

## Material Suplementar para “Determinação da densidade de líquidos imiscíveis pelo princípio de Stevin”

### ANEXO F

#### Princípio de Stevin e o Mergulho

Você já imaginou o quanto a pressão aumenta durante um mergulho, mesmo no caso de um mergulho no mar raso? Ou porque atividades de mergulho são sempre perigosas e exigem treinamento apropriado?

A pressão atmosférica  $P_{atm}$  ao nível do mar é de  $1 atm = 101325 Pa = 1,1325 Pa = 1,01325 bar = 760 mmHg$ . Utilizando o Princípio de Stevin [1-3], vamos calcular em que profundidade um mergulhador seria submetido a uma pressão de  $2 atm$ . Considerando que a aceleração da gravidade ( $g$ ) é de  $10 m/s^2$  e que a densidade da água ( $\rho$ ) vale  $1000 kg/m^3$ , nas unidades do Si, para obtermos uma pressão igual a  $2 P_{atm}$  embaixo d'água,

$$2. P_{atm} = P_{atm} + \rho \cdot g \cdot h \quad (1)$$

precisamos de

$$h = \frac{P_{atm}}{\rho \cdot g} \cong 10 m \quad (2)$$

Ou seja, ocorre que, a cada 10 m de profundidade na água o mergulhador terá sobre si uma pressão extra equivalente a mais uma atmosfera. Como, no caso de um mergulho, a pressão é transferida para o interior do corpo de mergulhador, um efeito importante é a redução do volume dos pulmões. No caso de um mergulho em apneia\*, quanto maior for a pressão proporcionalmente menor será também o volume de ar nos pulmões,

---

\* Suspensão momentânea da respiração.

uma vez que o número de moles é constante quando mergulhamos, de maneira que o ar em nossos pulmões obedece à Lei dos Gases Ideais de Clapeyron [1-3].

$$p.V = n.R.T$$

Em princípio, poderíamos mergulhar a qualquer profundidade, certo? Errado... acontece que, com o aumento da pressão internamente ao nosso corpo, aumenta-se também a capacidade de dissolução de gases em nosso sangue. Quando mergulhamos a uma profundidade muito grande, a quantidade de dissolução de oxigênio e nitrogênio absorvidos do ar respirado pelo organismo aumenta muito, o que pode causar embolia<sup>+</sup> se o retorno à superfície for rápido demais.

Lembre-se de uma garrafa de refrigerante que você acabou de comprar: cheia e fechada. A pressão em seu interior é muito alta, o que permite grande dissolução de CO<sub>2</sub> em seu volume. Quando abrimos a garrafa e a pressão diminui, e o CO<sub>2</sub> é liberado gradualmente, formando bolhas (vide a Lei de Henry [3,4], da Química). Por comparação, imagine isso acontecendo no interior do organismo de um mergulhador, já que durante um mergulho profundo há uma maior dissolução de O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> e, principalmente, CO<sub>2</sub> no sangue do mergulhador, que são liberados no retorno à superfície. Para que não haja criação de bolhas de gás no sistema circulatório, é necessário que sua ascensão seja feita de maneira controlada, e bem mais lentamente do que durante a descida. Os riscos são ainda maiores quando o mergulhador se utiliza de tubos de oxigênio, uma vez que neste caso há mais ar disponível e, conseqüentemente, ainda mais moléculas são dissolvidas no sangue do mergulhador.

Além da embolia, podem ocorrer traumas no organismo devido à mudança brusca de pressão durante a subida. São os chamados barotraumas [3-5], e podem ocorrer em qualquer cavidade que contenha ar, como

---

<sup>+</sup> obstrução de um vaso sanguíneo pela migração de um corpo estranho levado pela corrente sanguínea. Efeito similar pode ser causado por bolhas de ar na corrente sanguínea.

ouvidos ou pulmões, e principalmente nos estágios finais da subida, quando a variação de volume dos gases em função da diminuição da pressão é mais importante<sup>#</sup>.

## Referências

- [1] H.D. Young e R.A. Freedman, *Física II: Termodinâmica e Ondas* (Addison Wesley, São Paulo, 2003).
- [2] D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, *Fundamentos de Física* (LTC, Rio de Janeiro, 2009), 8º ed., v. 2.
- [3] *Manual de Mergulho Autônomo*, disponível em <https://www.bombeiros.go.gov.br/wp-content/uploads/2012/09/mergulho.pdf>, acessado em 18/10/2018.
- [4] D.M. Mahan e R.J. Myers, *Química: um Curso Universitário* (Blucher, São Paulo, 1995).
- [5] F.M.E. Caldeira, *A Prática do Mergulho e a Patologia ORL – Barotrauma*, Dissertação de Mestrado, Universidade de Lisboa, Portugal (2016).

---

<sup>#</sup> Note que reduzindo sua profundidade de 50 para 40 metros, reduzimos a pressão em 20%, apenas, e aumentamos o volume na mesma proporção. Por outro lado, reduzindo sua profundidade de 10 para 0 metros (nível do mar), reduzimos a pressão em 50%, dobrando o volume do ar em qualquer cavidade do corpo, forçosamente causando o aparecimento de barotraumas que poderão causar a morte do mergulhador.