



# CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Filardo Bassalo

[www.bassalo.com.br](http://www.bassalo.com.br)

## Mudanças de Estado e Primeira Lei da Termodinâmica: Chuvas e El Niño.

Segundo vimos em vimos em verbetes desta série, em 1724, o médico holandês Hermann Boerhaave (1668-1738) afirmou que o calor se distribuía pelo volume e não pela massa dos corpos. Assim, a temperatura de equilíbrio entre vários corpos, de volumes e temperaturas diferentes, seria dada pela média ponderada das temperaturas, tendo o volume como peso. Note que os trabalhos de Boerhaave foram reunidos em seu livro intitulado **Elementa Chemiae** (“Elementos de Química”), publicado em 1732. Por sua vez, em 1747-1748, o físico russo Georg Wilhelm Richmann (1711-1753), propôs que a temperatura de equilíbrio considerada por Boerhaave, seria também uma média ponderada, porém tendo a massa como peso. Em 1757, o químico escocês Joseph Black (1728-1799) realizou experiências sobre mistura de substâncias em temperaturas diferentes e observou que os resultados obtidos não se ajustavam com as propostas de Boerhaave e ou de Richmann. Por exemplo, ao misturar água a  $78^{\circ}\text{C}$  com a mesma quantidade de gelo a  $0^{\circ}\text{C}$ , observou que o gelo se fundiu todo se mantendo, no entanto, em  $0^{\circ}\text{C}$ . Em vista disso, concluiu que as substâncias possuíam certo **calor latente** e que se manifestava nas mudanças de estado físico.

Em 1760, Black observou que, na mesma temperatura, um bloco de ferro (Fe) parecia mais quente que um bloco de madeira de igual volume, concluindo, então, que o ferro tinha mais **capacidade** de armazenar calor do que a madeira. Em vista disso, afirmou: - *Devemos, portanto, concluir que diferentes corpos, embora de mesmo tamanho ou do mesmo peso, quando reduzidos à mesma temperatura ou grau de calor, podem conter diferentes quantidades de matéria de calor.* Assim, os resultados das experiências de Black indicavam que havia uma diferença entre “grau de calor” [hoje, **temperatura** (T)] e “quantidade de matéria de calor” [hoje, **quantidade de calor** (Q)]; e mais ainda, que essa “quantidade de calor” e a conseqüente elevação do “grau de calor” são influenciadas por suas propriedades físicas.

Em 1761, Black introduziu o conceito de **calor latente de fusão**, isto é, a quantidade de calor necessária para fundir o gelo à pressão e temperatura constantes (hoje, 1 atmosfera e  $0^{\circ}\text{C}$ , respectivamente). Em suas experiências, ele encontrou para esse **calor latente** o valor de 139 BTU/ℓb (valor atual: 144 BTU/ℓb). Note-se que BTU significa *British Thermal Unit*, e corresponde a 1.055,06 joules, e ℓb, libra. É oportuno salientar que a **fusão** é uma mudança da **fase sólida** para a **fase líquida**; a situação inversa se denomina **solidificação**. A mudança da **fase sólida** para a **fase gasosa**, e vice-versa, se denomina **sublimação**.

Mais tarde, em 1765, Black introduziu o conceito de **calor latente de vaporização**, isto é, a quantidade de calor necessária para vaporizar a água à pressão e temperatura constantes (hoje, 1 atmosfera e  $100^{\circ}\text{C}$ , respectivamente). Observe-se que a **vaporização** é a mudança da **fase líquida** para a **fase gasosa**; a situação inversa se chama de **condensação**. A **vaporização** pode ser de dois tipos: 1) **evaporação** - quando o processo ocorre apenas da superfície livre do líquido; 2) **ebulição** - quando a formação do vapor de água ocorre em toda a massa do líquido.

Voltemos a Black. Por ocasião de suas experiências relacionadas com o calor, ele observou que o **calor latente** era maior que o **calor latente de fusão** do gelo e, mais ainda, que certa quantidade de água em **ebulição** necessita, para sua **vaporização**, de 445 vezes mais calor do que essa mesma quantidade de água necessita para elevar a sua temperatura de um grau. Ele encontrou para o **calor de vaporização da água** o valor de 810 BTU/ℓb (valor atual: 970 BTU/ℓb). Observe-se que, em suas experiências, Black foi auxiliado pelo engenheiro escocês James Watt (1736-1819) e, juntos, procuraram encontrar uma relação quantitativa entre o “calor latente” e a “quantidade de calor”, chegando à conclusão de que o calor perdido na expansão do vapor de água era igual à quantidade empregada para produzi-lo. As experiências de Black sobre calor foram reunidas em seu livro intitulado **Lectures on the Elements of Chemistry**, publicado, em 1803, depois de sua morte.

A conclusão de Black e Watt de que o calor perdido na expansão do vapor de água era igual à quantidade empregada para produzi-lo, conforme registramos acima, indicava uma incipiente “lei de conservação de energia”. Esta, no entanto, só foi postulada pelo fisiologista e físico alemão Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz (1821-1894). Com efeito, em 23 de julho de 1847, ele apresentou à *Sociedade de Física de Berlim* seu célebre artigo **Über die Erhaltung der Kräft** (“Sobre a Conservação da Força”), no qual enunciou a **Lei de**

**Conservação de Energia:** - Quando o calor é adicionado a um sistema, ele se transforma em alguma outra forma de energia.

É interessante destacar que hoje essa lei é conhecida como a **Primeira Lei da Termodinâmica**: - *Todo sistema termodinâmico possui, em estado de equilíbrio, uma variável de estado chamada **energia interna** (U), cuja variação é dada por:*

$$dU = \delta Q - \delta W,$$

onde  $\delta Q$  representa a **troca de calor** e  $\delta W$  é o trabalho realizado sobre (-) [ou pelo (+)] sistema. Registre-se que, quando o sistema mantém a pressão (P) constante, o trabalho é dado por:  $\delta W = P dV$ , com dV indicando a variação de volume (V) do sistema. Por outro lado, se não há troca de calor ( $\delta Q = 0$ ), se diz que a transformação é **adiabática**.

Na **Meteorologia**, a mudança de clima, basicamente, é apoiada na **Primeira Lei da Termodinâmica**, que se expressa da seguinte forma: - *Mudança na temperatura é aproximadamente igual ao calor adicionado (ou subtraído) mais a mudança de pressão.* Desse modo, a temperatura do ar pode ser mudada adicionando ou subtraindo calor, ou pela variação de pressão, ou por ambas essas duas situações. O calor adicionado ao ar, pode ser pela radiação solar e terrestre, pela **umidade** (presença de água) do ar, ou pelo contato com a superfície morna. Desse modo, há um aumento de temperatura na atmosfera. Por sua vez, a atmosfera pode perder calor por radiação, pela **chuva** (gotas de água na atmosfera devido à **evaporação**) caindo através do ar seco, ou por contato com superfícies frias. Portanto, desse modo, há uma perda de temperatura da atmosfera. Note-se que a **radiação térmica** é a radiação eletromagnética larmoniana (vide verbete nesta série) decorrente do movimento das moléculas.

É importante destacar que existem muitos processos atmosféricos, envolvendo tempos longos, um dia ou menos, no qual o total de calor adicionado ou retirado é muito pequeno, de forma que esse processo é praticamente **adiabático**. Tais **processos adiabáticos** são característicos de grandes massas de ar, os **blobs** ("massa mole"), que apresentam dimensões da ordem de quilômetros. Quando um **blob** se eleva, ele esfria e se expande. Contudo, como o ar atmosférico que o envolve é mais frio, o **blob** continua a se elevar enquanto permanece mais quente do que o ar envolvente; se, no entanto, ele se torna mais frio do que o ar exterior, então ele baixa. Quando as regiões mais altas da atmosfera são mais quentes do que as regiões mais baixas, temos a chamada **inversão de temperatura**.

Observe-se que os **blobs adiabáticos** não são restritos à atmosfera. Correntes oceânicas também têm **blobs**, que decorrem da **convecção** (movimento de massas entre regiões quentes e frias) das águas oceânicas profundas. Esse processo, que dura milhares de anos, é influenciado pela temperatura do fundo dos oceanos, a qual, por vez, é também influenciada pelas **correntes de convecção** do material fundido que fica logo abaixo da crosta terrestre. No entanto, como as massas de água que formam esses **blobs oceânicos** são tão grandes e suas condutividades térmicas são tão pequenas, então, praticamente, não há troca de calor entre eles. Em vista dessa ausência de troca de calor, eles são chamados **blobs adiabáticos**. Registre-se que mudanças na **convecção adiabática oceânica** como, por exemplo, o fenômeno do El Niño no Oceano Pacífico, tem grande efeito no clima da Terra. [Paul G. Hewitt, **Conceptual Physics** (HarperCollins College Publishers, 1993)].

As **mudanças de estado** que examinamos acima, têm um papel importante no clima terrestre. Por exemplo, a **condensação** e a **solidificação** do vapor de água presente na atmosfera são responsáveis por diversos fenômenos atmosféricos: **chuva**, **granizo**, **neblina**, **nuvem** etc. As **nuvens** e **chuvas** decorrem da **evaporação** da água dos oceanos e da **condensação** do vapor de água atmosférico. Para esses fenômenos atmosféricos é importante o conceito de **pressão do vapor saturado** (PVS), que é devido à pressão exercida pela quantidade de água presente no ar; tal pressão depende também da temperatura. Quando a PVS ultrapassa um determinado valor, o vapor se condensa em gotículas. Um outro conceito importante na **Meteorologia**, é o de **umidade relativa do ar**, num certo local e em um dado momento (URA), definido pela relação (dada em porcentagem) entre a **pressão do vapor de água** ( $P_{VA}$ ), medida nesse lugar e nesse momento, e a **pressão do vapor de água saturado** ( $P_{VAS}$ ) à mesma temperatura, sendo este tabelado. Por exemplo, se em um determinado lugar, tivermos  $P_{VA} = 4$  mbar e a temperatura for de  $20^{\circ}\text{C}$ , a  $P_{VAS}$  vale 23,3 mbar, conforme é tabelado. Desse modo, teremos:  $\text{URA} = P_{VA} / P_{VAS} = 14 / 23,3 \sim 0,60 = 60\%$ . É interessante notar que os medidores de URA são chamados **higrômetros**, sendo o mais comum o **higrômetro de cabelo**, que se baseia na propriedade de um fio de cabelo variar seu comprimento em função da URA.

Por fim, examinemos mais alguns fenômenos meteorológicos. Quando a temperatura diminui em uma região de baixa atmosfera onde existe PVS, então ele se condensa sobre **núcleos de condensação** presentes no ar (partículas de poeira, de fumaça e até de sal proveniente do mar) formando-se, desse modo, minúsculas gotas de água e cristais de gelo que constituem, respectivamente, a **neblina** e o **granizo**. No inverno, quando a temperatura está abaixo de  $0^{\circ}\text{C}$ , o **granizo** cai sob a forma de **neve**. Quando não há **vento** durante a noite invernos,

a superfície do solo se resfria devido à radiação (re-emissão da radiação solar recebida durante o dia). Então o vapor de água na atmosfera próximo ao solo se condensa em forma de gotículas, formando o **orvalho**; este se forma, também, graças a água do solo que sobe por capilaridade. Se a temperatura do solo foi  $< 0^{\circ}\text{C}$ , haverá formação de **geada**. Neste caso, o vapor de água presente na atmosfera sofre **sublimação**, isto é, passa diretamente ao estado sólido. [Ugo Amaldi, **Imagens da Física** (Editora Scipione, 1995)].

---



**ANTERIOR**

**SEGUINTE**