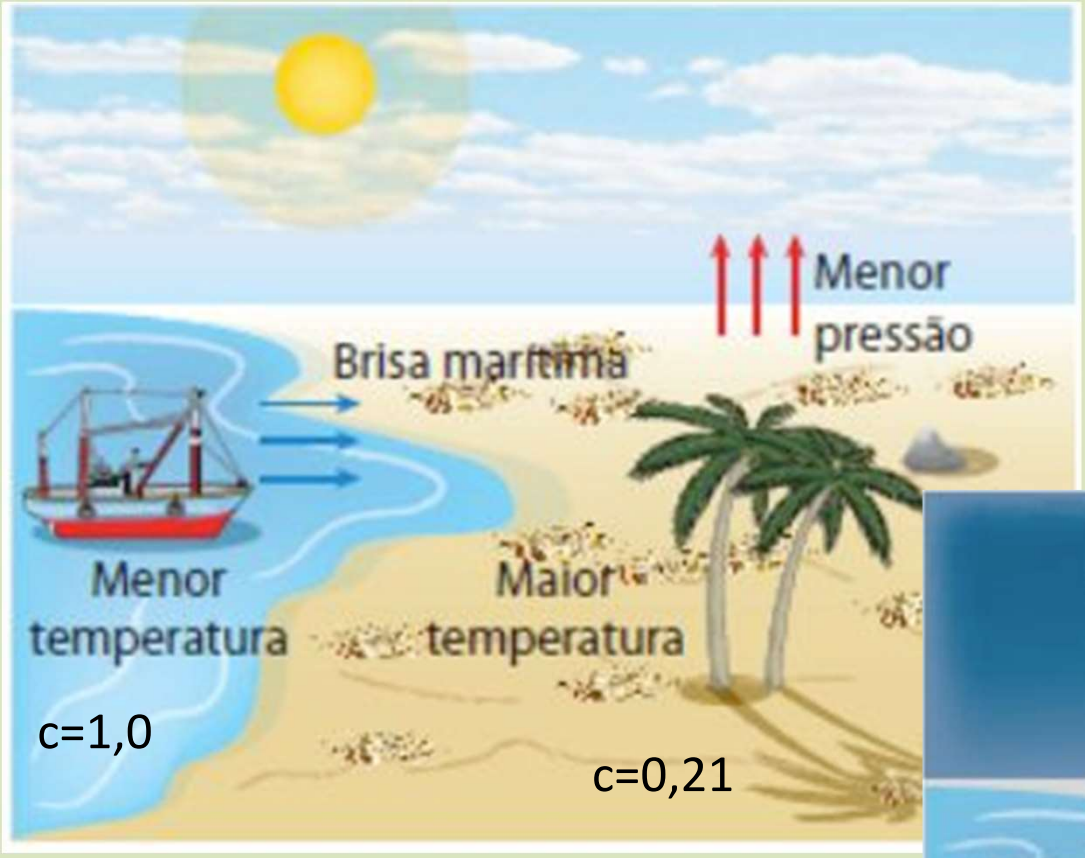
Atividade	Calorias por minuto	Atividade	Calorias por minuto
Arrumar cama	3.9	Carpintaria	3.9
Consertar carros	4.3	Cortar grama (manual)	4.7
Cozinhar	3.9	Descer escadas	6.9
Dormir	1.2	Escrever sentado	1.8
Espanar pó	2.7	Jardinagem	3.7
Lavar janela	4.3	Ler sentado	1.2
Lavar o quintal	4.7	Pintar parede	3.6
Subir escadas	18.0	Tomar banho	3.2

Calor específico

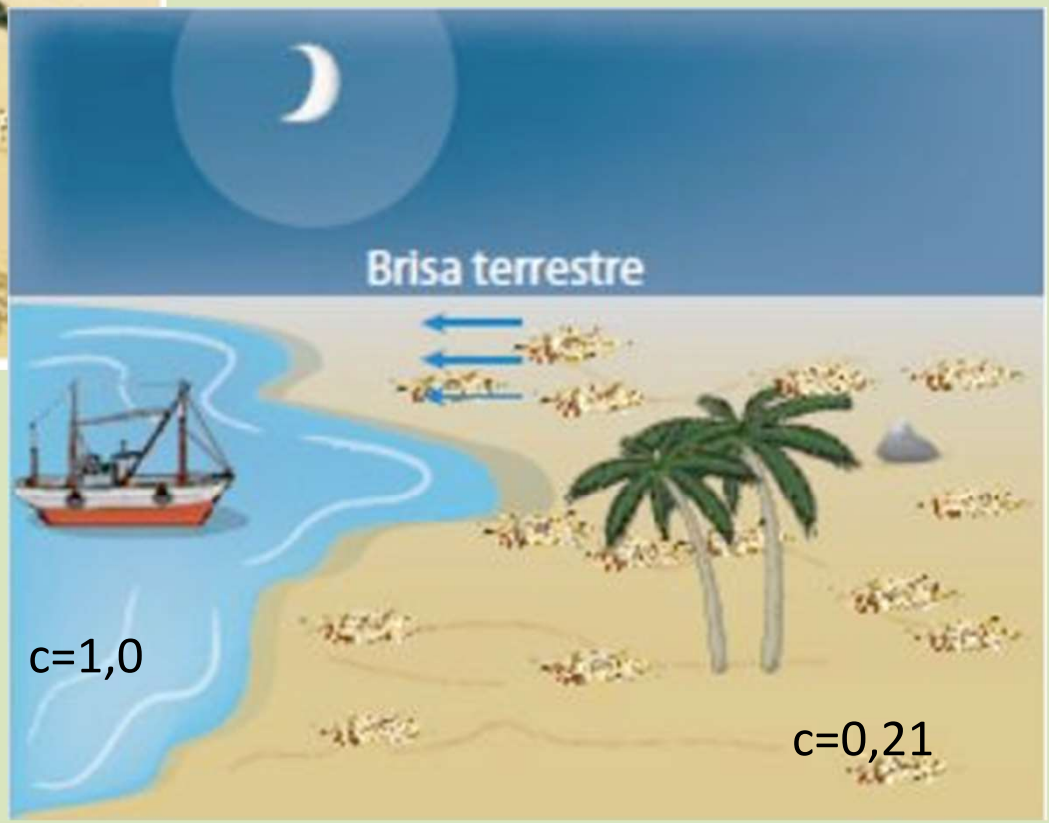
- É a quantidade de calor necessária para elevar de 1 ˚C uma certa quantidade de uma substância.
- Mede “quão difícil” é aquecer ou esfriar o material.

Substância	Calor específico (cal/g×°C)	Calor específico (J/kg×K)
Água	1,0	4190
Gelo	0,5	2100
Álcool etílico	0,58	2430
Éter	0,56	2350
Alumínio	0,217	910
Ferro	0,113	473
Prata	0,056	234
Cobre	0,094	390

Exemplo de efeito do calor específico



Durante o dia, o sol aquece rapidamente o solo. Este aquece o ar. O ar aquecido é mais leve, que sobe e cria uma região de baixa pressão, causando a brisa marítima



Durante a noite, a água demora a esfriar, aquecendo o ar sobre ela. Este ar aquecido sobe, causando a brisa terrestre.

Calor sensível

- Com base na definição de calor específico, é possível definir a equação fundamental da calorimetria:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

- Onde:
  - Q -> Quantidade de calor (cal, J)
  - m -> Massa (kg, g)
  - c -> calor específico do material (cal/kg.˚C, J/kg.K)
  - ΔT -> variação da temperatura (˚C, K)

Exemplo

Uma pessoa de 80 kg apresenta febre com temperatura de 39˚C (a normal é 36˚C). Considerando que o calor específico do corpo humano é aproximadamente 3480 J/kg.K, qual foi o calor necessário para essa elevação, em joules e em calorias?

Calor e potência

- Potência representa a quantidade de energia transferida na unidade de tempo.
- Em termos térmicos:

$$P = \frac{Q}{\Delta t}$$

- Onde
  - P-> potência em W (J/s)
  - Q-> calor transferido (J)
  - Δt -> intervalo de tempo (s)

Exemplo

Um ebulidor de 250 W é imerso em uma vasilha isolada térmicamente, com absorção de calor desprezível. Uma quantidade de água de 500 g a 20˚C é colocada na vazilha e o ebulidor é ligado. Supondo que toda a energia passará para a água, em quanto tempo ela chegará ao ponto de ebulição (100˚C)?

Exemplo

Um resistor de 10 ohms receberá uma corrente de 27,2 mA. Supondo que ele não dissipará nenhum calor, qual é a elevação esperada de sua temperatura em 10 segundos? Para a construção desse resistor foram utilizados 23 mg de carbono (c=0,12 cal/g.˚C). Dado: 1 W=1 J/s

Equilíbrio térmico

- Sempre que houver diferença de temperatura entre dois corpos, haverá troca de calor
- A quantidade de calor cedida por um corpo será igual à quantidade de calor absorvida pelo outro
- O calor cedido/recebido causará uma mudança na temperatura dos corpos
- Quando as temperaturas forem iguais, cessará a troca de calor
- A soma algébrica do calor trocado é igual a zero

$$Q_A + Q_B + Q_C + \ldots = 0$$

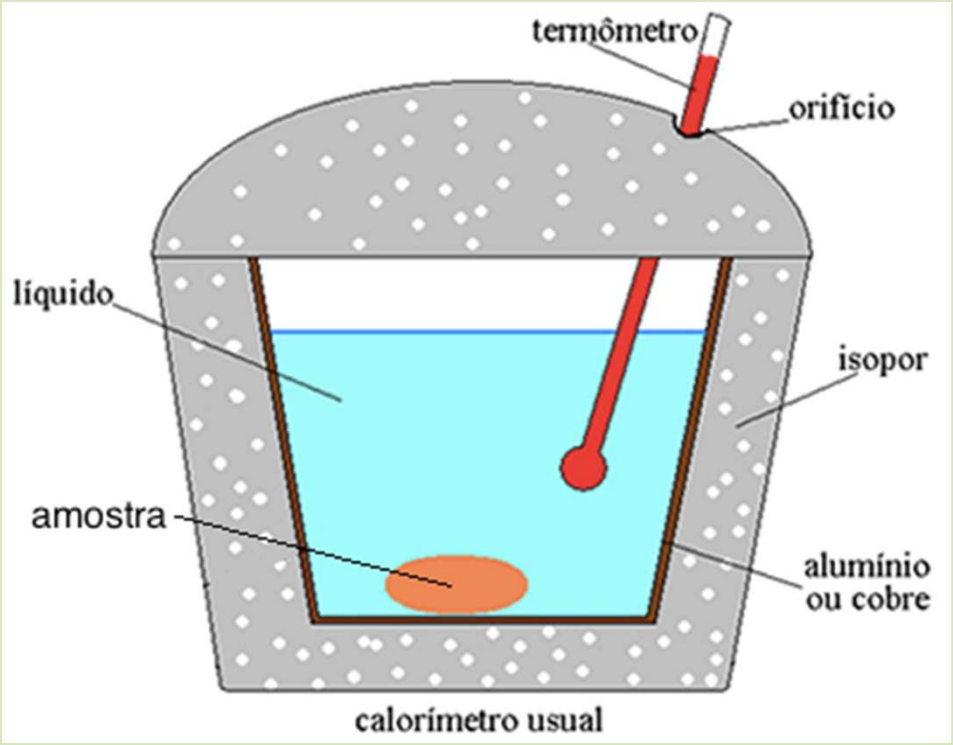
Exemplo

Uma caneca de alumínio possui massa de 120 g e está a 20 °C. Coloca-se nela 300 ml de café a 70 °C. Supondo que o café tenha densidade e calor específico próximos aos da água, e que não haja troca de calor com o ambiente, qual a temperatura de equilíbrio da caneca com o café?

Calorímetro

- O calorímetro é utilizado para descobrir o calor específico das substâncias
- Coloca-se uma amostra de massa e temperatura conhecida no calorímetro, e mede-se a temperatura final de equilíbrio.

$$Q_{amostra} + \underbrace{Q_{líquido} + Q_{metal}}_{Calorímetro} = 0$$

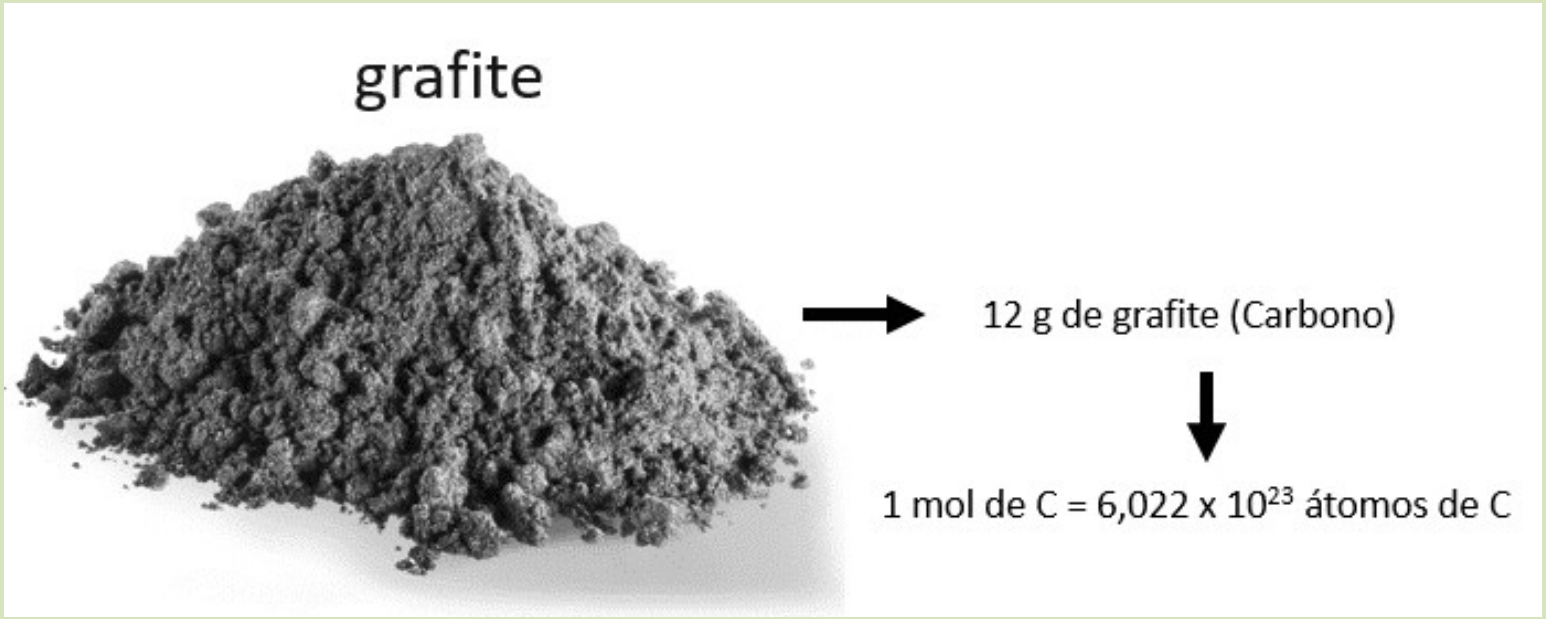


Exemplo

Um calorímetro contém 250 g de água e é feito de um recipiente de alumínio de 100 g. Sua temperatura inicial é de 20˚C. Coloca-se nele um corpo de 150 g de um material desconhecido a uma temperatura de 80˚C. Verifica-se que a temperatura de equilíbrio foi de 28˚C. Qual o calor específico da substância?

Mol

- O mol (ou número de Avogrado) vale $6,02 \times 10^{23}$
- 1 mol de moléculas de uma substância representa $6,02 \times 10^{23}$ moléculas dessa substância



Massa molar

- A massa molar M de uma substância é o valor da massa de 1 mol da substância.

Quando a massa do cloreto de sódio (sal de cozinha) acima der igual a 58,5 g, teremos exatamente 1 mol dessa substância e $6{,}02 \cdot 10^{23}$ moléculas de NaCl

Massa molar

- Por exemplo:
  - 1 mol de água tem massa de 18,0 g.
  - Isso quer dizer que se 'separarmos' 6,02 x 10^{23} moléculas de água, a massa dessa água será 18,0 g.
  - Dizemos então que a massa molar da água é 18,0 g/mol
- Cálculo da massa molar

$$M = \frac{m}{n}$$

M-> massa molar (kg/mol)
m -> massa da amostra (kg)
n -> número de moles na amostra

Calor em unidades molares

- A quantidade de calor trocada em unidades molares será expressa por:

$$Q = n \cdot C \cdot \Delta T$$

- Onde
  - Q -> quantidade de calor (J ou cal)
  - n -> número de moles
  - C -> Calor específico molar (J/mol.K, ou cal/mol.K)

Calor específico molar

- O calor específico pode ser expresso por moles, ao invés de por unidades de massa

Substância	Calor específico, c (J/kg · K)	Massa molar, M (kg/mol)	Calor específico molar, C (J/mol · K)
Alumínio	910	0,0270	24,6
Berílio	1970	0,00901	17,7
Cobre	390	0,0635	24,8
Álcool etílico	2428	0,0461	111,9
Glicol de etileno	2386	0,0620	148,0
Gelo (0 °C)	2100	0,0180	37,8
Ferro	470	0,0559	26,3
Chumbo	130	0,207	26,9
Mármore ($CaCO_3$)	879	0,100	87,9
Mercúrio	138	0,201	27,7
Sal (NaCl)	879	0,0585	51,4
Prata	234	0,108	25,3
Água (líquida)	4190	0,0180	75,4

- O que é possível concluir se compararmos a prata com o alumínio?
- Que o calor específico não varia muito, se a quantidade de moléculas for a mesma

Exemplo

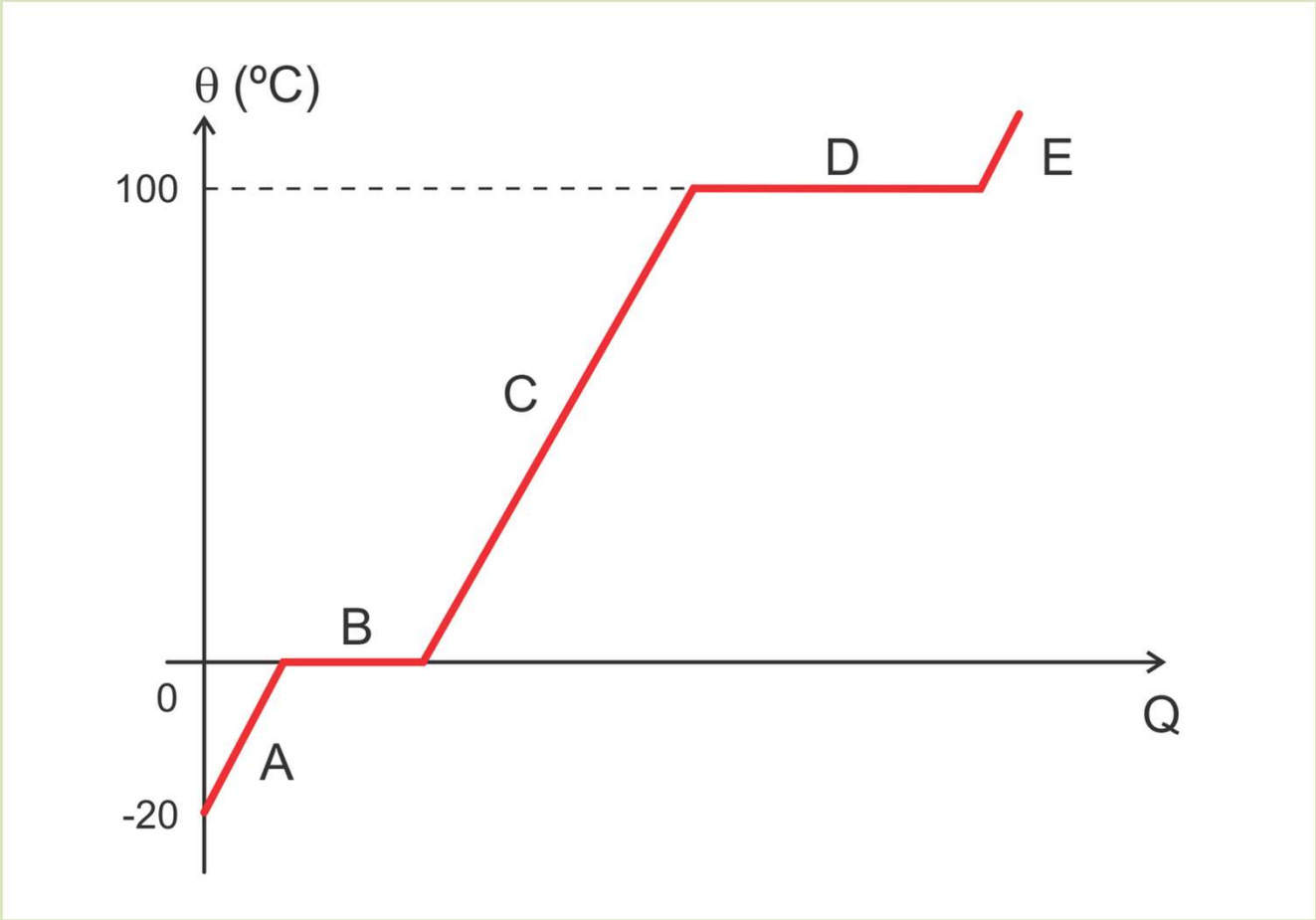
Uma amostra de 5 moles de cobre recebe uma quantidade de calor de $1{,}25 \times 10^4$ J. Qual será a elevação da temperatura, supondo que não haja perda de calor?

Exemplo

Qual a massa de alumínio que é possível aquecer de 100 °C, com uma quantidade de $2{,}5 \cdot 10^4\ J$, sabendo que o calor específico molar do alumínio é de $24{,}6\ J/mol \cdot K$

Calor latente

- Vimos que durante a mudança de fase não há mudança de temperatura, mas há mudança na quantidade de calor



Calor latente

- A quantidade de calor necessária para a mudança de fase (L) depende do calor de fusão e do calor de vaporização

Substância	Ponto de fusão normal		Calor de fusão, L_f (J/kg)	Ponto de ebulição normal		Calor de vaporização, L_v (J/kg)
	K	°C		K	°C	
Hélio	*	*	*	4,216	−268,93	$20{,}9 \times 10^3$
Hidrogênio	13,84	−259,31	$58{,}6 \times 10^3$	20,26	−252,89	452×10^3
Nitrogênio	63,18	−209,97	$25{,}5 \times 10^3$	77,34	−195,8	201×10^3
Oxigênio	54,36	−218,79	$13{,}8 \times 10^3$	90,18	−183,0	213×10^3
Álcool etílico	159	−114	$104{,}2 \times 10^3$	351	78	854×10^3
Mercúrio	234	−39	$11{,}8 \times 10^3$	630	357	272×10^3
Água	273,15	0,0	334×10^3	373,15	100,0	2256×10^3
Enxofre	392	119	$38{,}1 \times 10^3$	717,75	444,60	326×10^3
Chumbo	600,5	327,3	$24{,}5 \times 10^3$	2023	1750	871×10^3
Antimônio	903,65	630,50	165×10^3	1713	1440	561×10^3
Prata	1233,95	960,80	$88{,}3 \times 10^3$	2466	2193	2336×10^3
Ouro	1336,15	1063,0	$64{,}5 \times 10^3$	2933	2660	1578×10^3
Cobre	1356	1083	134×10^3	1460	1187	5069×10^3

Calor latente

- A quantidade de calor trocado durante a mudança de fase será dada por:

$$Q = \pm m \cdot L$$

- Onde
  - Q -> quantidade de calor (cal ou J)
  - m -> massa em mudança de fase (g ou kg)
  - L -> calor latente de fusão ou de vaporização (cal/kg ou J/kg)

Exemplo

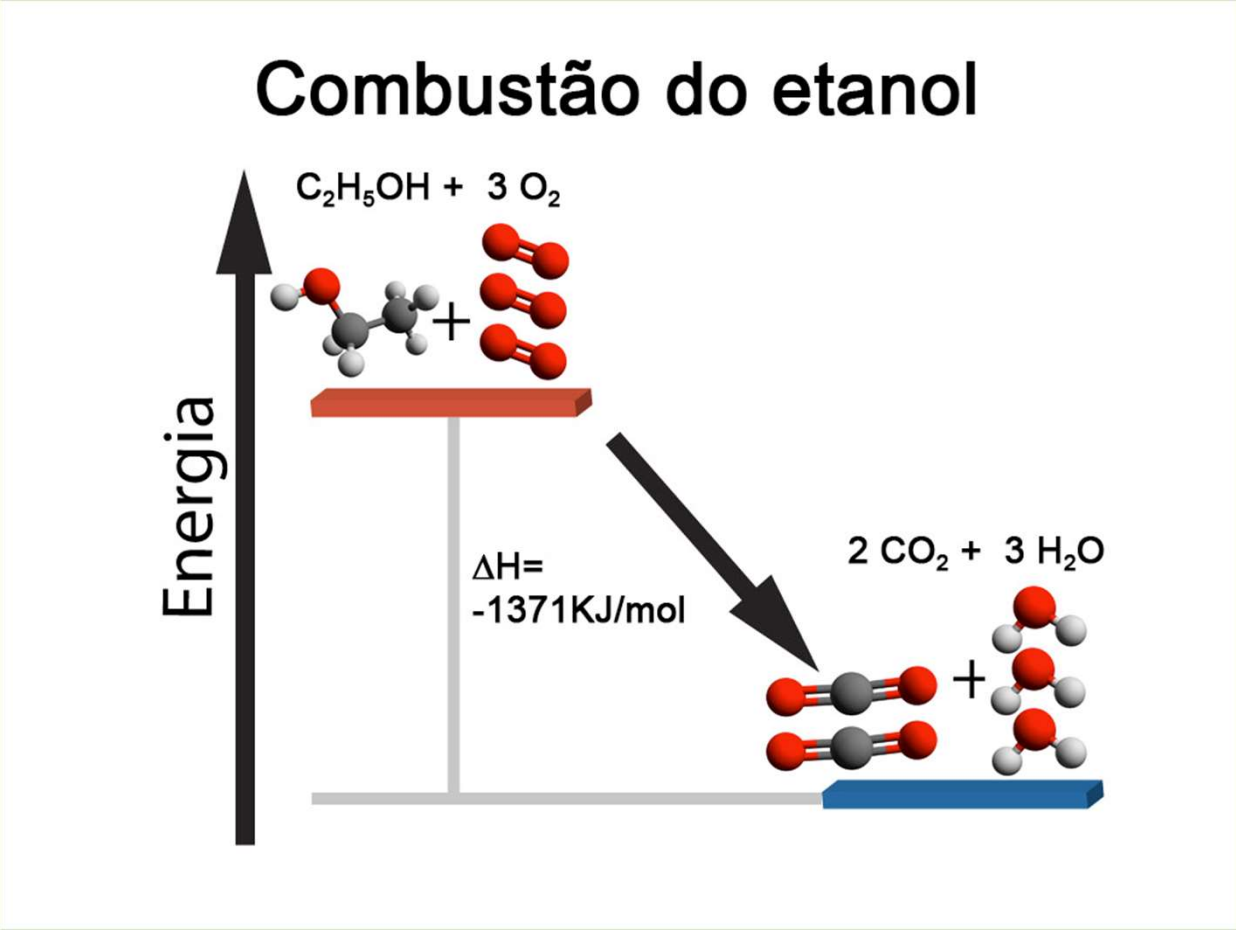
Qual a quantidade de calor necessária para fundir 5,0 kg de cobre? Responder em joules e em calorias.

Exemplo

Em um processo industrial, uma massa de água de 250 g, a 25 °C, precisa ser resfriada até 0 °C, utilizando-se uma certa quantidade de gelo a -20 °C. Qual a quantidade exata de gelo para que, no final do processo, toda a mistura esteja a 0 °C, sabendo que o calor específico do recipiente pode ser desprezado?

Calor de combustão

- Durante a combustão, a energia armazenada nas molécula da substância é liberada



Calor de combustão

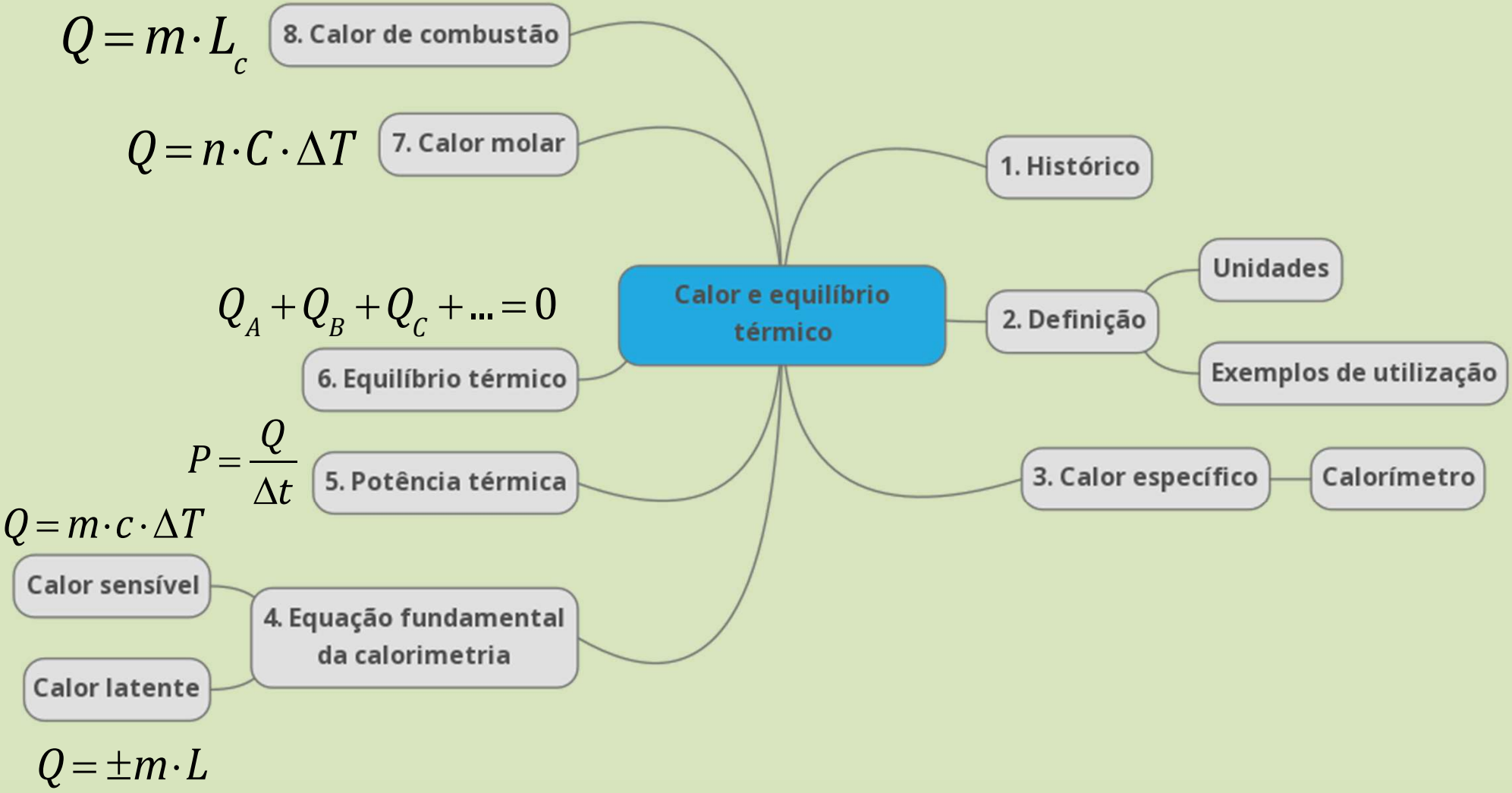
- Cada tipo de combustível apresenta um poder calorífico

COMBUSTÍVEL	PODER CALORÍFICO	
	em kJ/kg	em kcal/kg
Gás liqüefeito de petróleo	49030	11730
Gasolina isenta de álcool	46900	11220
Gasolina com 20% de álcool	40546	9700
Óleo diesel	44851	10730
Carvão	28424	6800
Lenha	10550	2524
Álcool combustível	27200	6507

- A quantidade de calor liberado será dada por:

$$Q = m \cdot L_c$$

Exemplo

Um fogareiro a gasolina com rendimento de 30%. Qual a quantidade de gasolina necessária para aquecer 1,0 kg de água de 20 °C para 100 °C, e vaporizar 0,25 kg?

Sumário dessa aula