

Características gerais sobre conceitos físicos associados ao sistema respiratório

Frequência respiratória:

12/min para Homens; 20/min para Mulheres e 60/min para crianças

Ar inspirado: 78% de N_2 e 21 % O_2 e 1% de Argônio

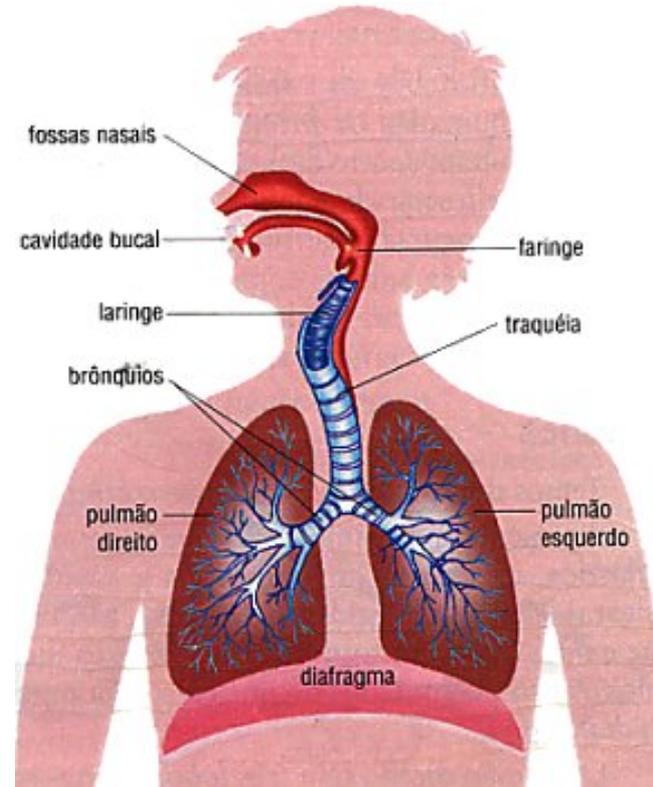
Ar expirado: 78% de N_2 , 17% de O_2 , 1% de Argônio e 4% de CO_2

Inspiramos 10Kg de ar/dia

O pulmão absorve 400 litros (0,5kg) de O_2 /dia

O pulmão elimina 0,5kg de água/dia

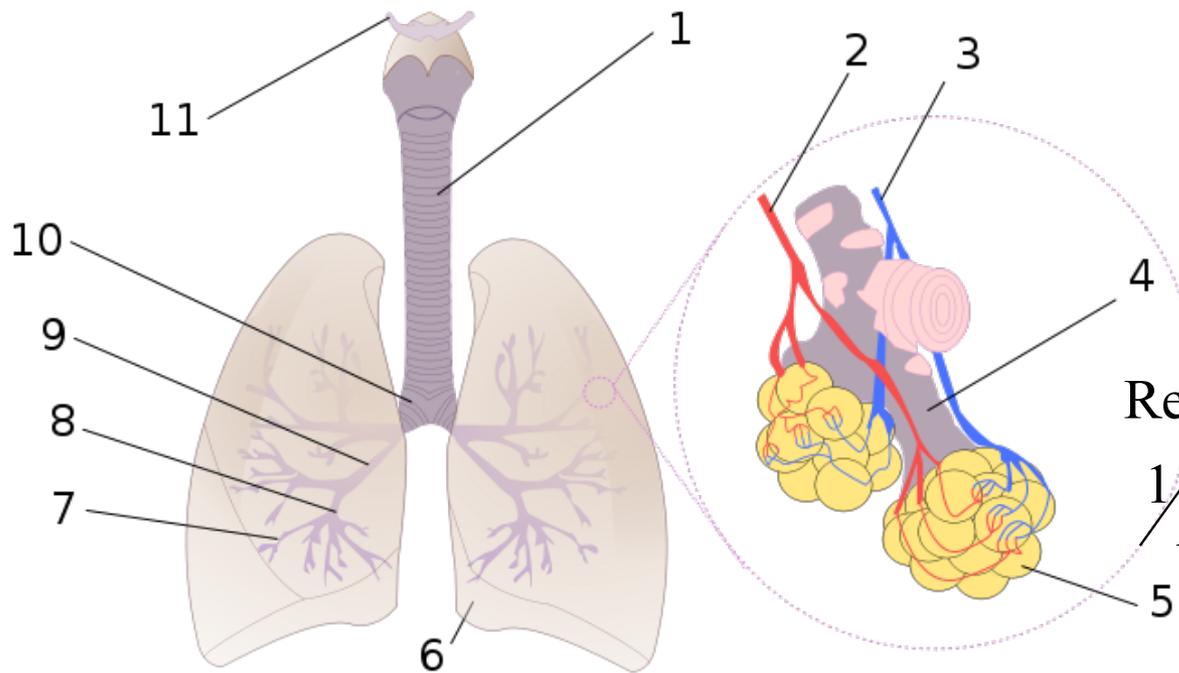
Superfície total de pulmão é $80m^2$



Resistência das vias aéreas

O fluxo de ar pode ser modelado de forma análoga à lei de Ohm para circuitos elétricos, sendo a pressão o correspondente a tensão e o fluxo de volume o correspondente ao fluxo de carga, assim:

$$\text{Resistência} = R = \frac{\text{Tensão}}{\text{carga} / \text{tempo}} = \frac{\Delta P}{\Delta V / \Delta t}$$



Resistência em série

$$R_{Total} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Resistência em paralelo

$$\frac{1}{R_{Total}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

1) Traqueia; 2) Artéria pulmonar; 3) Veia Pulmonar; 4) Duto alveolar; 5) Alvéolos; 6) Entalhe do coração; 7-8-9-10) Brônquios; 11) Laringe.

Resistência das vias aéreas

Para um adulto temos os seguintes valores típicos:

$$R = 330 Pa / \text{litros} / s$$

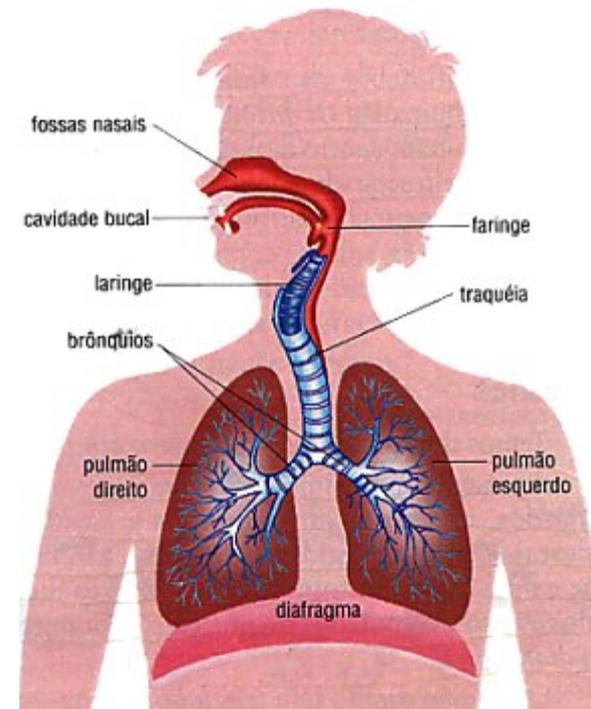
Sendo: ~50% responsável associado à existência no nariz; ~20% às vias aéreas superiores e ~10% às vias terminais.

Outra possibilidade de modelagem se refere a associação da resistência com o raio dos dutos (r) e seu comprimento (x):

$$R = \frac{8\eta\Delta x}{\pi r^4}$$

Onde η é a viscosidade do fluido em questão.

Obs.: esta mesma analogia pode ser realizada para o fluxo de sangue nas veias e artérias.



Medida do volume durante a respiração - Espirógrafo simplificado

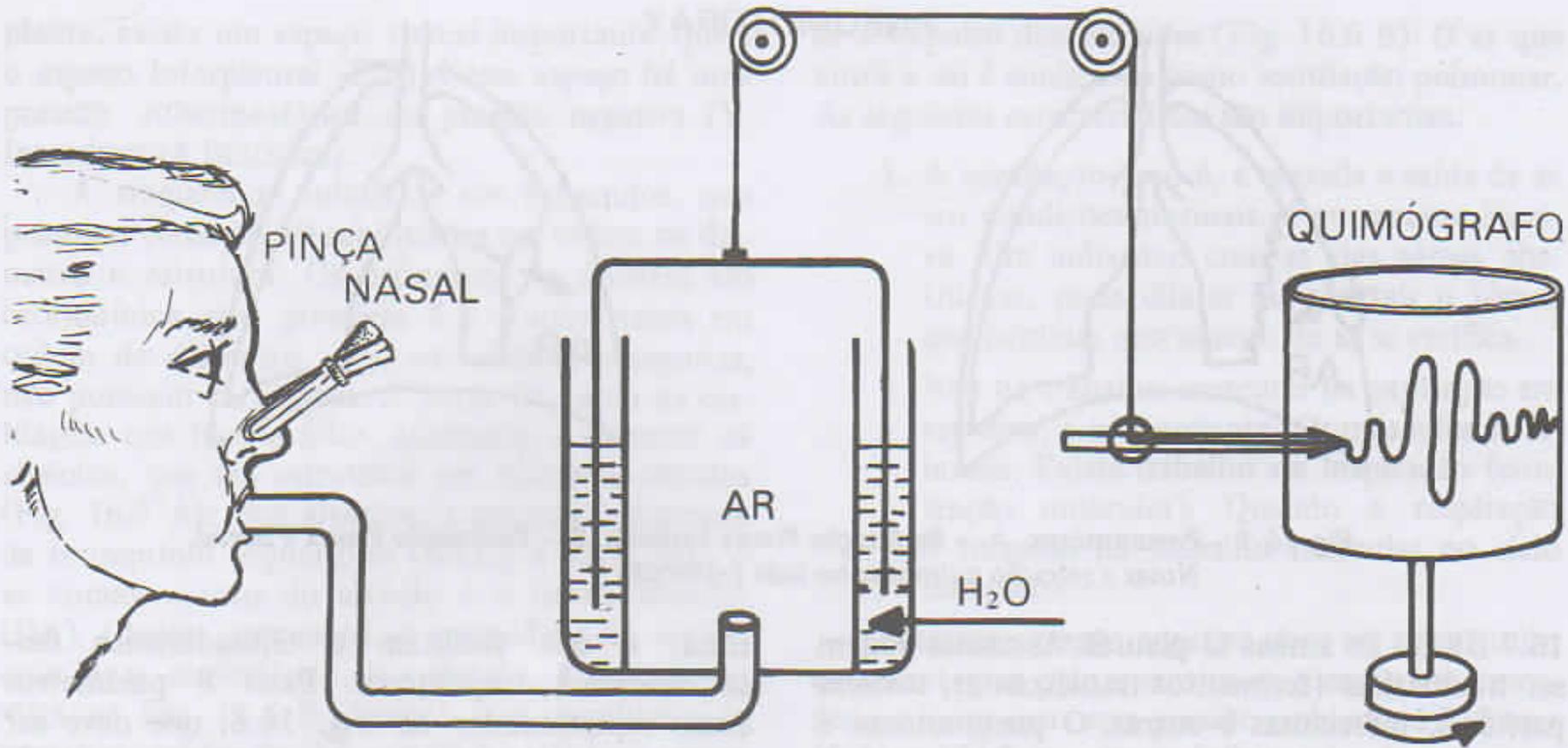
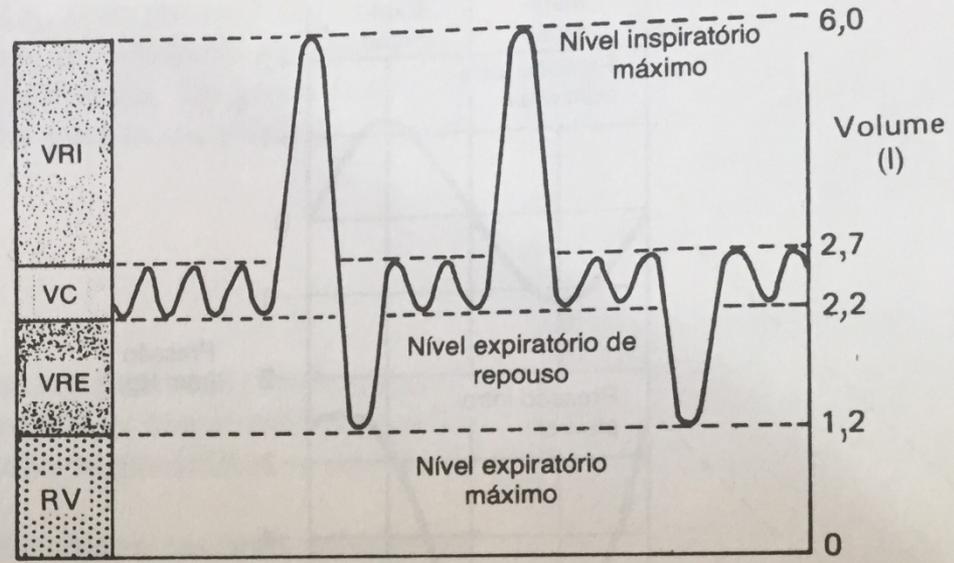
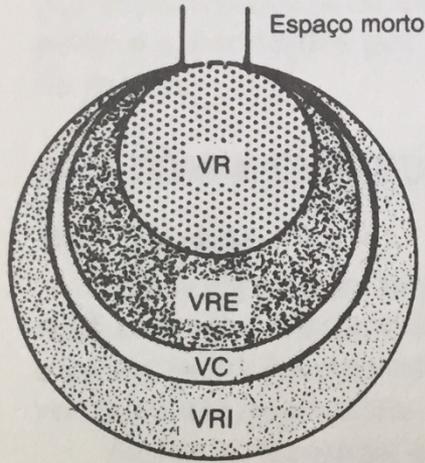


Fig. 16.9 – Espirógrafo Simples (ver texto).

Volumes pulmonares



VRI = Volume de reserva inspiratório
VRE = Volume de reserva expiratório

VC = Volume corrente
VR = Volume residual

Volume (l)

| | | Homens | Mulheres | |
|---------------------------|-----|--------|----------|---------------------------------|
| Capacidade vital | VRI | 3,3 | 1,9 | } Capacidade inspiratória |
| | VC | 0,5 | 0,5 | |
| | VRE | 1,0 | 0,7 | } Capacidade residual funcional |
| | VR | 1,2 | 1,1 | |
| Capacidade pulmonar total | | 6,0 | 4,2 | |

Volume-minuto respiratório (repouso): 6 l/min
Ventilação alveolar (repouso): 4,2 l/min
Ventilação voluntária máxima (BTPS): 125-170 l/min

Capacidade vital marcada: 83% do total em 1 s; 97% em 3 s
Trabalho da respiração silenciosa: 0,5 kg-m/min
Trabalho máximo da respiração: 10 kg-m/respiração

Pressões na inspiração e expiração

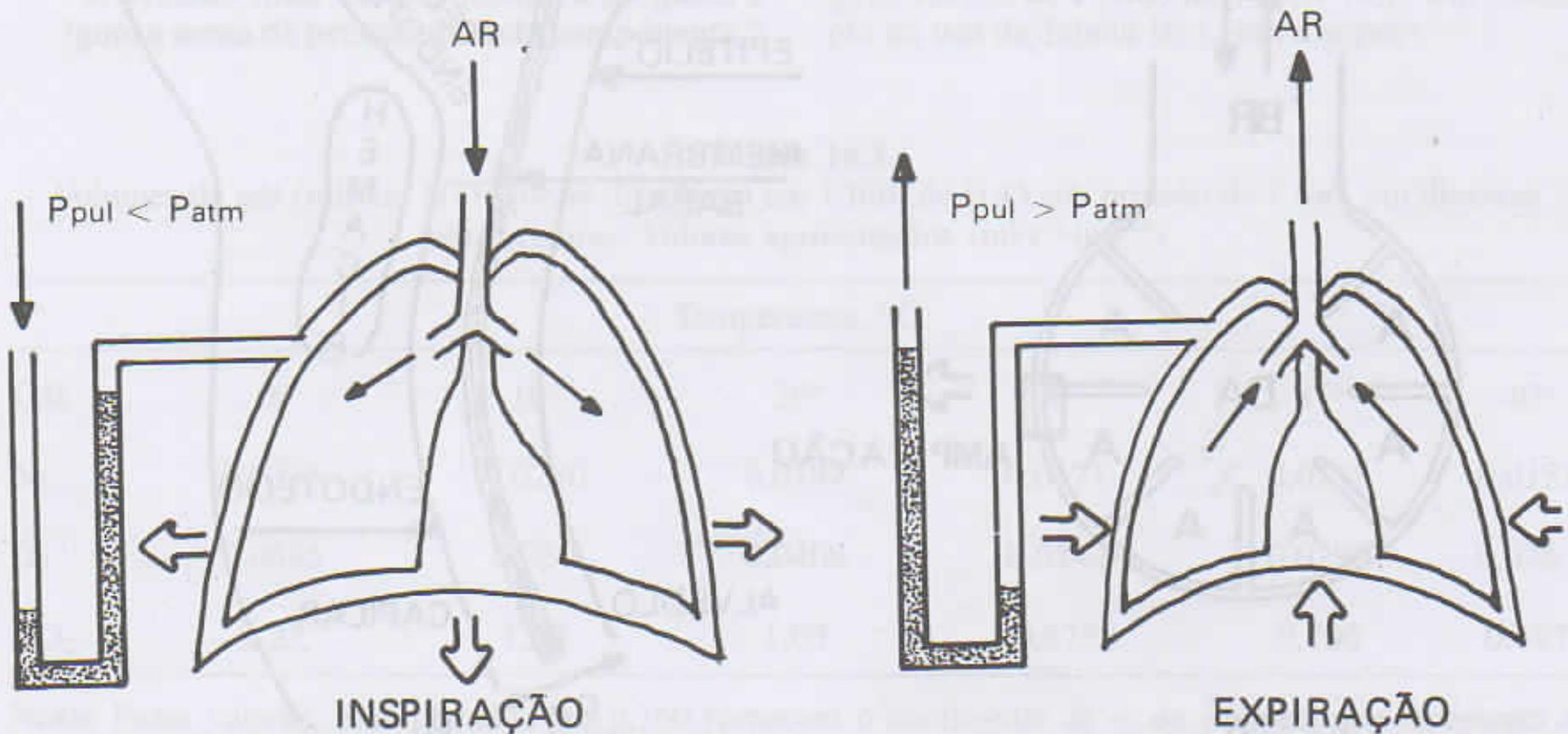
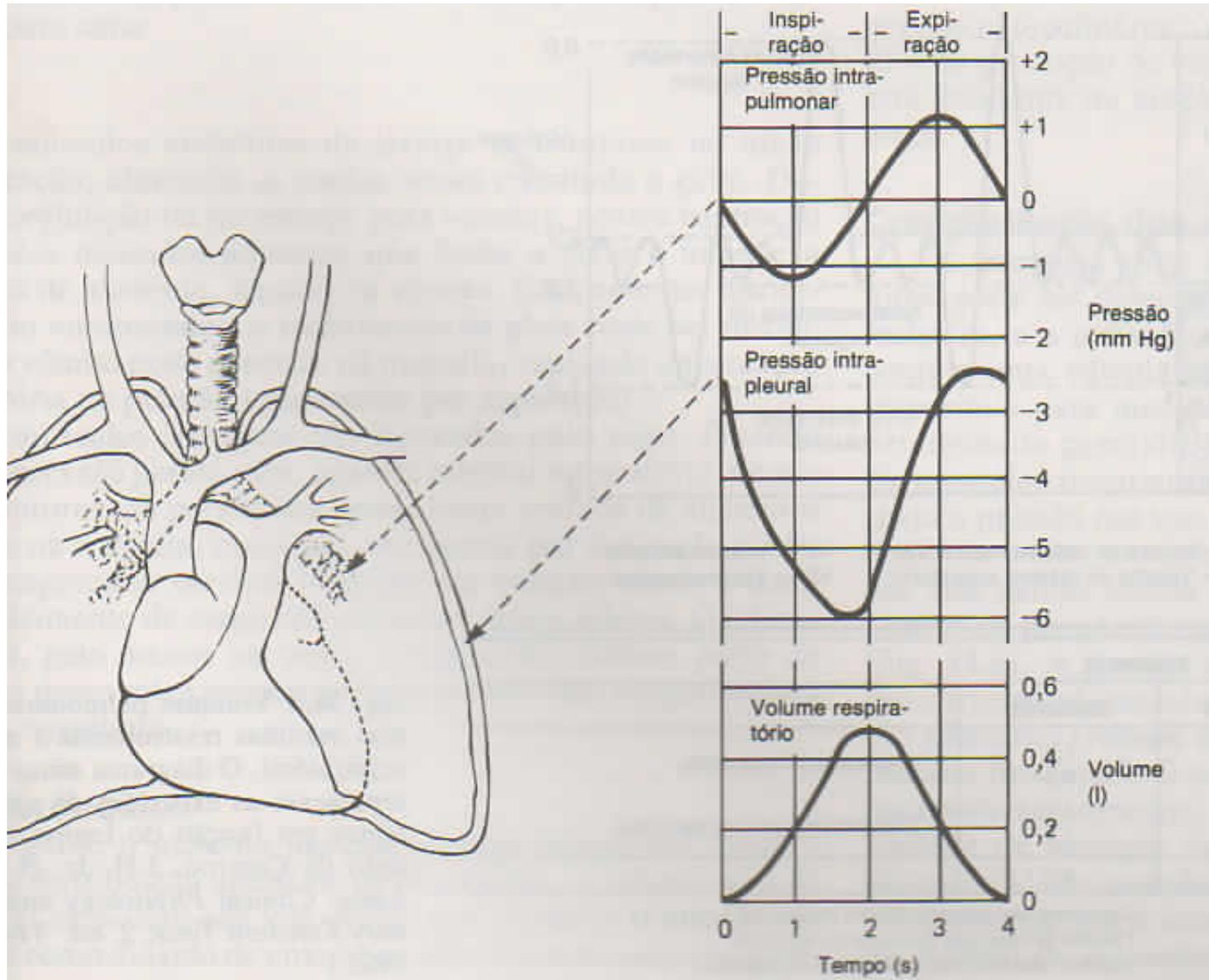


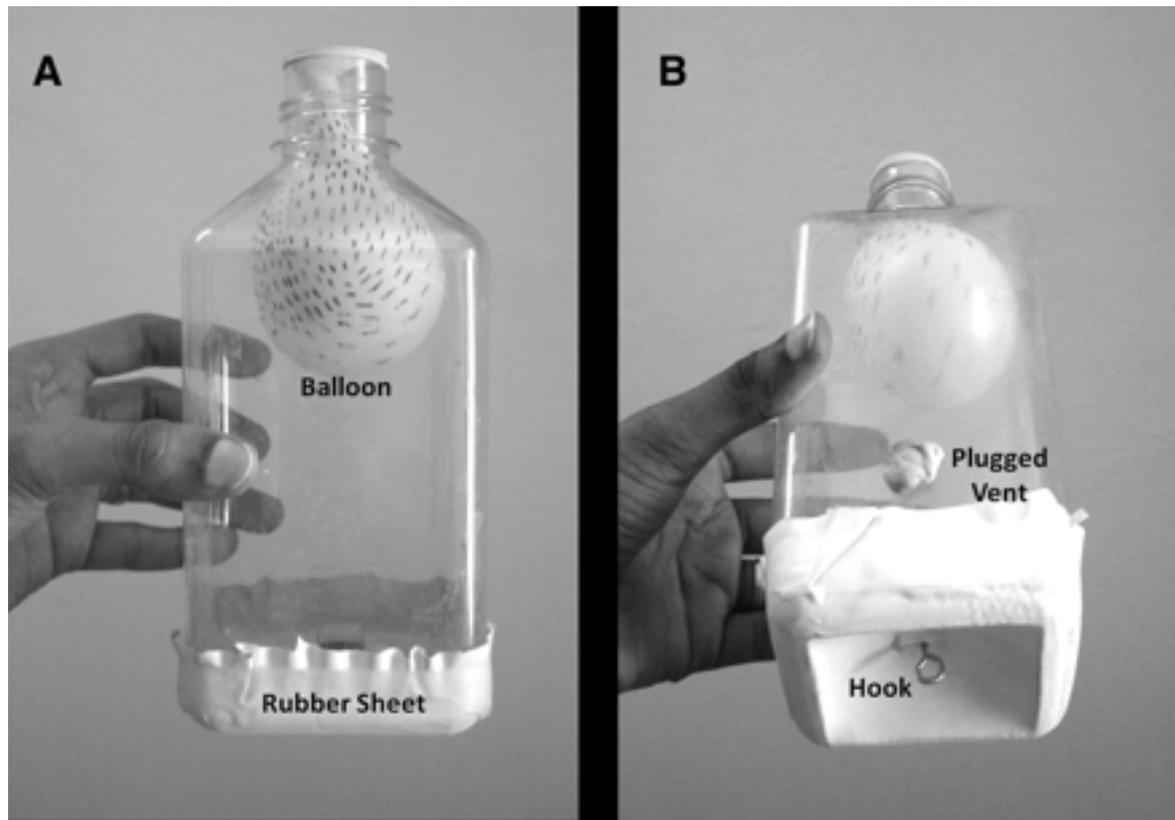
Fig. 16.6 – Relações de Pressão na Inspiração e Expiração. Setas duplas indicam os movimentos torácicos.

Pressão dos sistema pulmonar

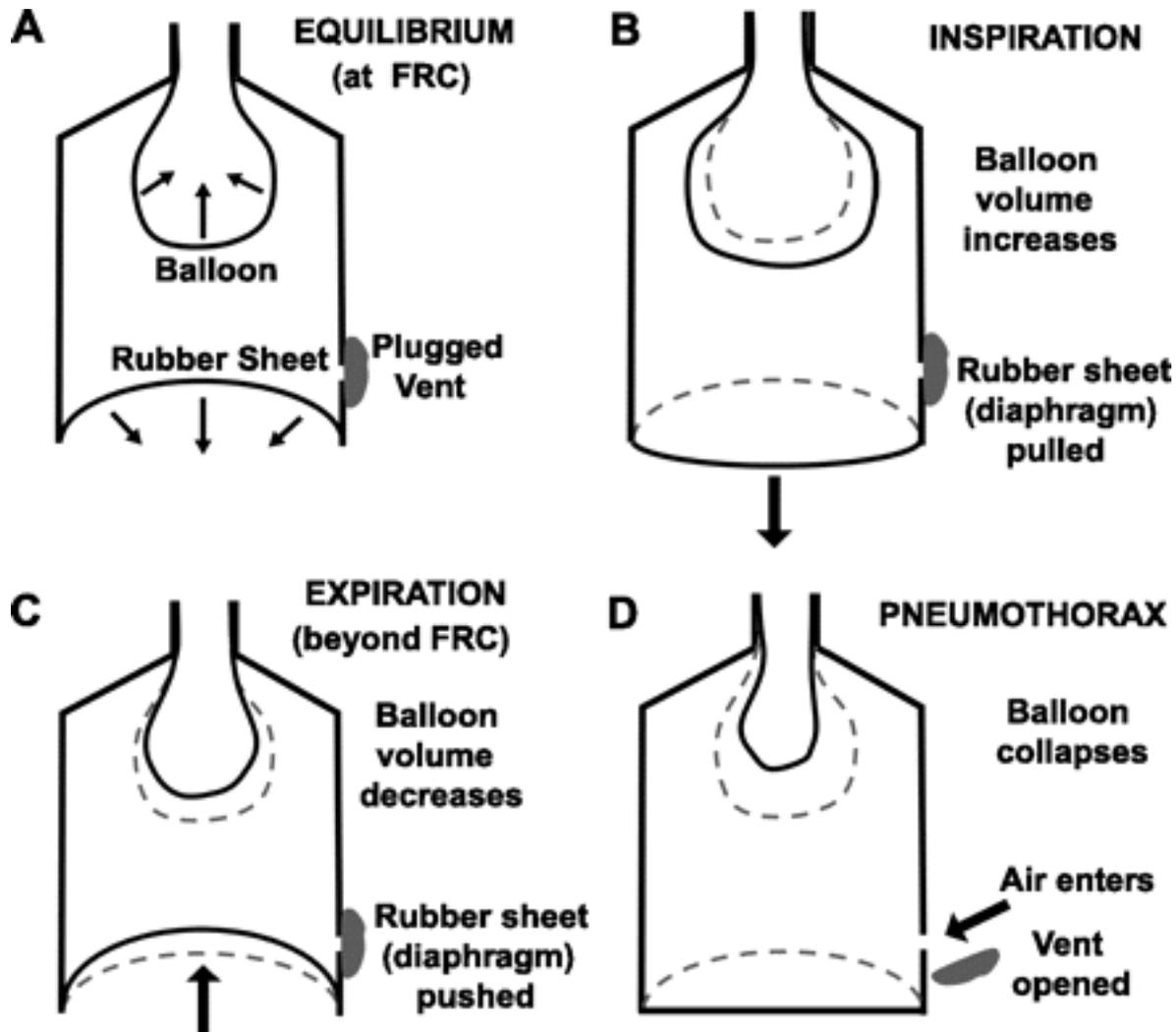


Referência: Ganong, W. F. – Fisiologia médica.

Modelo educacional para explicar o colapsamento do pulmão

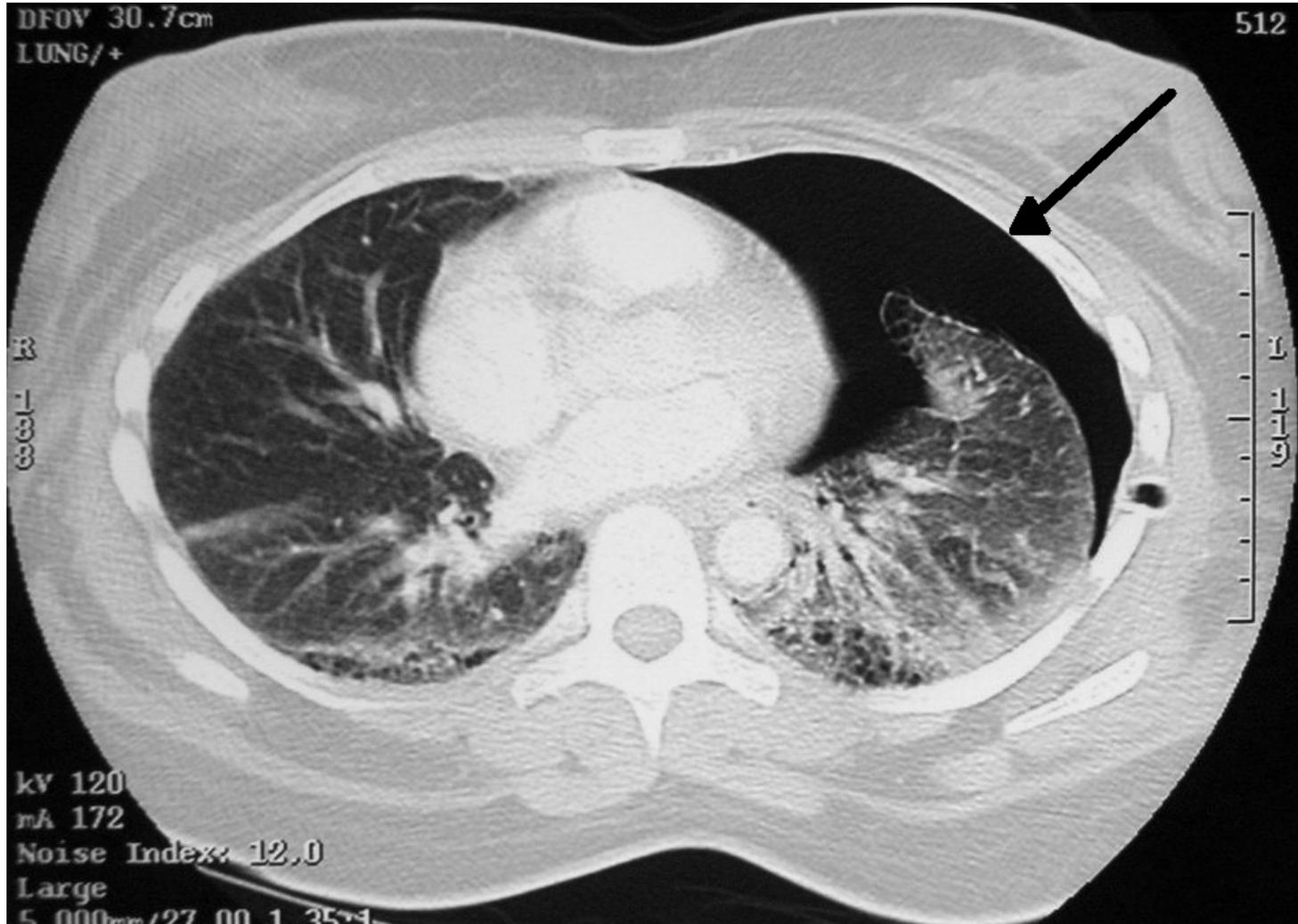


Referência: A simple model to demonstrate the balance of forces at functional residual capacity. Praghatharan Kanthakumar, Vinay Oommen *Advances in Physiology Education* Published 2012 **Vol. 36 no. 2**, 170-171 .



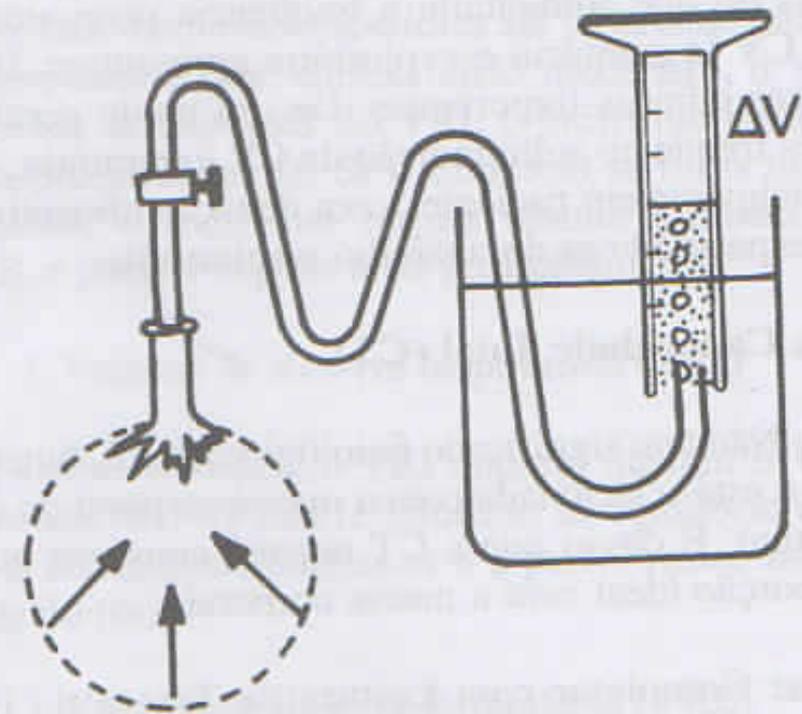
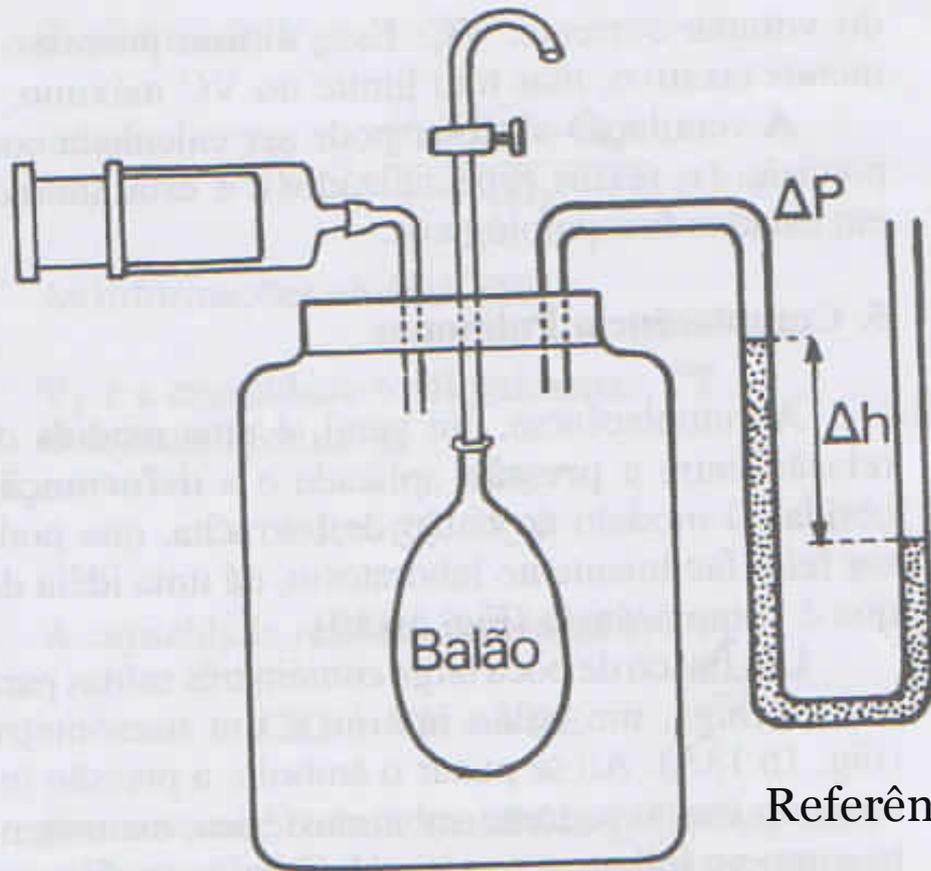
Referência: A simple model to demonstrate the balance of forces at functional residual capacity. Pragalathan Kanthakumar, Vinay Oommen *Advances in Physiology Education* Published 2012 **Vol. 36 no. 2**, 170-171 .

Pneumotórax ou pulmão colapsado



Modelo simplificado para a medida da Complacência (distencibilidade) pulmonar

$$Comp. = \frac{\Delta V}{\Delta P}$$



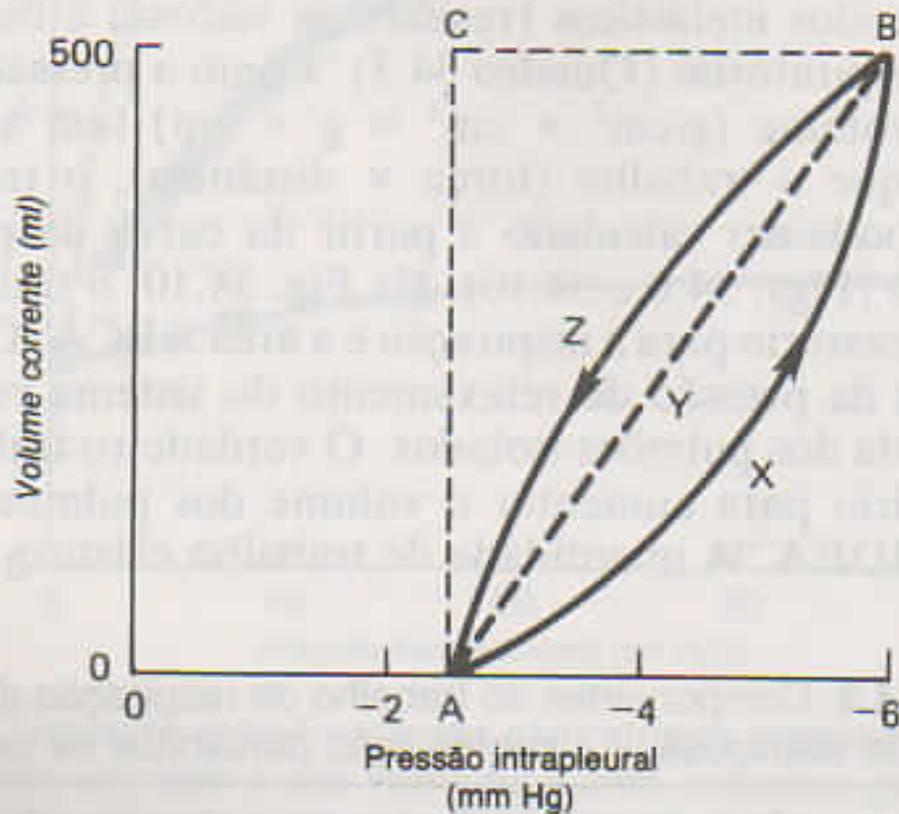
Referência: Heneine, I. F. – Biofísica Básica.

A

B

Medida da Complacência (distencibilidade) pulmonar

Para medir a complacência pulmonar introduz-se uma sonda esofagiana com um minúsculo balão de borracha na ponta. Na inspiração a pressão cai, é medida e o volume expelido também é deter.

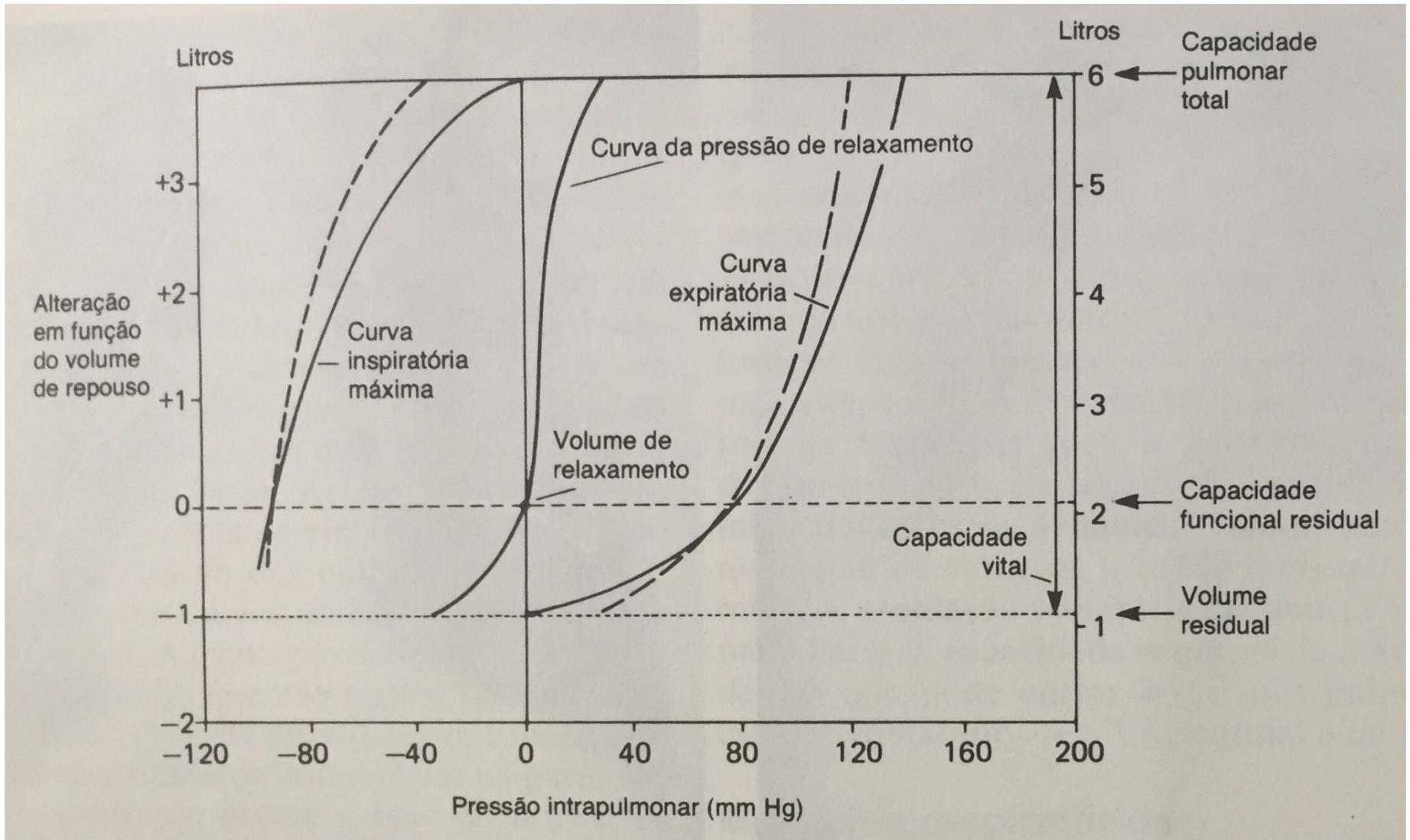


$$Comp. = \frac{\Delta V}{\Delta P}$$

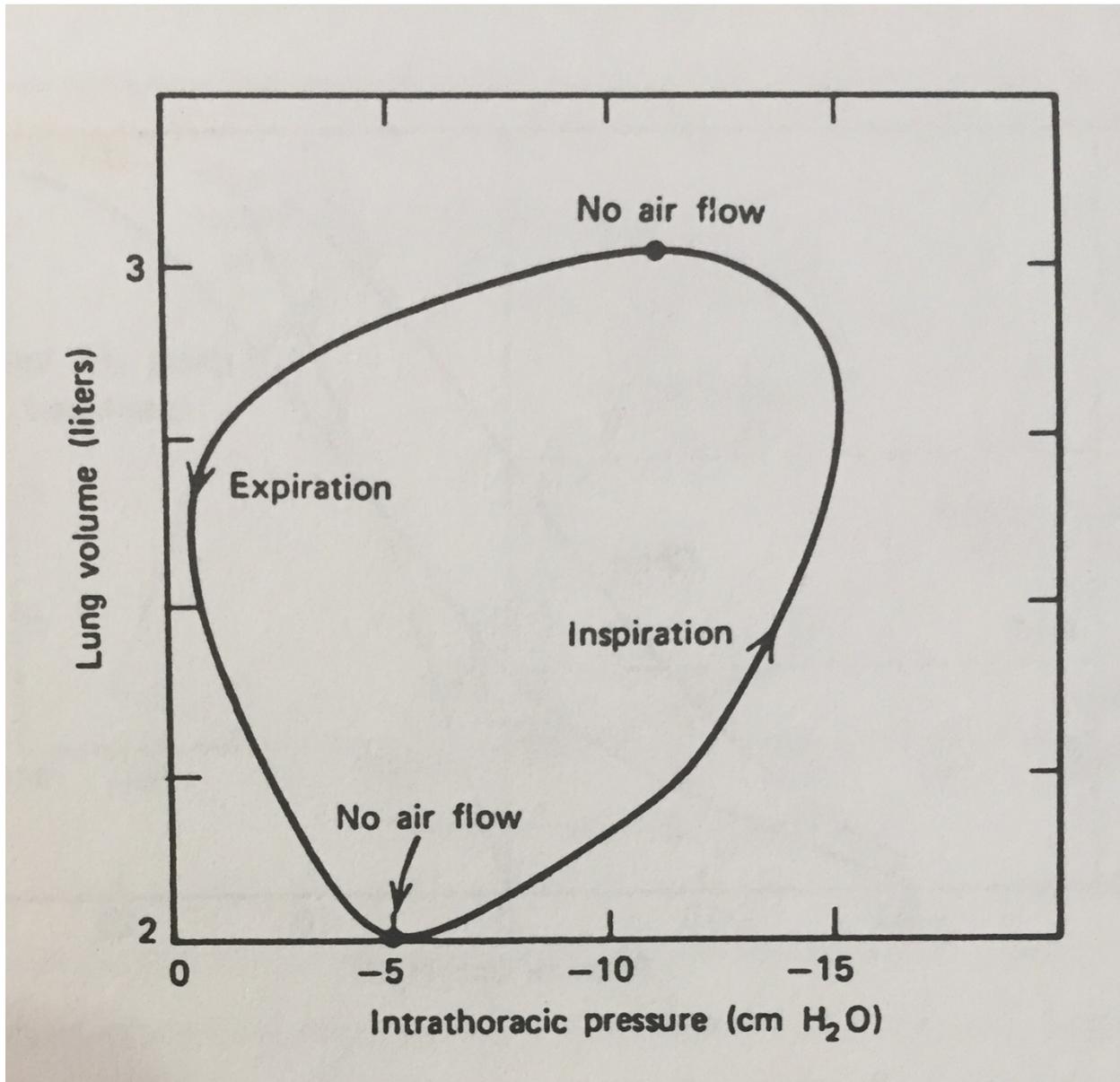
Fig. 34.11 Representação em diagrama das alterações de pressão e volume durante a inspiração (linha AXB) e expiração (linha BZA) silenciosas. A linha AYB é a linha da complacência.

Ganong, W. F. –
Fisiologia médica.

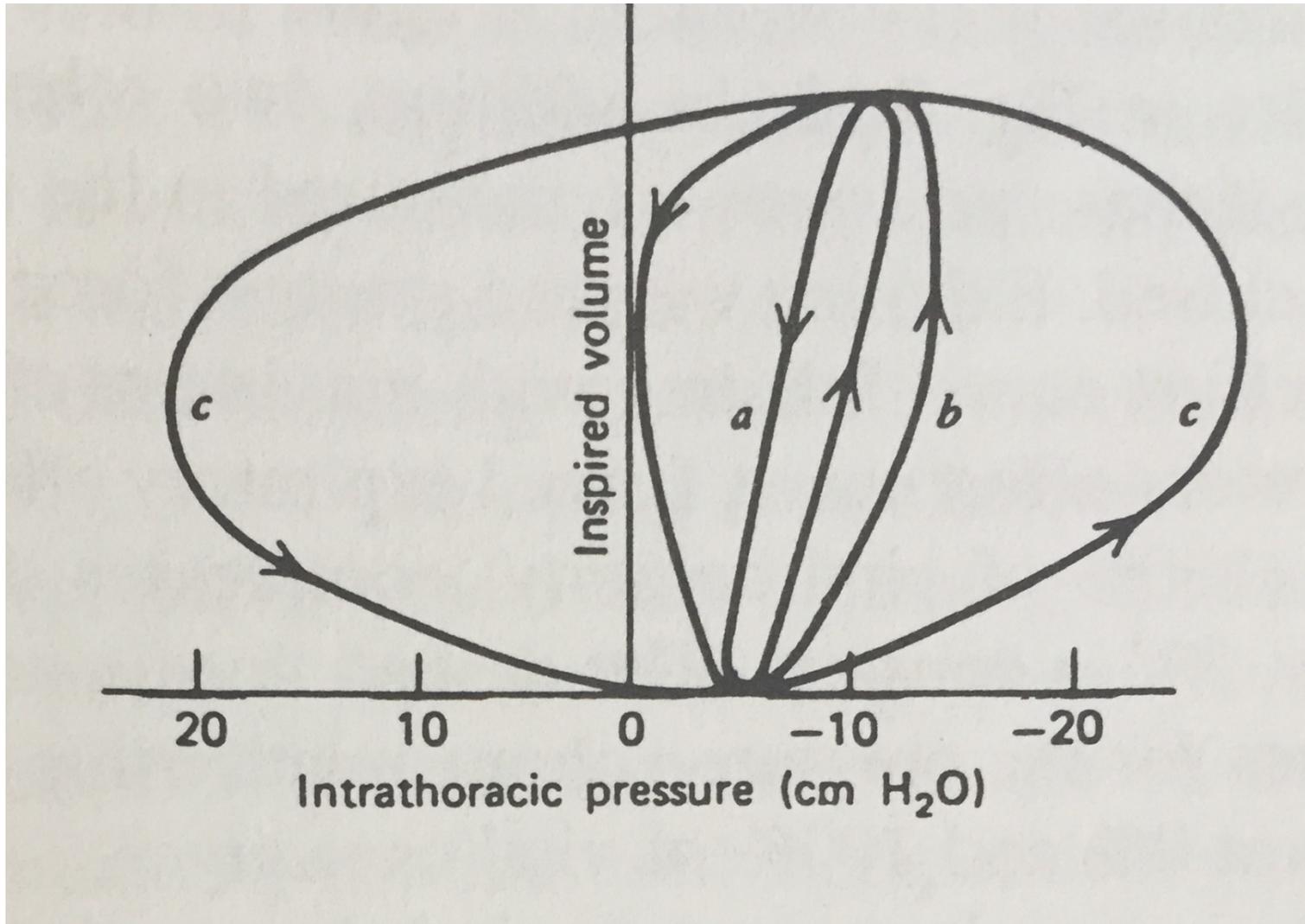
Relação entre pressão e volume intrapulponar



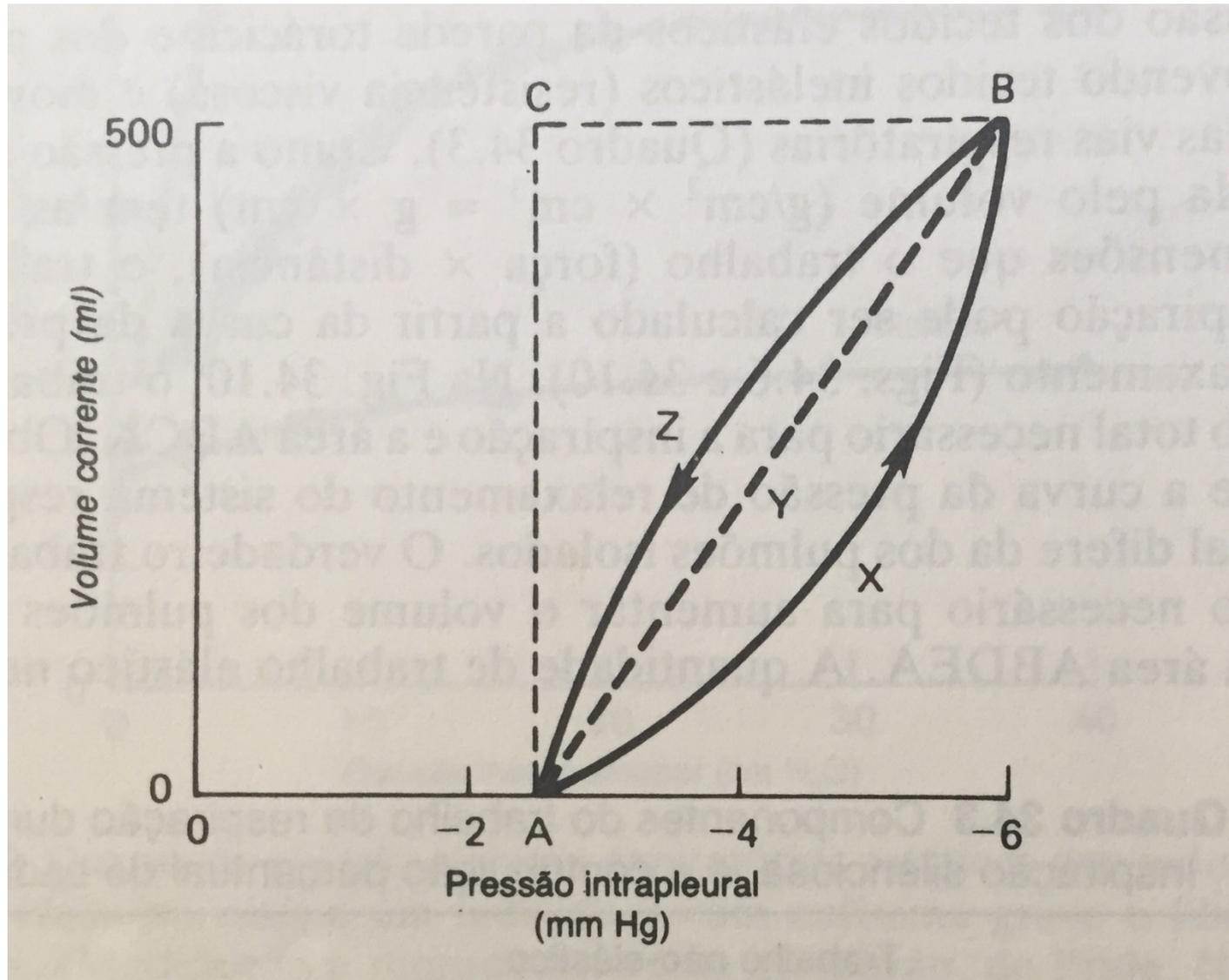
Pressão intratorácica e o volume no pulmão



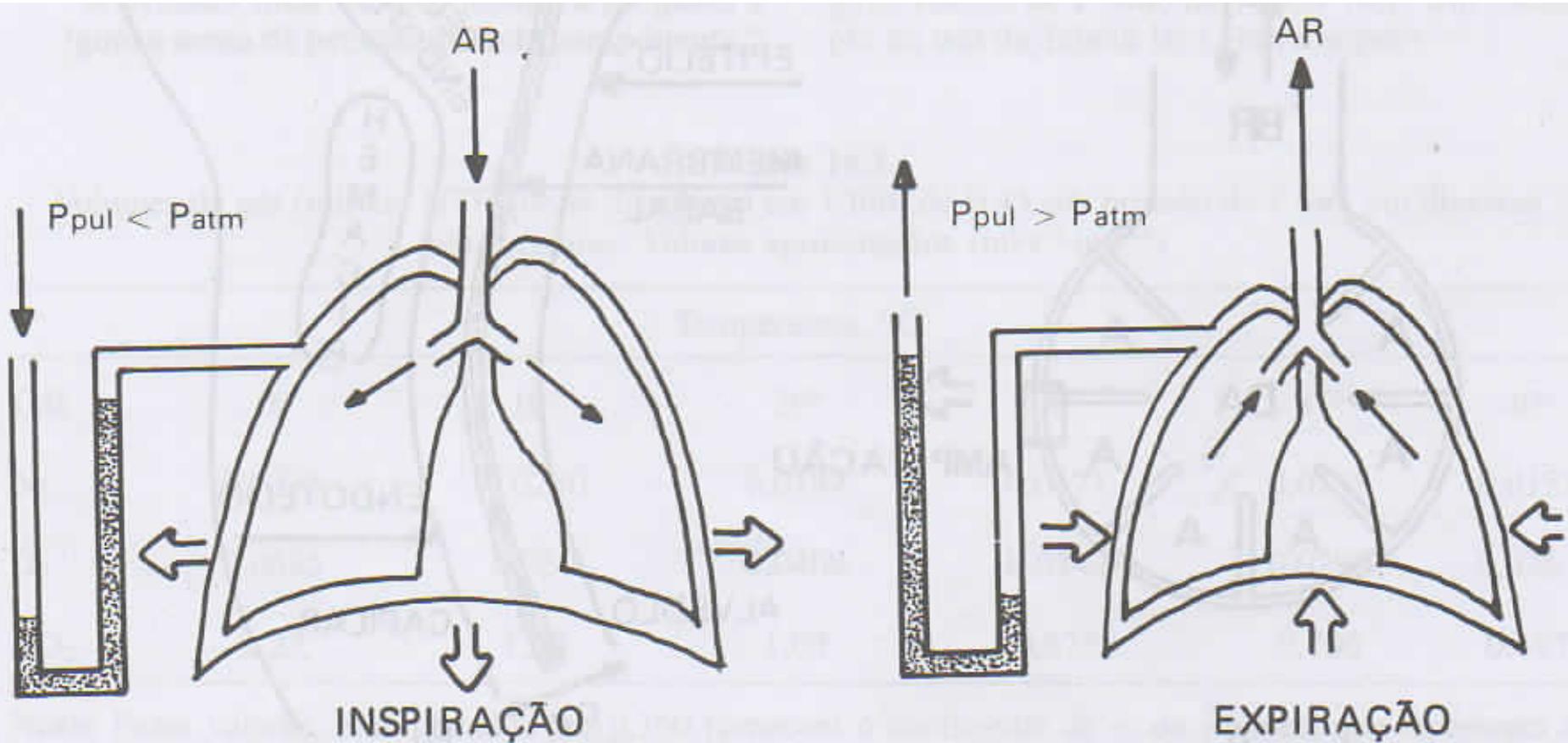
Perfil P-V para 3 diferentes intensidades de respiração



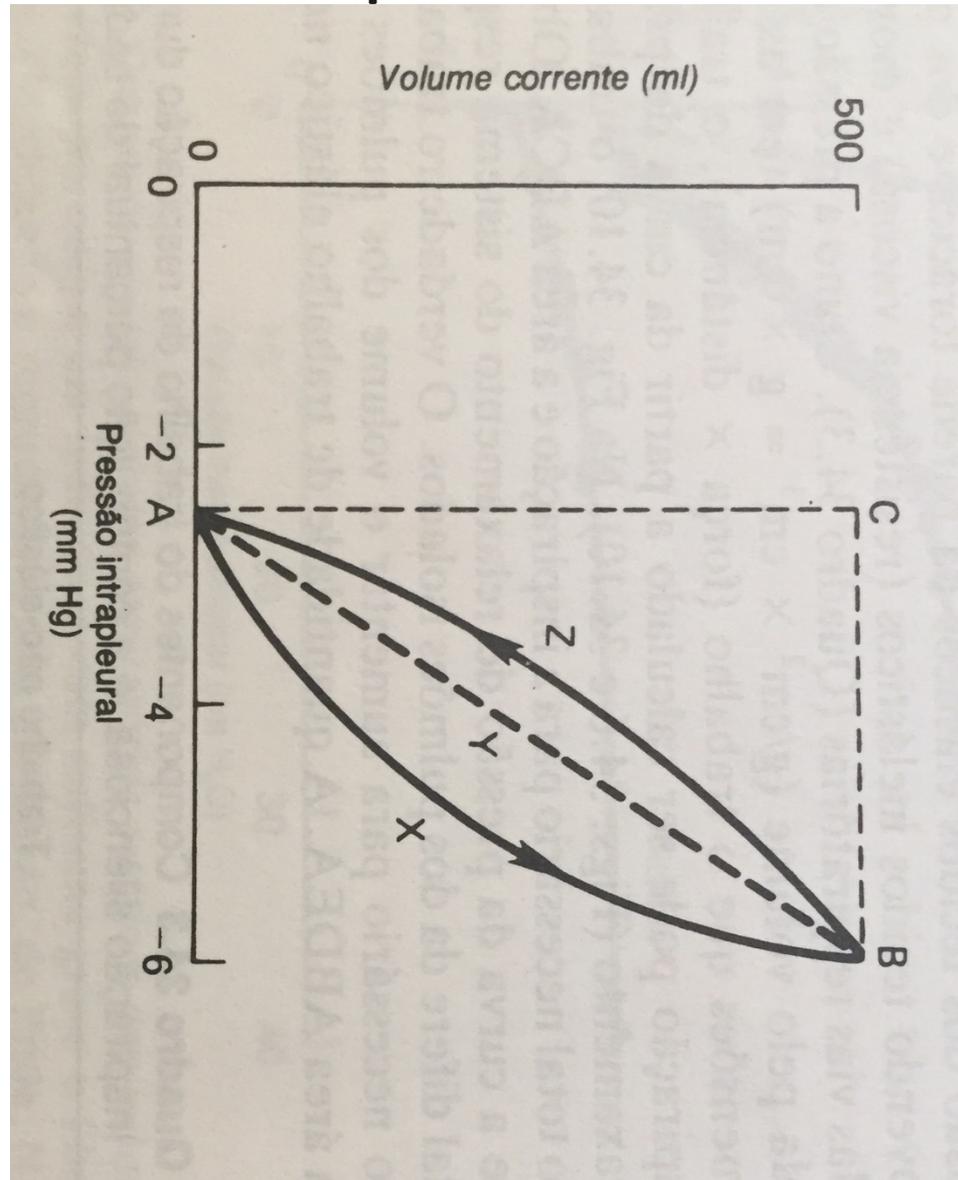
Um Perfil P-V simplificado para cálculo do trabalho



Trabalho realizado pelo pulmão durante a respiração



Ou invertido Mais adequado para visualizar uma pressão constante



Modelos simplificados para cálculo do trabalho realizado pelo pulmão

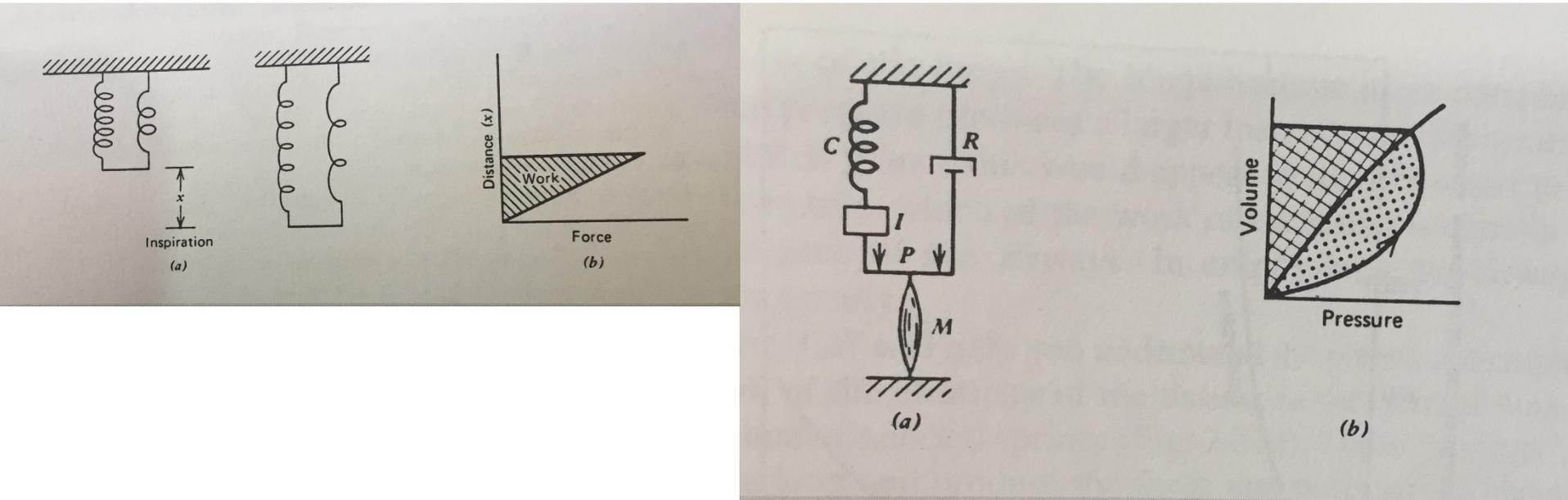
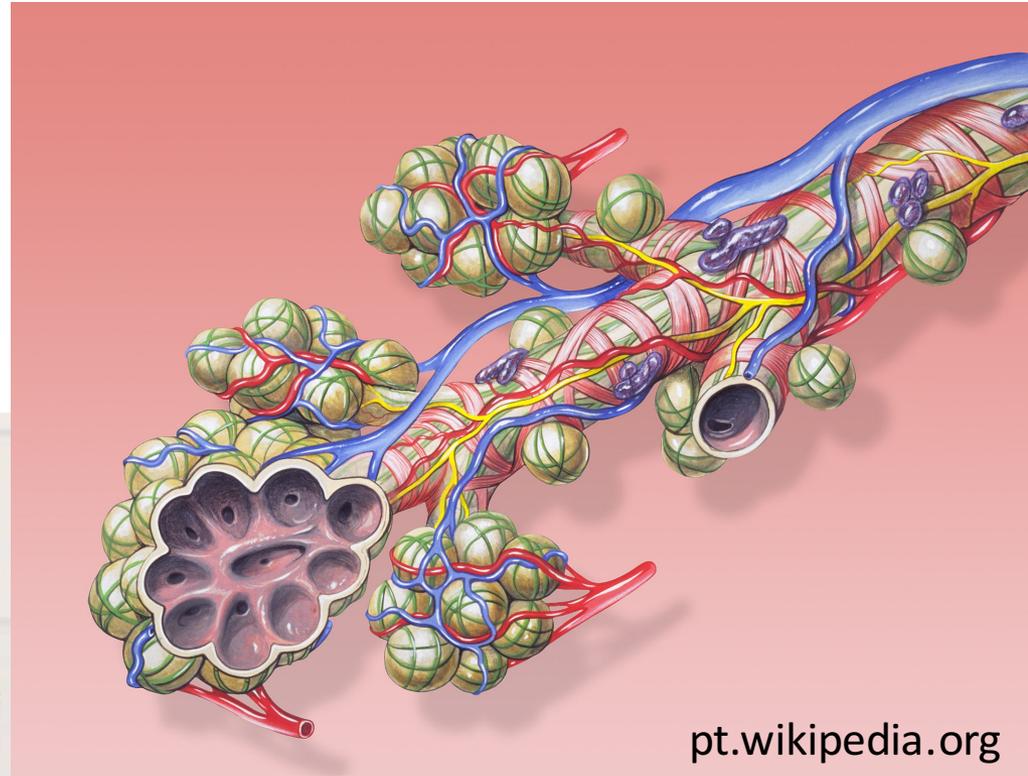
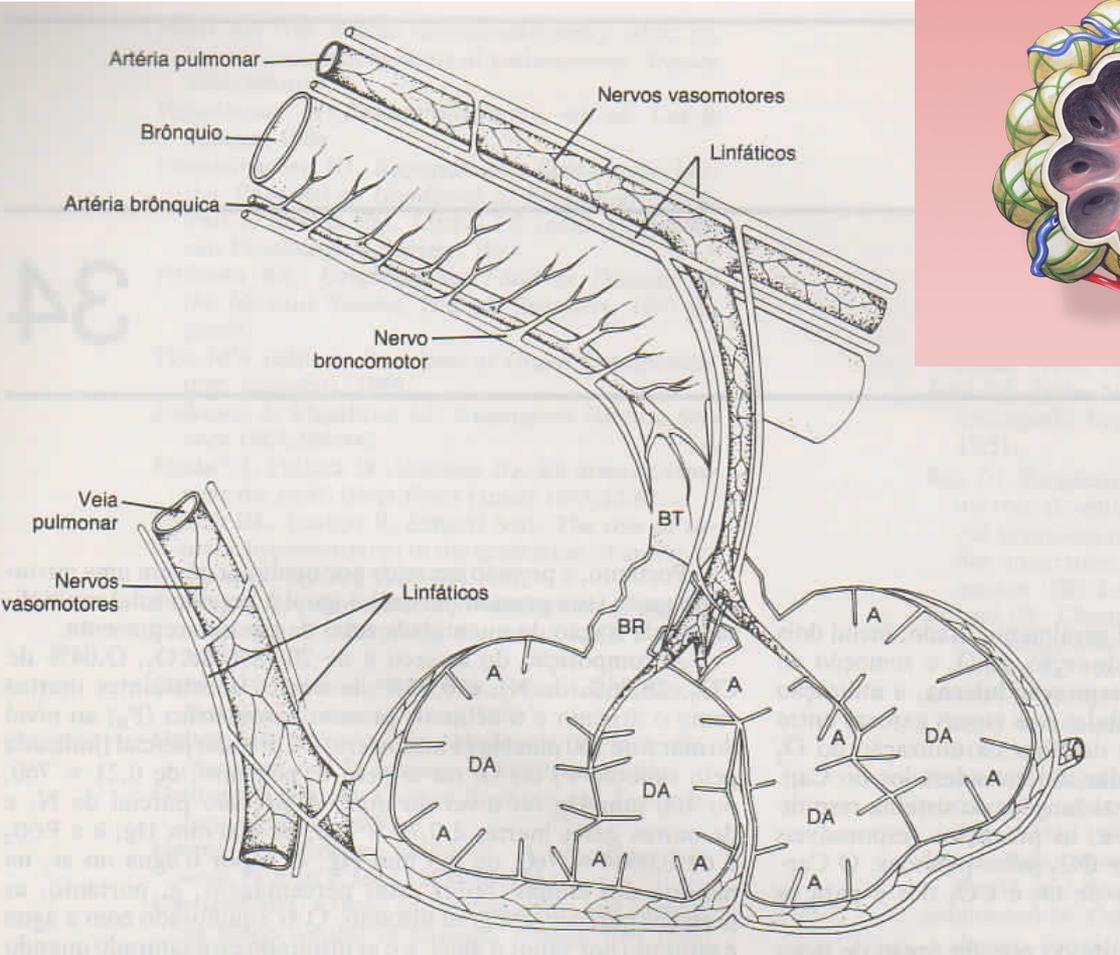


Figure 7.25. (a) A better model of the work of breathing. C represents the springs of the lung-chest-diaphragm system, R is the resistance to tissue motion and gas flow, I is the inertia of the moving parts, P is the pressure, and M represents the breathing muscles. (b) Work done. The cross-hatched shaded area represents the work against the spring C , and the dotted area represents the work against the resistance R .

Estrutura dos alvéolos pulmonares



pt.wikipedia.org

Estrutura do pulmão e alvéolos

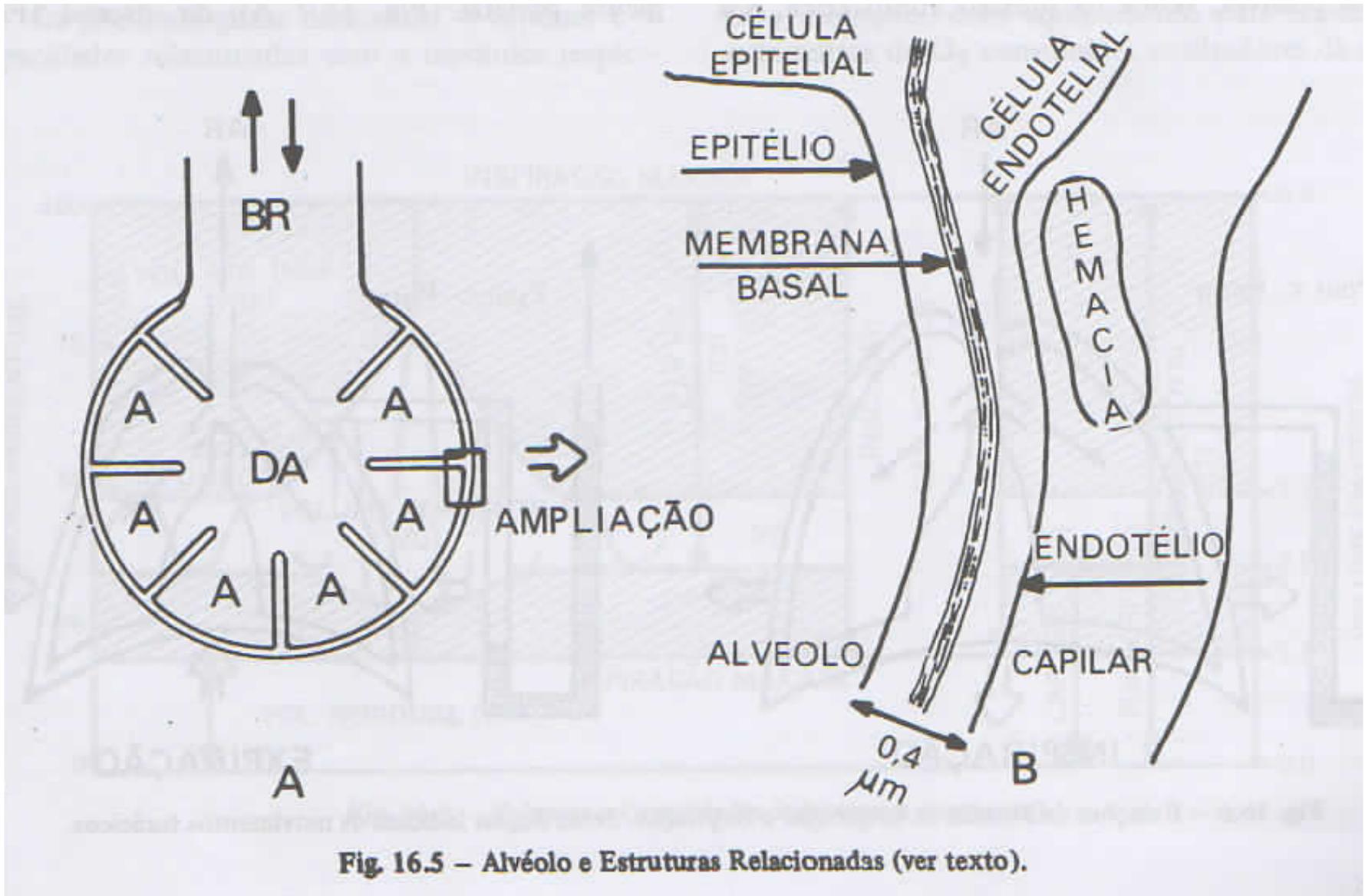


Fig. 16.5 – Alvéolo e Estruturas Relacionadas (ver texto).

Tensão superficial nos alvéolos

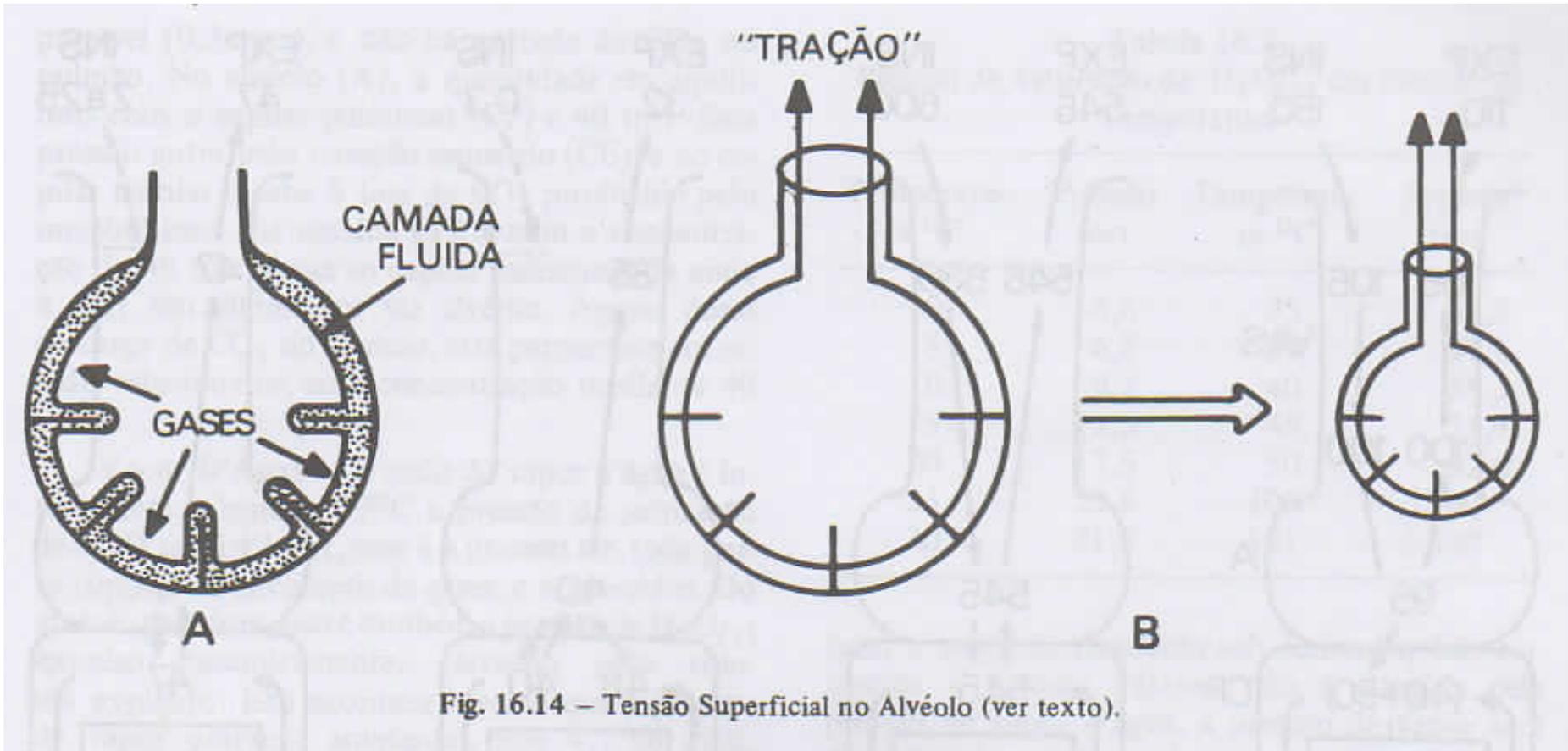
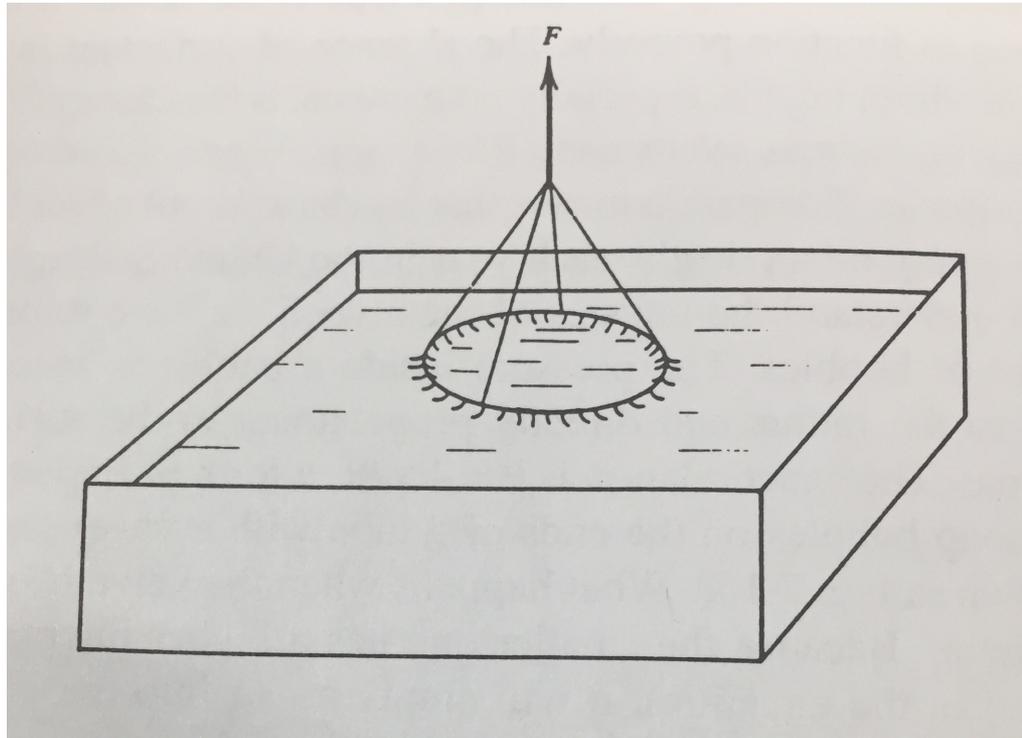


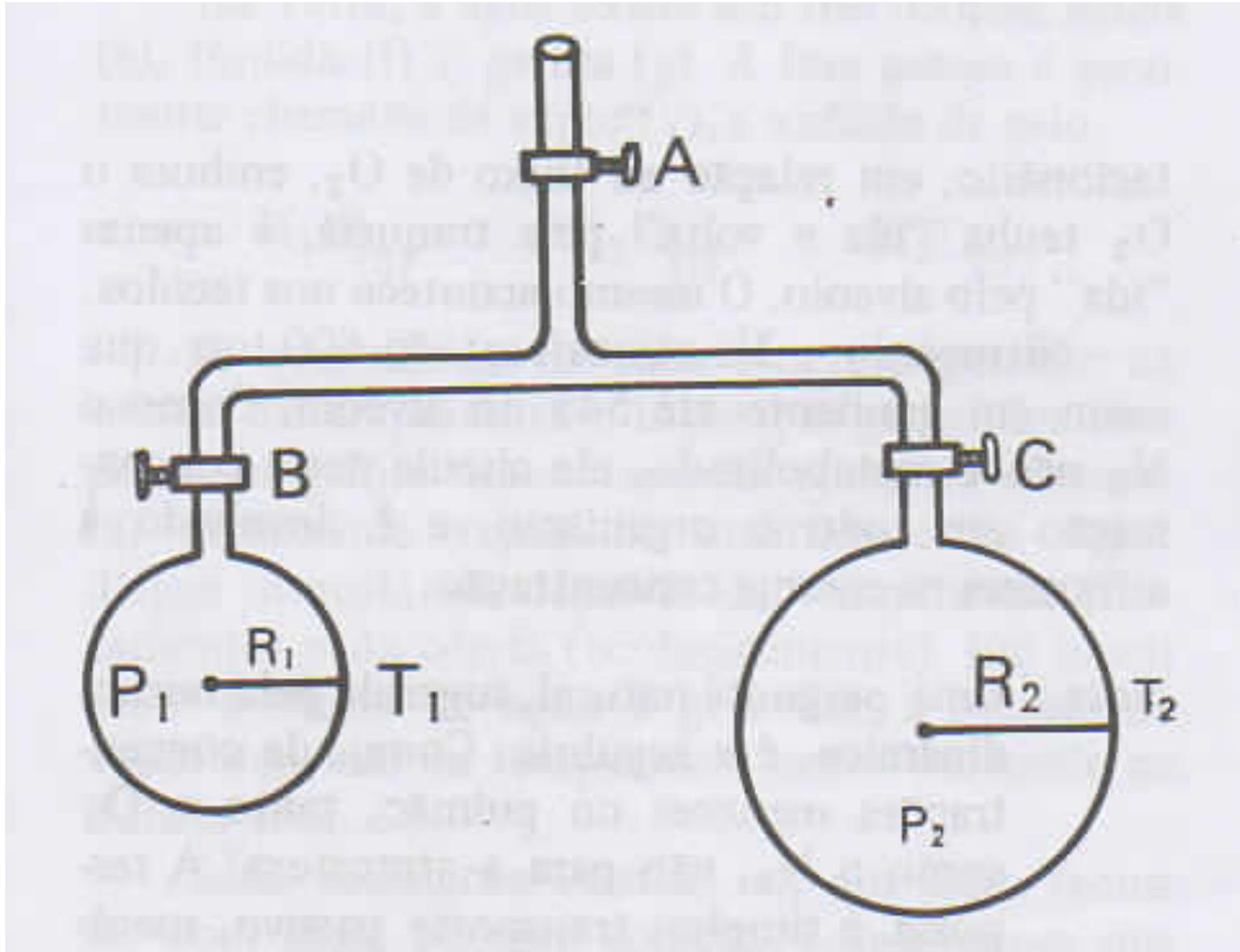
Fig. 16.14 – Tensão Superficial no Alvéolo (ver texto).

Referência: Heneine, I. F. – Biofísica Básica.

Como mensurar a Tensão superficial experimentalmente



Lei de Laplace



Referência: Heneine, I. F. – Biofísica Básica.

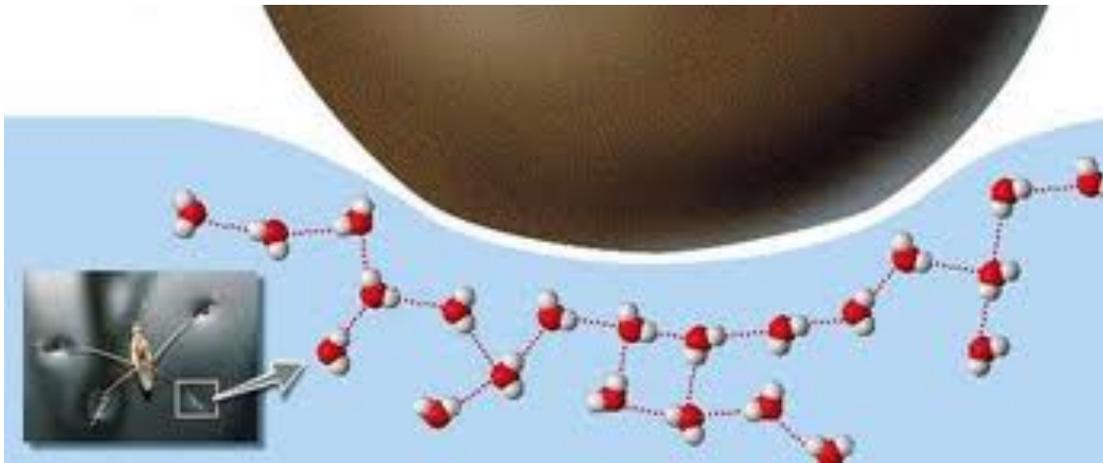
Tensão superficial de uma superfície

Esta propriedade é causada pelas forças de coesão entre moléculas do fluido.

A tensão superficial representa a força que deve ser feita para a penetração de objetos em uma superfície líquida; ela representa a força dividida pela distância onde há o contato, ou trabalho realizado dividido pela área onde houve a penetração. Equacionando, temos:

$$T = \frac{\text{Força}}{\text{distância}} = \frac{[kg \cdot m/s^2]}{[m]} = [kg/s^2]$$

$$\sigma = \frac{\text{Trabalho}}{\text{Área}} = \frac{[(Kg \cdot m / s^2) \cdot (m)]}{[m^2]} = \left[\frac{Kg}{s^2} \right]$$



Efeitos originados da tensão superficial nos alvéolos

Barreira de difusão

Quanto maior é a tensão superficial da fina camada que recobre o alvéolo, mais difícil se torna a penetração de O_2 porque a camada monomolecular de líquido é uma barreira.

Exemplo: tensão superficial da água é de $71 \times 10^{-3} \text{N/m}$. No pulmão, biomoléculas tensoativas diminuem este valor para $4-15 \times 10^{-3} \text{N/m}$.

Fechamento dos alvéolos

Outro problema que pode ocorrer é a implosão dos alvéolos, pela lei de Laplace, a pressão da parede sobre o interior dos alvéolos é maior nos alvéolos menores. Isto não ocorre normalmente por causa da presença de tensioativos (surfactantes) presentes no pulmão.

Trocas gasosas no pulmão e composição do ar alveolar

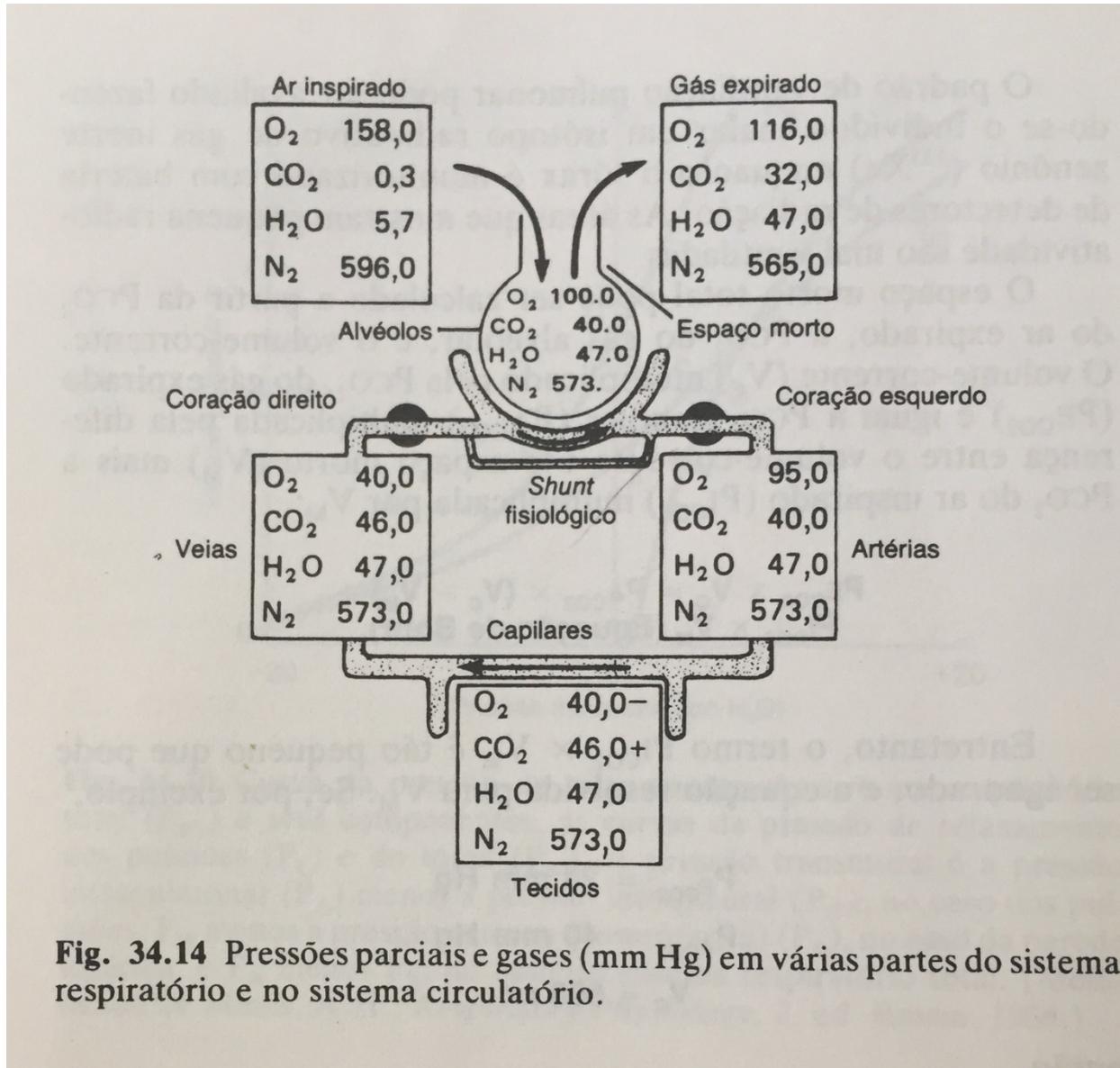
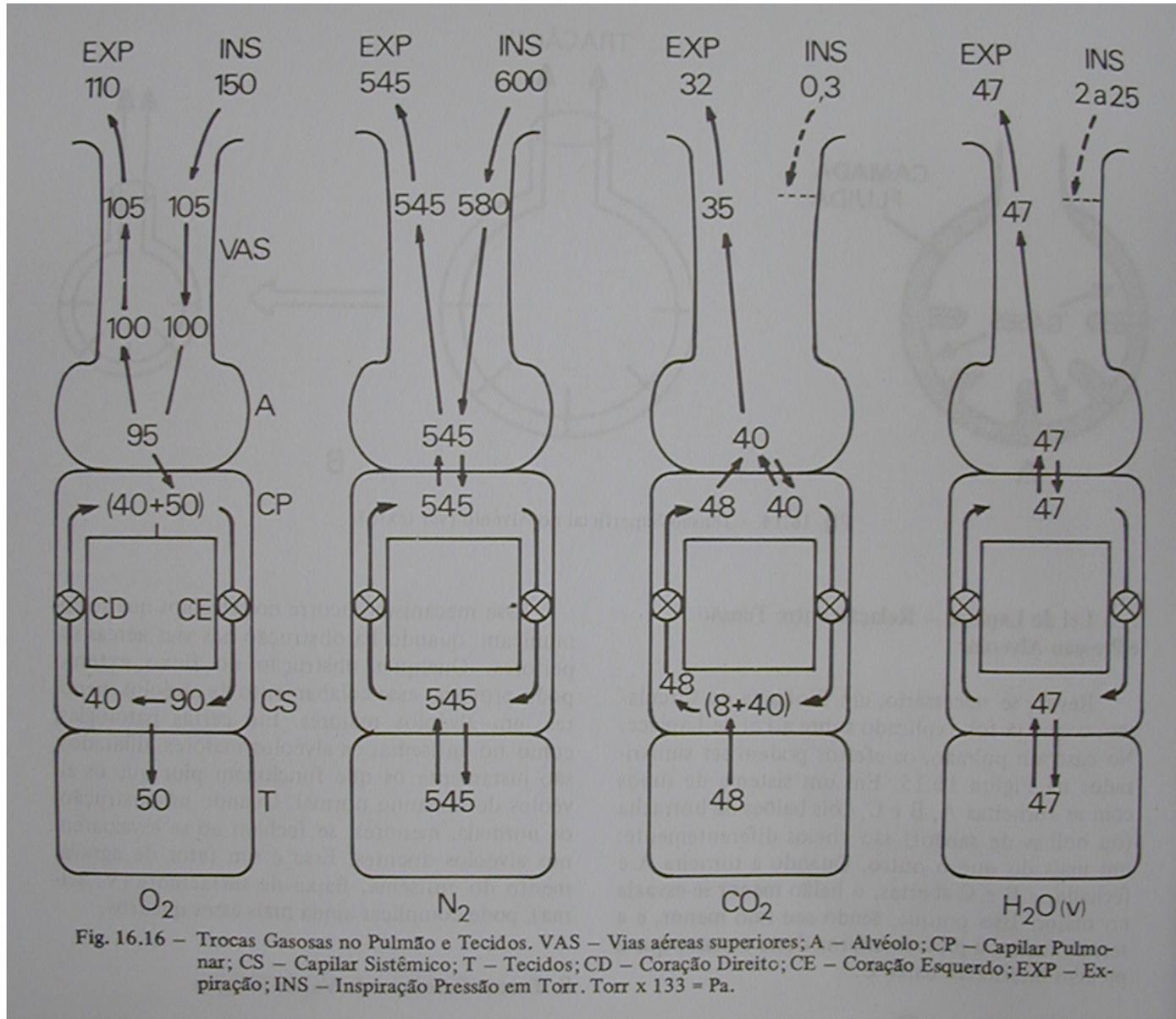


Fig. 34.14 Pressões parciais e gases (mm Hg) em várias partes do sistema respiratório e no sistema circulatório.

Trocas gasosas no pulmão e composição do ar alveolar



Algumas Leis relacionadas à gases

Lei de Boyle-Mariotte

Lei de Gay-Lussac-Charles

Leis dos gases ideais

Lei de Henry: Define o volume de um gás dissolvido em um líquido

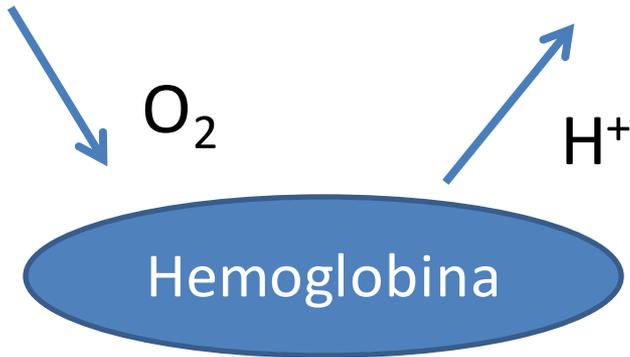
Lei de Dalton: a pressão total de uma mistura de gases é igual à soma da pressão de cada componente.

Lei de Graham: A difusão de um gás é inversamente proporcional à raiz quadrada de sua massa molecular.

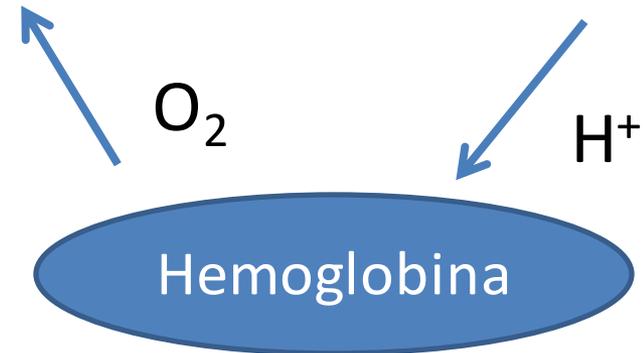
Efeito Bohr

Quando a hemoglobina (Hb) se liga ao oxigênio, ela libera prótons H^+ e quando se desliga do O_2 , ela incorpora H^+ .

Assim, se a Hb é colocada num meio contendo excesso de prótons (pH mais baixo) ela diminui sua afinidade pelo O_2 , e cede O_2 com mais facilidade; e se colocada num meio de pH mais elevado, ela aumenta sua afinidade pelo O_2 .



Meio básico (pH alto)

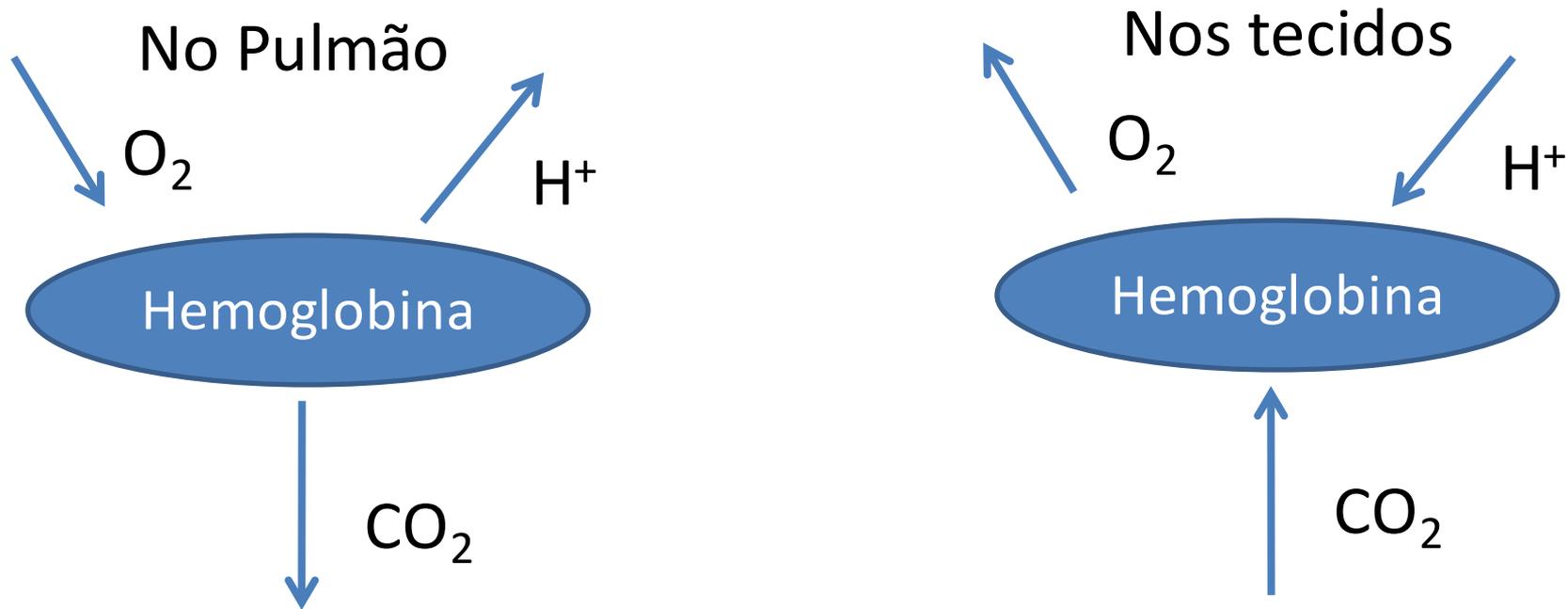


Meio ácido (pH baixo)

Efeito Haldane

Quando a Hb se liga ao O_2 , sua afinidade pelo CO_2 é diminuída e quando se desoxigena, sua afinidade pelo CO_2 aumenta.

Assim, em meio de maior pressão de CO_2 , a afinidade de O_2 diminui, em meio de menor pressão de CO_2 , a afinidade pelo O_2 aumenta.



Esses efeitos são adjuvantes no transporte de H^+ e CO_2 : No pulmão a Hb se liga ao oxigênio, e desprende H^+ e CO_2 que forma $H.HCO_3$ e são exalados. Nos tecidos, a Hb libera o O_2 e se combina com maior afinidade ao H^+ e CO_2 .

Exemplo de trocas gasosas nos alvéolos

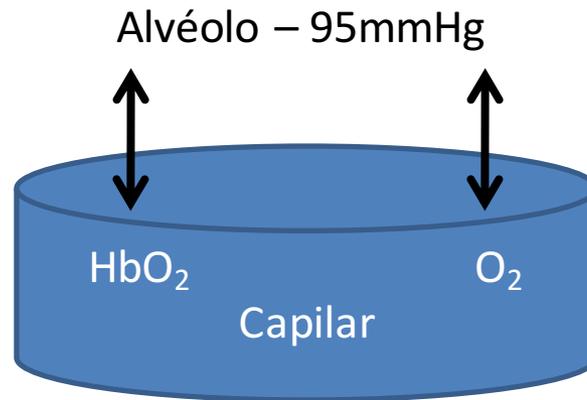
Os gases se encontram nos líquidos de duas formas: combinado com solutos ou dissolvido fisicamente.

No exemplo do sangue temos o Oxigênio combinado com a hemoglobina (HbO_2) ou dissolvido no sangue.

Exemplo: no capilar do alvéolo O_2 dissolvido no sangue:

$$V_d = PfV = (95\text{mmHg})(0,029)(1\text{l}) = 2,75\text{ml}$$

Há 2,75 ml de O_2 dissolvido em um litro de plasma a 37°C ; onde f é o fator de solubilidade dado como ml/LmmHg, ou seja, é um fator que representa a quantidade de oxigênio em ml dissolvida em litros de sangue para cada mmHg aplicado.



Fator de solubilidade de alguns gases dissolvidos em água a diferentes temperaturas

Tabela 16.1

Volumes de gás (ml) em NTP que se dissolvem em 1 litro de H₂O sob pressão de 1 torr, em diversas temperaturas. Valores aproximados (ml·l⁻¹·torr⁻¹)

| Gás | Temperatura, °C | | | | | |
|-----------------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 0° | 10° | 20° | 30° | 37° | 40° |
| N ₂ | 0,0315 | 0,0250 | 0,0197 | 0,0171 | 0,0158 | 0,0152 |
| O ₂ | 0,0645 | 0,050 | 0,0408 | 0,0342 | 0,0290 | 0,0263 |
| CO ₂ | 2,23 | 1,58 | 1,05 | 0,875 | 0,700 | 0,697 |