

# Movimentos e propriedades dos fluidos

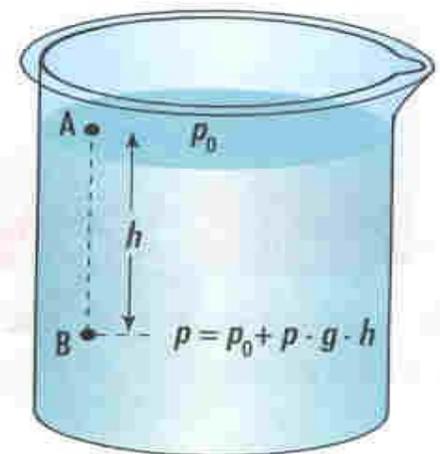
# Pressão exercido pelos fluidos

- Um dos efeitos físicos dos fluidos quando há corpos em seu interior ou sobre ele é a pressão exercida pelo fluido na superfície externa dos corpos.

$$P = \frac{F}{A} \quad (N/m^2 = Pa)$$

➤ **Pressão hidrostática:** O fluido contido em um recipiente exerce sobre uma área de sua parede (A), uma força (F) perpendicular a ela

- Se o fluido contido num recipiente não estiver sujeito a nenhuma força externa a pressão em todos os pontos do recipiente será constante (= força resultante nula)
  - Existindo a força gravitacional, no plano horizontal a pressão será constante, mas no plano vertical não.



$$P = P_0 + P'$$

$$P = P_0 + \rho g h$$

sendo  $P_0$  a pressão na superfície livre do fluido

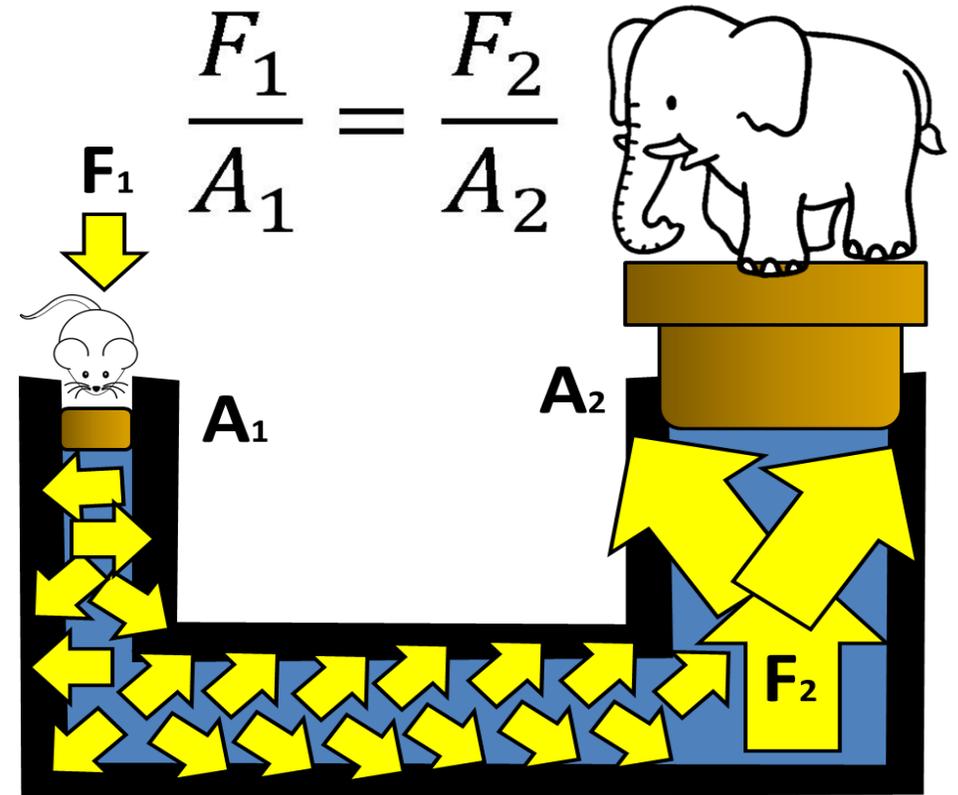
# Princípio de Pascal

***“Alteração de pressão produzida em um fluido transmite-se integralmente a todos os pontos do líquido e às paredes do recipiente”.***

- A transmissão do aumento de pressão é instantânea em líquidos devido a sua incompressibilidade.
- Uma aplicação é a prensa hidráulica ( $A_1 < A_2$ ):
  - Ao se aplicar uma força no cilindro 1, o líquido fica sujeito a uma pressão  $P_1$
  - $P_1$  é transmitida para o cilindro 2

$$P_1 = P_2 \rightarrow \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \rightarrow F_2 = F_1 \frac{A_2}{A_1}$$

Ex 1: Se o raio de  $A_1$  for 0,5cm, o raio de  $A_2$  for 4,0cm e a força  $F_1$  for 50N, qual a força  $F_2$ ?

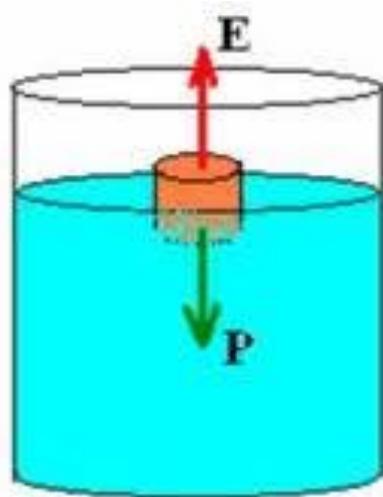
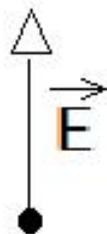
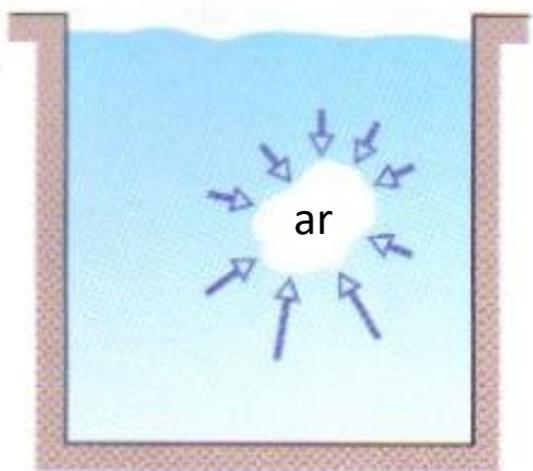


Prensa hidráulica

# Princípio de Arquimedes

- As forças de pressão sobre a superfície do corpo imerso no fluido originam uma força resultante denominada **empuxo** de direção vertical e sentido para cima.

**“O empuxo ou força de flutuação exercida pelo fluido sobre o corpo é igual ao peso do fluido deslocado pelo corpo”.**



- Pelo princípio de Arquimedes:

$$E = P_f = m_f g = \rho_f g V$$

- Força total experimentada pelo corpo:

$$F_t = E - P = \rho_f g V - \rho_0 g V$$

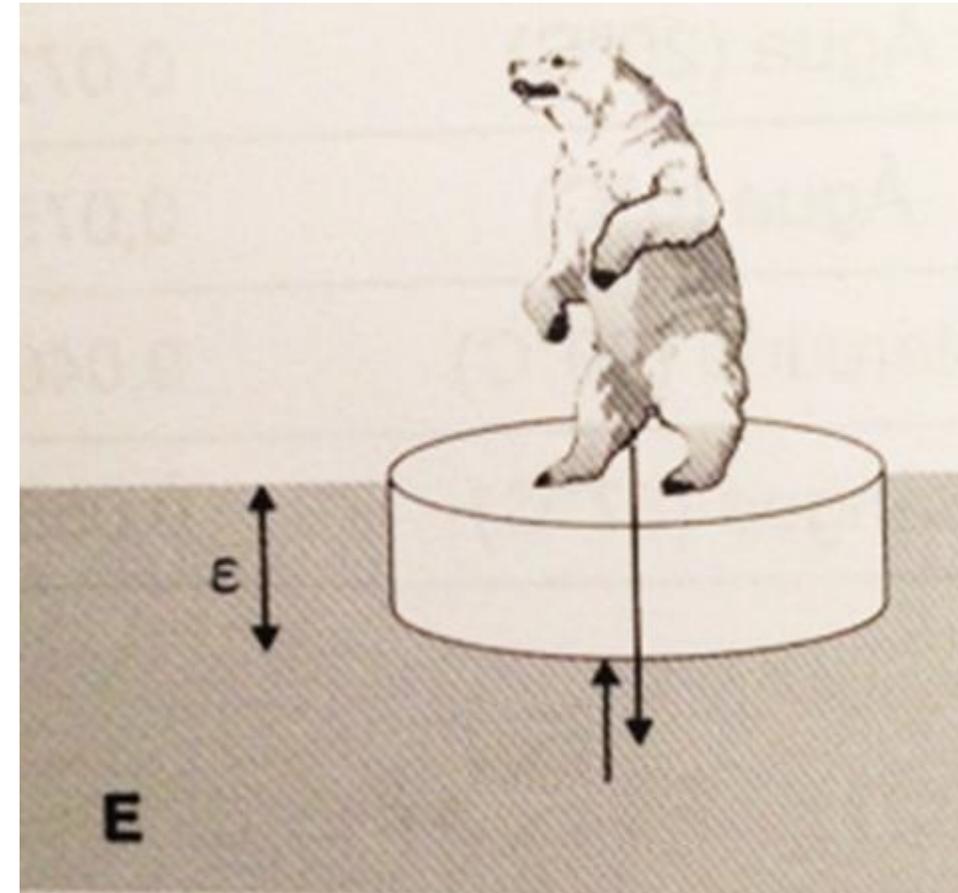
$$F_t = (\rho_f - \rho_0) g V$$

Pergunta 1: Quando o corpo afunda? E quando ele flutua?

Pergunta 2: Como os animais aquáticos se mantêm em repouso em profundidade diversas na água?

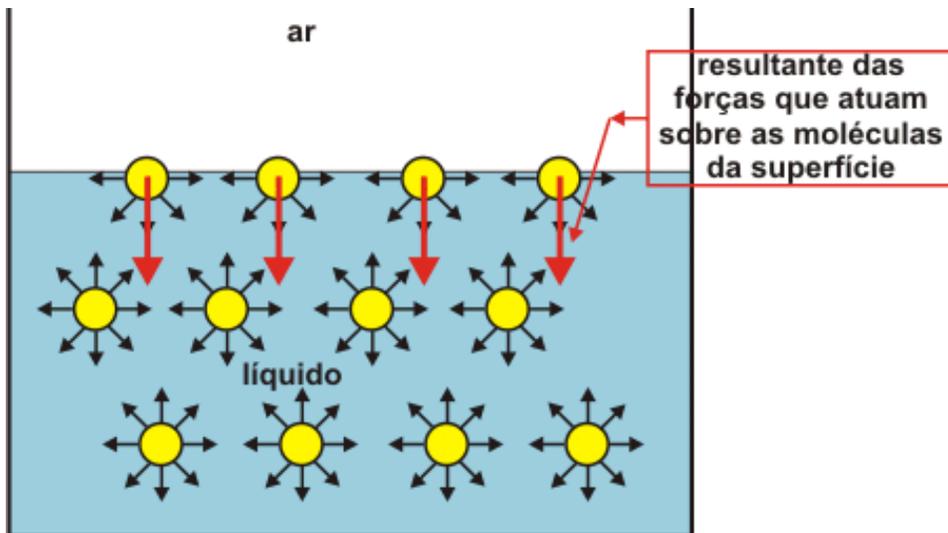
# Exemplo

2- Um urso polar de 300kg está em repouso sobre um bloco de gelo ( $\rho_{\text{gelo}}=0,917\text{g/cm}^3$ ) de 50cm de espessura. Qual deverá ser a área da seção transversal do bloco para que ele flutue totalmente na água do mar ( $\rho_{\text{água}} = 1,018\text{g/cm}^3$ )?



# Tensão superficial

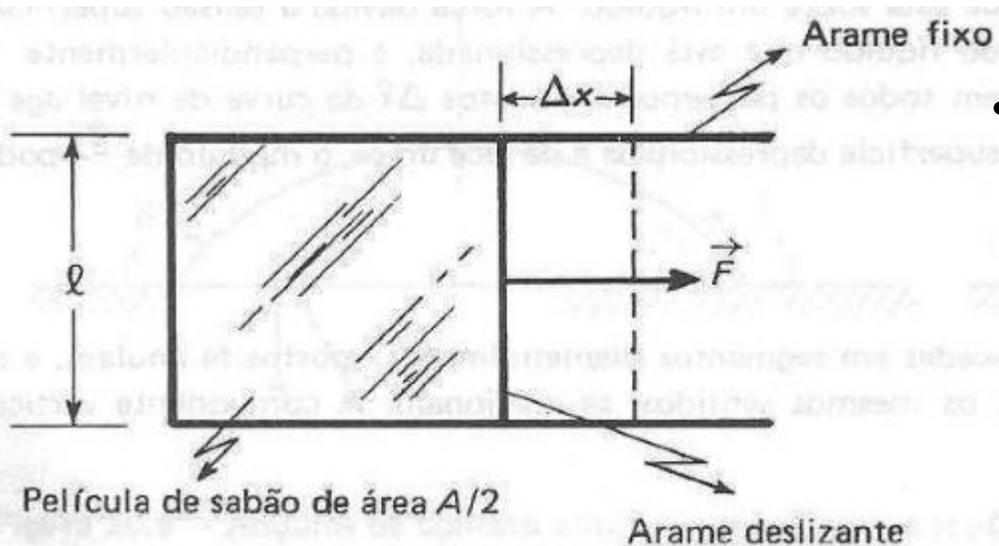
- Líquidos possuem uma força atrativa entre suas moléculas que as mantém no estado condensado e apresentando uma superfície
- Dentro do líquido cada molécula é cercada por outras e a força resultante sobre elas é nula
- Na superfície, isto não ocorre: existe uma força resultante para baixo a qual pode-se associar uma energia potencial de superfície por unidade de área  $\rightarrow$  Tensão superficial ( $\gamma$ ) (N/m ou J/m<sup>2</sup>)



- A superfície de uma substância tende a diminuir e passa a se comportar como uma membrana elástica
- Depende do fluido gasoso com o qual o líquido tem a interface
- Importante para o funcionamento correto dos pulmões em animais e da traqueia dos insetos ou no movimento de pequenos insetos em superfície líquida.

# Determinação do Coeficiente de Tensão Superficial

- A superfície do fluido tem propriedades semelhantes a de uma membrana elástica esticada e podemos medir a força de tensão superficial necessária para rompê-la:
  - Uma lâmina de sabão (película de face dupla) fica aderida a um arame dobrado em forma de “U” e a um arame deslizante de comprimento  $l$ .
  - Se deslocamos o arame deslizante um comprimento  $\Delta x$ , as forças exteriores realizam um trabalho  $F\Delta x$ , que corresponde ao aumento da energia potencial da superfície:



$$W = F\Delta x$$

- O trabalho realizado por unidade de área (= tensão superficial) é:

$$\frac{W}{A} = \frac{F\Delta x}{2(l\Delta x)}$$

$$\gamma_d = \frac{F}{2l} \text{ (para película de face dupla)}$$

$$\gamma_d = \frac{F}{l} \text{ (para película de face simples)}$$

Tensão superficial na interface  
líquido-ar a 20°C

Substância	$\gamma$ ( $10^{-3}$ N/m)
Éter	17
Clorofórmio	27
Benzina	29
Óleo de oliva	32
Água	73
Mercúrio	465

Tensão superficial na interface líquido-ar  
para água em diferentes temperaturas

$t$ (°C)	$\gamma$ ( $10^{-3}$ N/m)
-5	76,4
0	75,6
5	74,9
10	74,2
15	73,5
20	72,8
25	72,0
30	71,2
40	69,6
50	67,9
70	64,4
100	58,9

# Tensão superficial

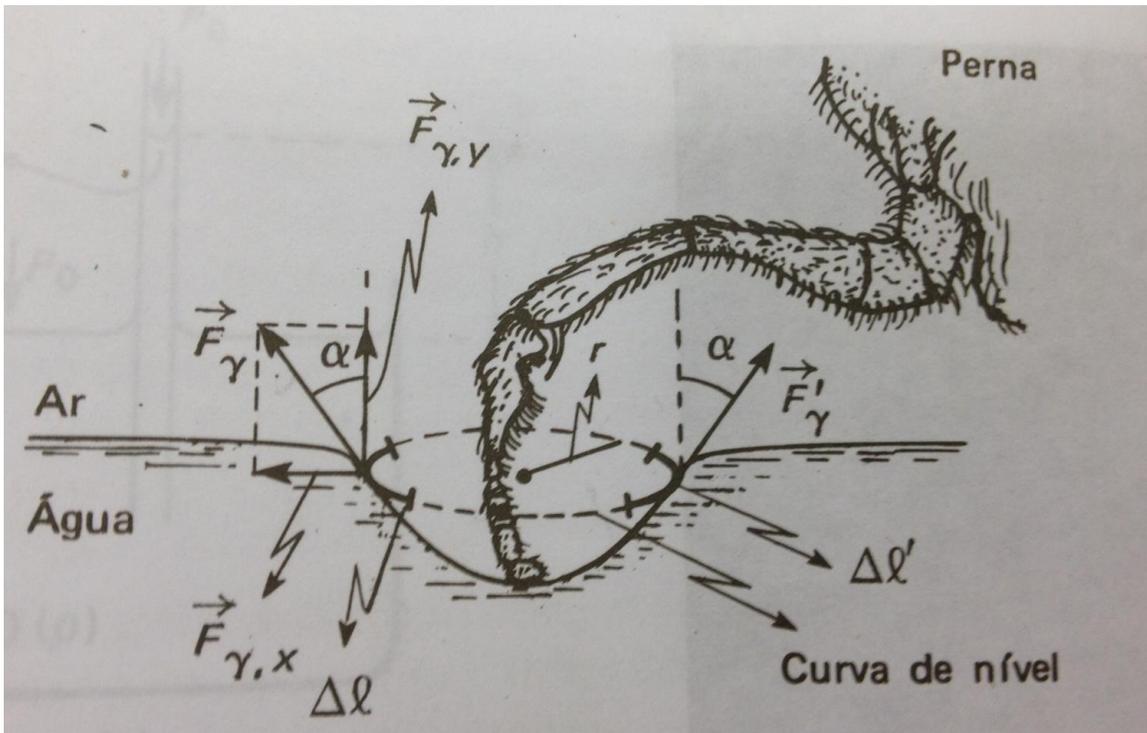
- Um inseto de n pernas está parado sobre um líquido de tensão superficial  $\gamma$ .
- Condição para que ele não afunde:

$$F_\gamma = \gamma \Delta l$$

$$F_{\gamma,y} = F_\gamma \cos \alpha = \gamma \Delta l \cos \alpha$$

- Como a força resultante em y é a soma de todas as forças que atuam em cada trecho  $\Delta l$ :

$$R_{\gamma,y} = \sum \gamma \Delta l \cos \alpha = \gamma \cdot 2\pi r \cdot \cos \alpha = \frac{\text{peso}}{n}$$



- Por que o inseto afunda se colocamos detergente na água?



# Exemplo...

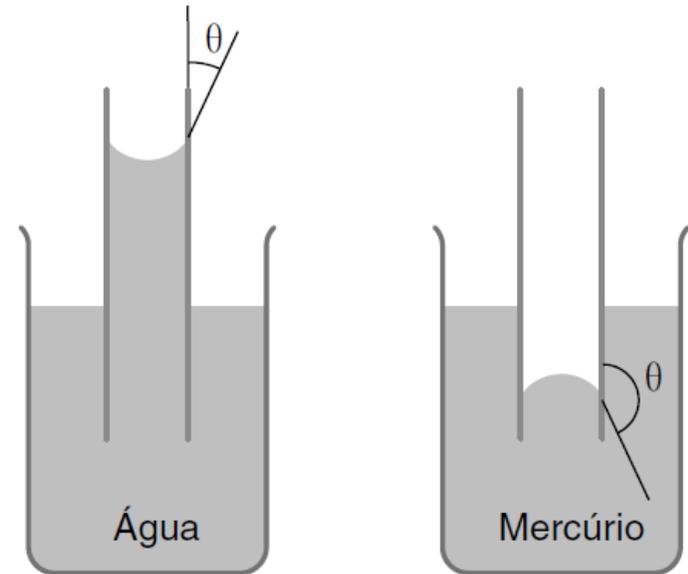
- 3- Um inseto está em pé sobre a água de uma lagoa. Sua pata produz na água uma depressão de 2mm de raio e ângulo de  $40^\circ$ . Calcule:
- A fração de peso do inseto que a depressão está segurando
  - A massa do inseto admitindo que cada uma de suas seis patas suporta pesos aproximadamente iguais.

# Capilaridade

- Devido à tensão superficial, um líquido consegue subir ou descer dentro de um tubo de diâmetro pequeno → Capilaridade
- Quando há capilaridade, o líquido dentro do capilar alcança determinada altura e a superfície livre do líquido no interior do capilar apresenta uma curvatura determinada pelo ângulo de contato
- O ângulo de contato e a altura  $h$  depende das forças coesivas ( $F_{coe}$ ) entre as moléculas do líquido e das forças de adesão ( $F_{ade}$ ) entre as moléculas do líquido e do material do tubo:

$$F_{coe} < F_{ade} \rightarrow \theta < 90^\circ \text{ (líquido se eleva)}$$

$$F_{coe} > F_{ade} \rightarrow \theta > 90^\circ \text{ (líquido decai)}$$



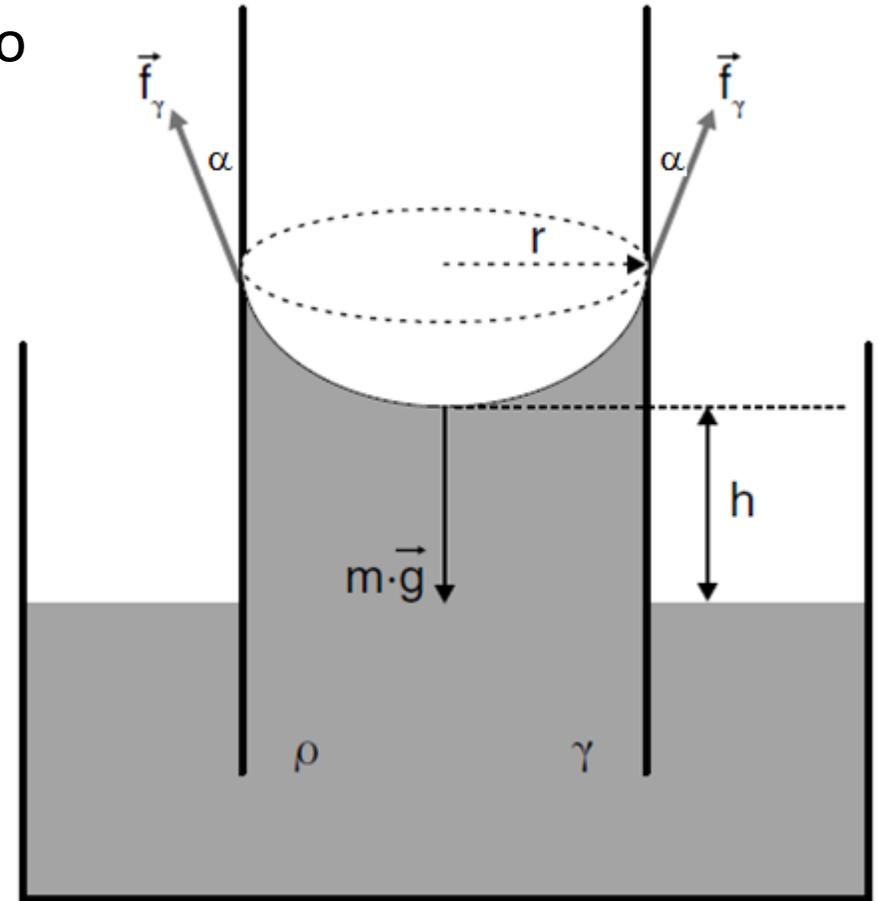
# Capilaridade

- A Figura ao lado apresenta um caso de capilaridade quando um líquido de densidade  $\rho$  se *eleva* a uma altura  $h$  dentro do tubo de raio  $r$ . Como o líquido está em repouso:

$$R_{\gamma,y} = mg$$

$$\gamma \cdot 2\pi r \cdot \cos\alpha = \rho \cdot \pi r^2 h \cdot g$$

$$h = \frac{2\gamma \cdot \cos\alpha}{\rho \cdot g \cdot r}$$



- A capilaridade é um dos responsáveis pela elevação da seiva desde a raiz de uma planta até sua folhagem.

# Exemplo

4. Considere que cada xilema em uma árvore de 100m de altura tem um diâmetro médio de 0,1mm. Admitindo que a tensão superficial seja a única responsável pelo transporte da seiva ( $\rho=1000\text{kg/m}^3$ ) até sua folhagem, responda:
- Qual deve ser o valor de tensão superficial da seiva no caso em que  $\alpha=0^\circ$ ?
  - Sabendo que a tensão superficial da seiva é de  $5,5 \cdot 10^{-2}\text{N/m}$ , que conclusão podemos extrair deste resultado?

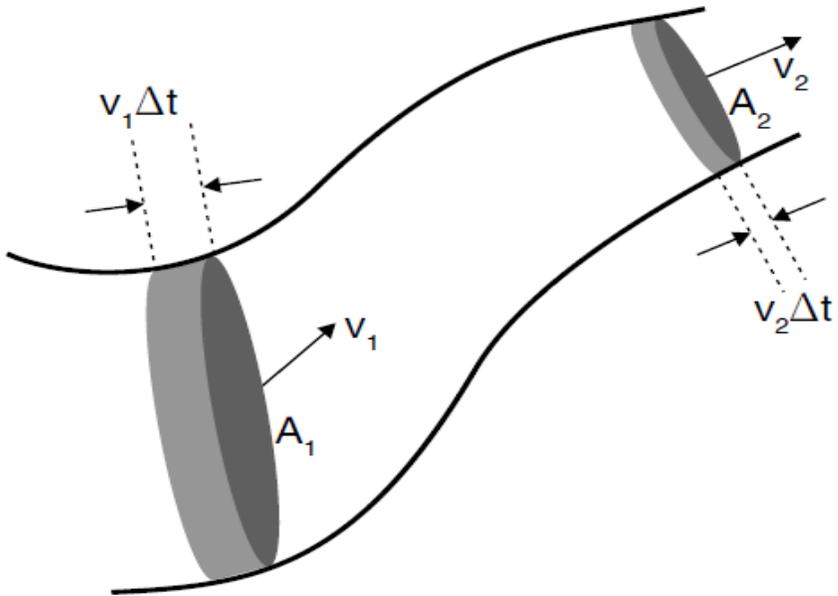


# Escoamento de fluidos

- O escoamento dos fluidos é um *efeito dinâmico* e seu movimento é especificado pela **velocidade de escoamento** ( $\vec{v}$ ) e pela **densidade do fluido** ( $\rho$ ).
- Considerando a velocidade do fluido classificamos o escoamento em:
  - **Permanente:** quando velocidade de escoamento  $\vec{v}$  for constante
  - **Variado:** quando a velocidade de escoamento  $\vec{v}$  não for constante
- Considerando a densidade do fluido classificamos o fluido em:
  - **Compressível:** quando sua densidade  $\rho$  não for constante ao longo do movimento
  - **Incompressível:** quando sua densidade  $\rho$  for constante ao longo do movimento

# Escoamento de fluidos

- **Fluido ideal:** fluido incompressível (densidade constante) e não há resistência ao seu movimento
- No escoamento permanente de um fluido ideal por uma tubulação ( $\vec{v}_1$  é uniforme na área  $A_1$  e  $\vec{v}_2$  na área  $A_2$ ) podemos definir a vazão (Q) como o fluxo ou a taxa de escoamento (volume/tempo = m<sup>3</sup>/s).



$$Q_1 = \frac{V_1}{\Delta t} = \frac{A_1 v_1 \Delta t}{\Delta t}$$

$$Q_2 = \frac{V_2}{\Delta t} = \frac{A_2 v_2 \Delta t}{\Delta t}$$



$$Q_1 = Q_2$$

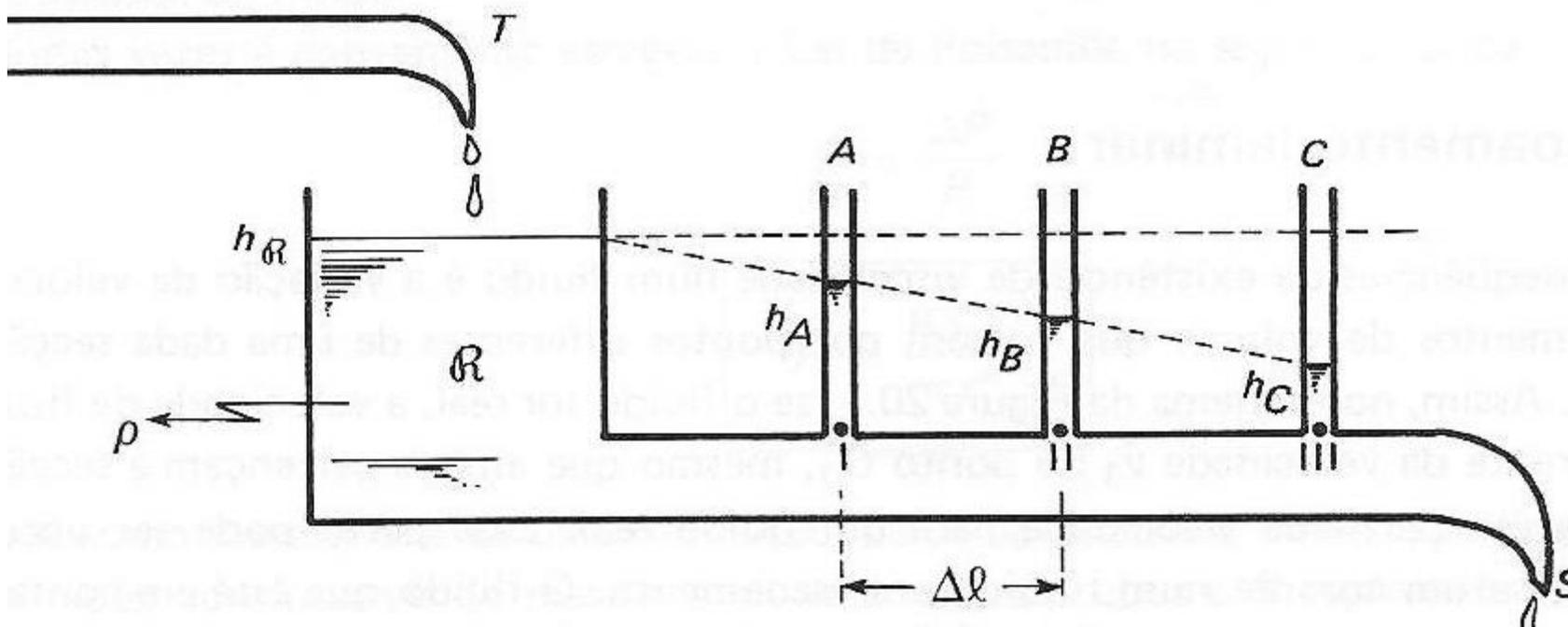
$$\boxed{A_1 v_1 = A_2 v_2}$$

(equação da continuidade)

OBS: Se a velocidade não for uniforme sobre a seção transversal escolhida, usamos a velocidade média ( $\bar{v}$ )

# Escoamento de fluidos

- **Fluido real:** seu movimento ocorre com resistência
- Um reservatório R está ligado a um tubo horizontal, com 3 tubos verticais ao longo de seu comprimento (manômetros). O nível do líquido em R é mantido constante pelo ajuste do fluxo de entrada e saída. A altura dos líquidos nos tubos verticais indicam a pressão ao longo do tubo horizontal.



$$h_R > h_A > h_B > h_C$$



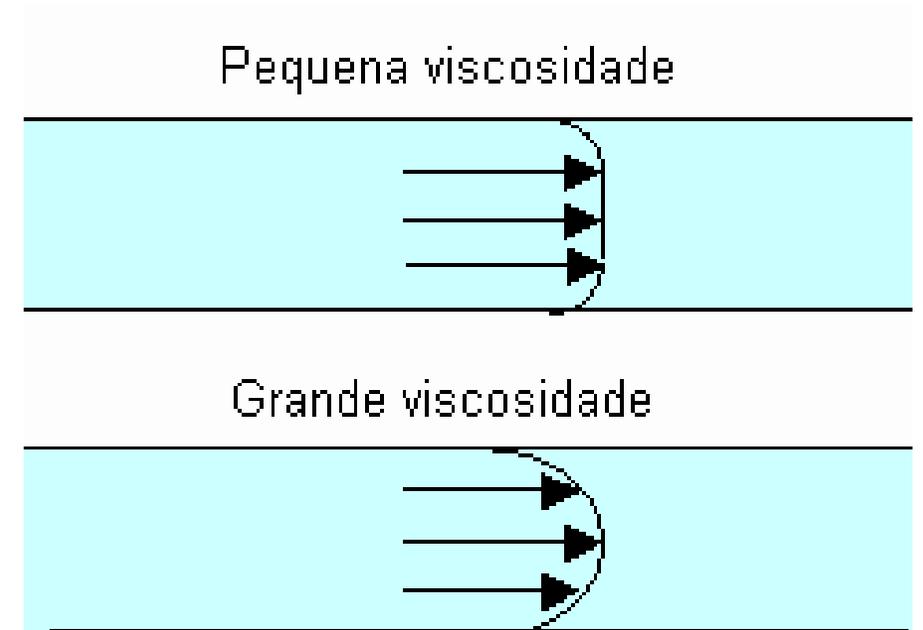
Diminuição de pressão ao longo do tubo



Existência de forças resistivas ao escoamento (viscosidade)

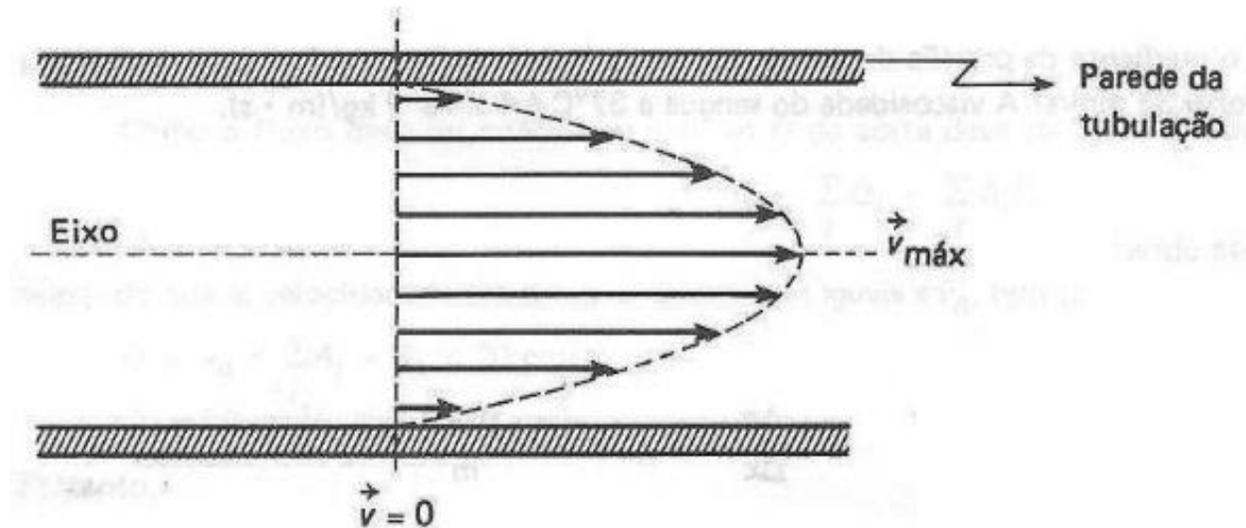
# Viscosidade de fluidos

- **Corresponde ao atrito interno nos fluidos devido basicamente às interações intermoleculares** ( $\uparrow$  atrito  $\uparrow$  viscosidade)
- Como as interações entre as moléculas de um líquido são mais intensas que entre as moléculas de um gás, a viscosidade dos líquidos é muito maior que a dos gases.
- É função da temperatura:
  - Para líquidos:  $\uparrow$  temperatura  $\downarrow$  viscosidade
  - Para gases:  $\uparrow$  temperatura  $\uparrow$  viscosidade
- Viscosidade provoca uma variação da velocidade de escoamento do fluido
- Viscosidade pode ser quantificada pelo coeficiente de viscosidade do fluido ( $\eta$ ) dado em Pa.s no SI



# Escoamento laminar de fluidos reais

- Em um fluido real, devido a viscosidade, a sua velocidade de escoamento não é a mesma para todos os pontos de uma seção transversal.
- Quando a velocidade de fluxo através de uma seção é máxima no centro e decresce segundo uma parábola até zero na parede do tubo → escoamento é laminar:



- Neste caso a vazão ( $Q$ ) do fluido com coeficiente de viscosidade  $\eta$  ao longo do tubo de raio  $r$ , pode ser determinado pela Lei de Poiseuille:

$$Q = \frac{\pi r^4 \Delta P}{8\eta \Delta l}$$

- No escoamento de fluidos reais, a velocidade não é constante para todos elementos de volume que atravessam uma seção do tubo, pode-se determinar a velocidade média de fluxo ( $\bar{v}$ ):

$$\bar{v} = \frac{\text{vazão}}{\text{secção do tubo}} = \frac{Q}{A} = \frac{r^2 \Delta P}{8\eta \Delta l}$$

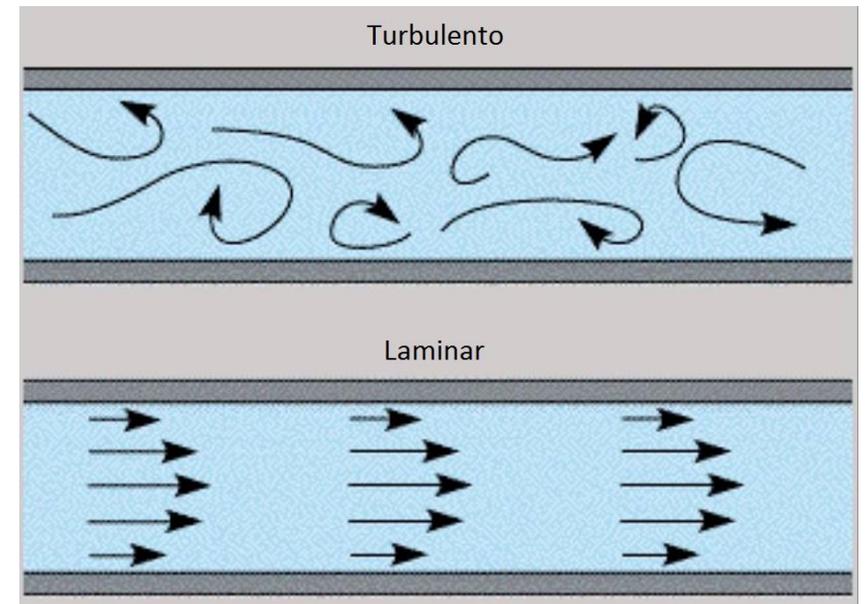
# Escoamento turbulento

- Em geral um fluido escoar laminarmente quando sua velocidade não é muito grande e o tubo não possui protuberâncias.
- Se a velocidade do fluido atinge um certo valor o fluxo passa a escoar de maneira irregular com a formação de redemoinhos → Escoamento turbulento
  - Reynolds mostrou que um escoamento passa a ser turbulento em um tubo regular retilíneo de diâmetro ( $d$ ) quando o número de Reynolds ( $\Re$ ) for maior que um valor crítico:

$$\Re = \frac{\rho d \bar{v}}{\eta}$$

$$\Re > 2000$$

$$\Re < 2000$$

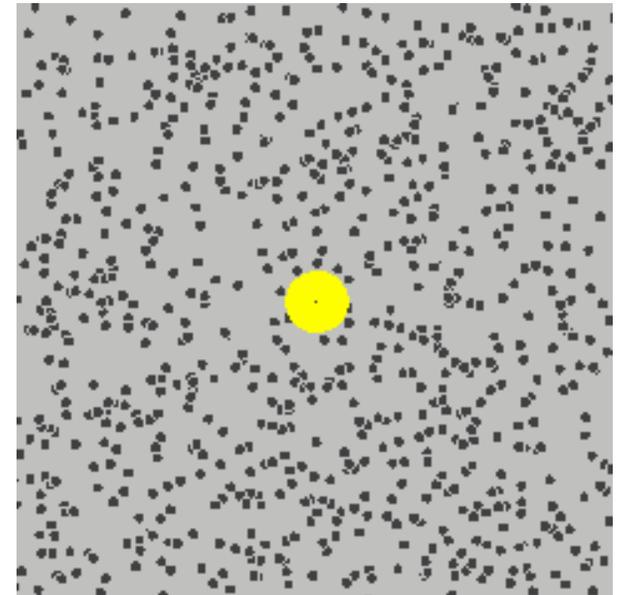


# Transporte de substâncias em fluidos

# Introdução

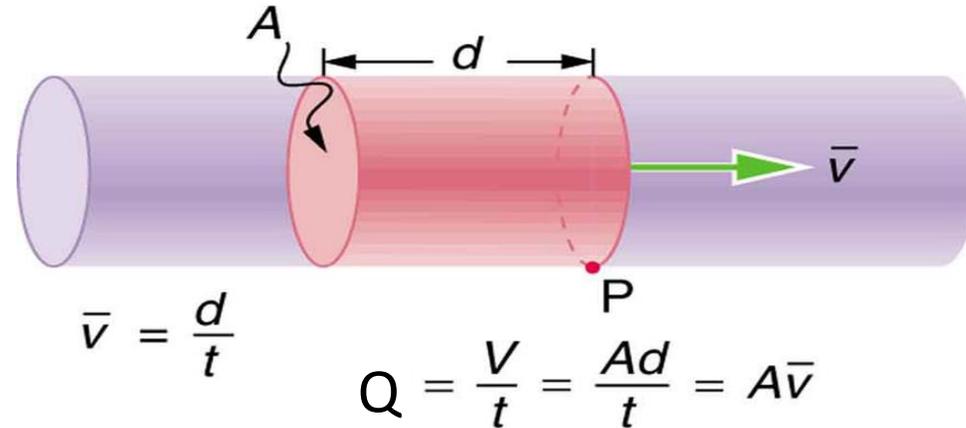
- O estudo do transporte de partículas em fluidos teve início em 1827, quando o botânico Robert Brown usando um microscópio observou que uma suspensão de partícula de pólen em uma solução aquosa tinha um movimento caótico e incessante → Movimento Browniano

- Movimento browniano se deve ao contínuo choque das moléculas do soluto com as moléculas do fluido (solvente) submetido à uma agitação térmica
- Essas colisões em escala atômica não são uniformes e experimentam variações estatísticas importantes
- Difusão e osmose são fundamentadas no movimento browniano



# Transporte por arrasto no solvente

- Imagine um tubo em que a **água circula**, podemos determinar a vazão (Q):



$$Q = \text{m}^3/\text{s}$$

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{Ad}{t} = A\bar{v}$$

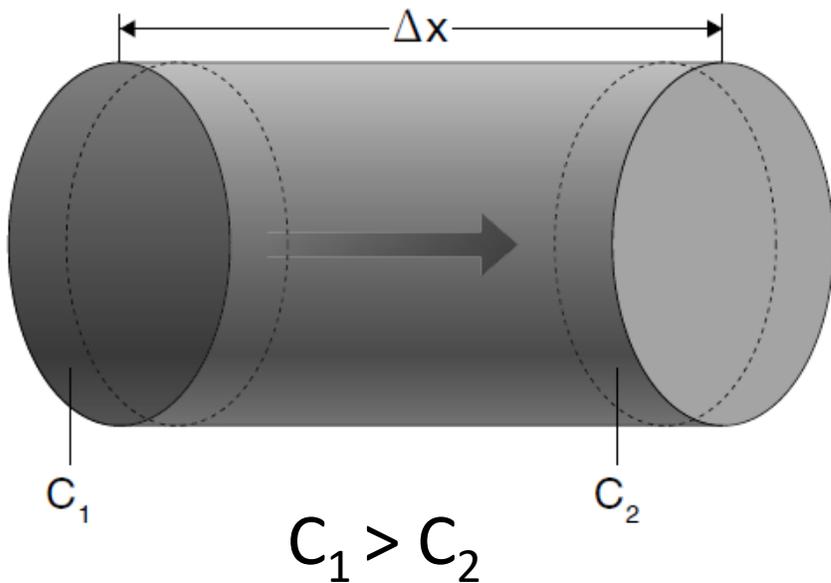
- Se temos um soluto dissolvido nesta água, com concentração ( $C = \text{partículas}/\text{m}^3$ ), o fluxo de partículas ( $\text{partículas}/\text{s}$ ) carregadas pelo solvente é dado por:

$$\text{Fluxo de partículas} \left( \frac{\text{partículas}}{\text{s}} \right) = C \left( \frac{\text{partículas}}{\text{m}^3} \right) \cdot Q \left( \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$$

- Este processo é chamado de arrasto pelo solvente.
  - Ex: transporte de glóbulos vermelhos ou brancos, glicose ou  $\text{CO}_2$  nos vasos sanguíneos

# Transporte por difusão

- Suponha agora que a água no tubo NÃO está fluindo:
- Se a concentração de soluto for a mesma em todo seu comprimento, ele também não fluirá.
- Se houver mais soluto em um lado do tubo do que do outro, ele gradualmente se deslocará e deixará o tubo com a concentração de soluto uniforme → DIFUSÃO

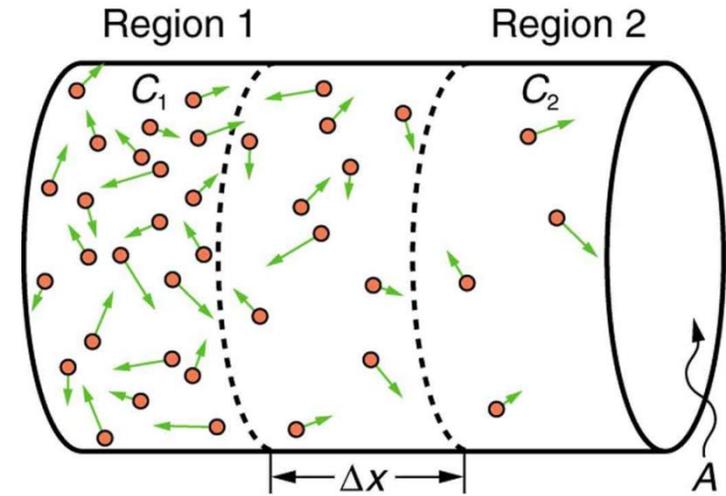


- A difusão é uma resposta ao gradiente de concentração:

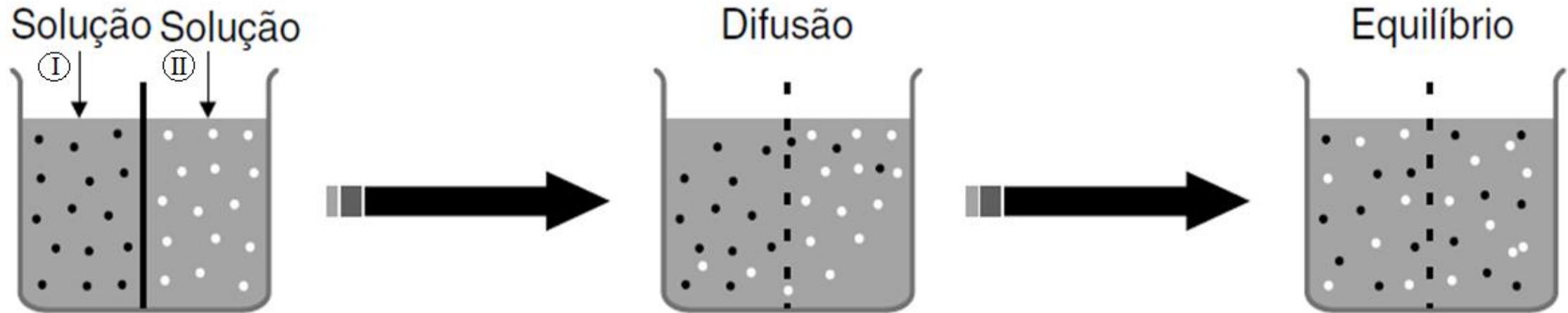
$$\frac{C_1 - C_2}{\Delta x}$$

- O movimento das partículas que se difundem é aleatório e independente

# Processo de Difusão



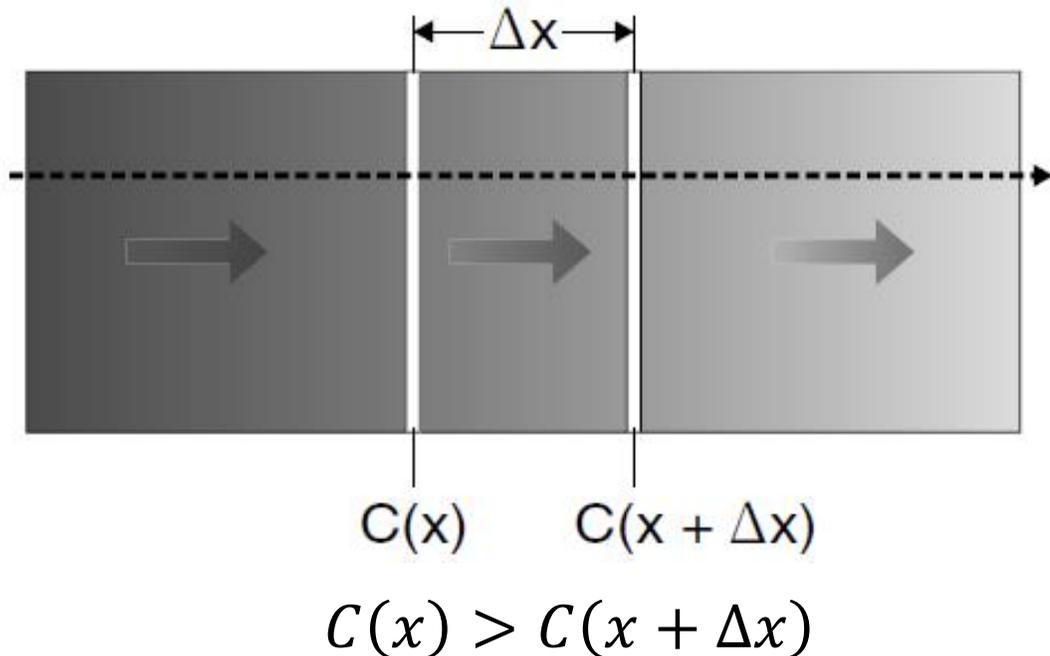
- Para que a difusão ocorra deve haver um gradiente de concentração.



- A difusão é o processo dominante de troca de nutrientes e resíduos entre o sangue e o tecido e entre o ar e o tecido.

# Difusão de partículas: Lei de Fick

- A **difusão** de partículas é o movimento aleatório resultante do deslocamento das partículas **de uma região com alta concentração ( $C_>$ ) para outra de concentração menor ( $C_<$ )**.
- Consideremos uma *solução* em que o *solvente* é um líquido e o *solute* são partículas que não reagem quimicamente com as moléculas do solvente. Nesta solução os solutos estão se deslocando por um tubo cilíndrico na direção  $x$ .



- O fluxo de soluto  $j$  (partículas/s ou kg/s) será proporcional ao gradiente da concentração (partículas/ $m^3$  ou kg/ $m^3$ ):

$$j(x, t) = -D \frac{\partial C(x, t)}{\partial x} \quad \text{Primeira Lei de Fick}$$

D: coeficiente de difusão do soluto ( $m^2/s$ )

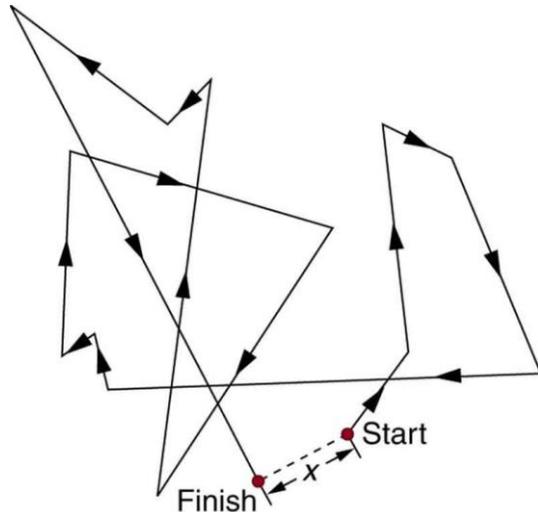
→ O sinal de negativo indica que o fluxo ocorre no sentido da alta para baixa concentração

# Difusão

- A difusão é um processo lento para distâncias macroscópicas, para se ter uma idéia, uma molécula de glicose leva 21 horas para se mover 1cm em água.
- A distância média que uma molécula pode se deslocar é dada por:

$$x_{rms} = \sqrt{2Dt}$$

Sendo: D = coeficiente de difusão do soluto no meio e t = tempo



Diffusing molecule	Medium	D (m <sup>2</sup> /s)
Hydrogen (H <sub>2</sub> )	Air	6.4 × 10 <sup>-5</sup>
Oxygen (O <sub>2</sub> )	Air	1.8 × 10 <sup>-5</sup>
Oxygen (O <sub>2</sub> )	Water	1.0 × 10 <sup>-9</sup>
Glucose (C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> )	Water	6.7 × 10 <sup>-10</sup>
Hemoglobin	Water	6.9 × 10 <sup>-11</sup>
DNA	Water	1.3 × 10 <sup>-12</sup>

# Difusão de partículas e viscosidade do fluido

- Einstein afirma que *os coeficientes de difusão de partículas em um fluido e de viscosidade do fluido estão fortemente relacionados.*
- Isso se deve ao fato de que tanto a difusão como a viscosidade ***fisicamente são o resultado do movimento aleatório das partículas*** porque estão em colisão permanente com moléculas e/ou átomos vizinhos.
- Quando as *partículas em difusão* em um fluido líquido são suficientemente grandes (raio  $\approx a$ ) e aproximadamente esféricas ( $k=1,38 \cdot 10^{-23} \text{J/K}$ ):

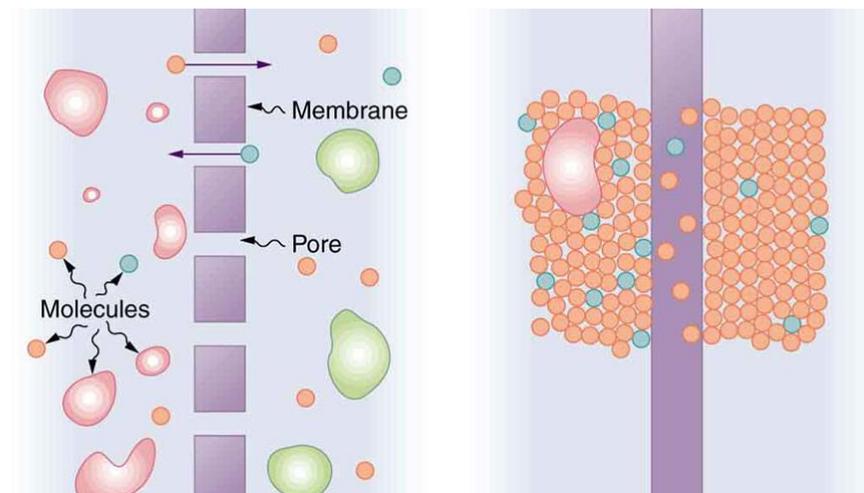
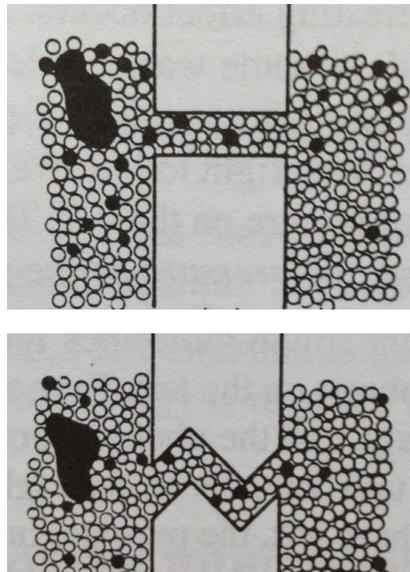
$$D \cong \frac{kT}{6\pi a \eta}$$

Valores de D para algumas moléculas na água a 20°C

Molécula	m (g/mol)	a $\times 10^{-10}$ m	D $\times 10^{-10}$ (m <sup>2</sup> /s)
Hemoglobina	68.000	$\approx 31,0$	0,69
Glicose (C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> )	180	$\approx 3,8$	5,5
Oxigênio (O <sub>2</sub> )	32	$\approx 2,0$	10,0
Ureia [CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> ]	60	$\approx 4,0$	11,0
Água (H <sub>2</sub> O)	18	$\approx 1,5$	20,0

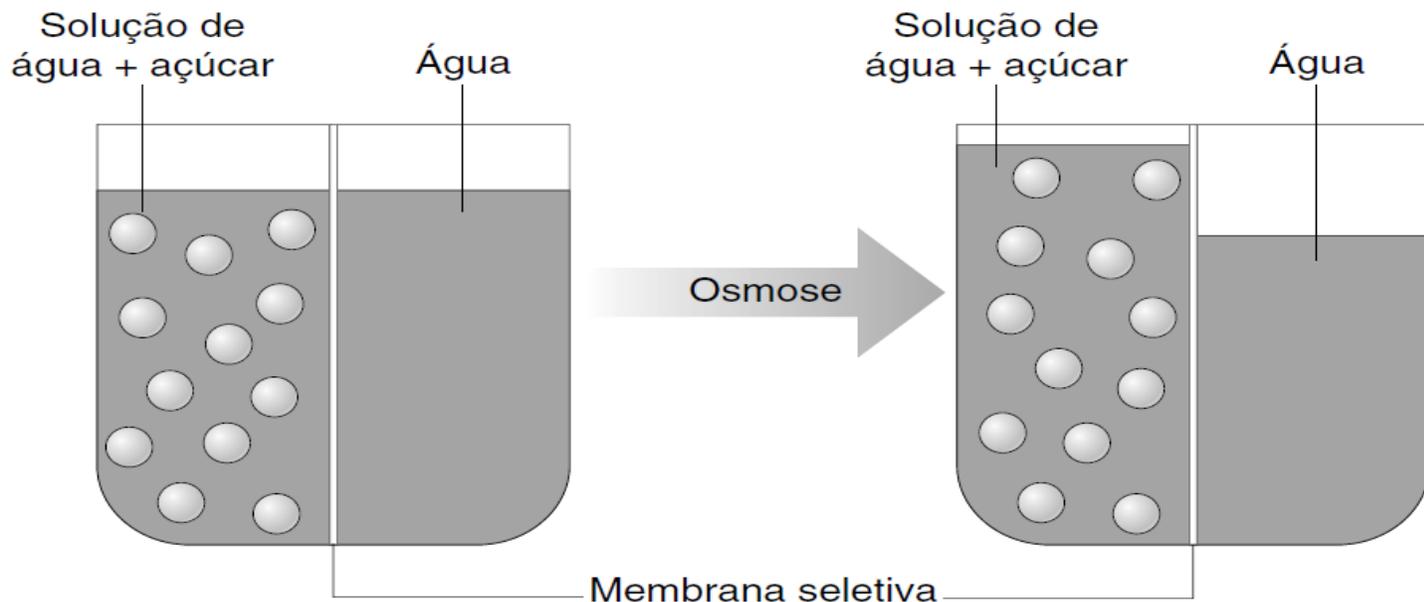
# Transporte de substâncias por membranas

- A maior parte dos volumes biológicos de interesse é envolto por membranas (células, capilares...)
- A membrana pode ser permeável, impermeável ou semi-permeável
- A permeabilidade pode ser controlada por seus poros, a membrana é permeável a uma molécula que consegue atravessá-lo
- A água flui pelos poros se há uma diferença de pressão através da membrana (transporte por arrasto)



# Osmose

- Quando duas soluções com concentrações diferentes, porém com o *mesmo solvente*, estão em contato, o *solvente* se move no sentido da solução menos concentrada para a mais concentrada → OSMOSE
- A solução menos concentrada é denominada *hipotônica* e a mais concentrada, *hipertônica*; o solvente flui até as soluções ficarem *isotônicas*.
- Ex: Duas soluções separadas por uma membrana semi-permeável que não deixa passar moléculas de açúcar por ela, somente passam moléculas de água:



- Haverá maior fluxo de moléculas de água ao compartimento da solução, alterando o nível da água
- Fisicamente isso ocorre porque a pressão da água sobre a membrana do lado direito é maior que a pressão da água do lado esquerdo

# Pressão Osmótica

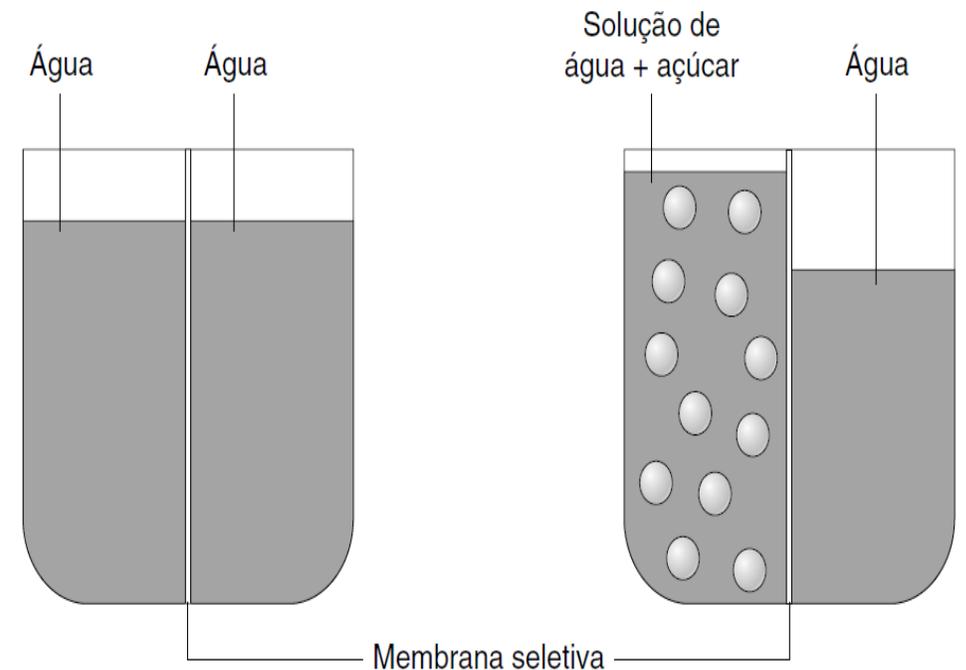
- I. Os dois compartimentos possuem o mesmo solvente – pressão sobre ambas as superfícies da membrana será a mesma
- II. Colocando o soluto no compartimento da esquerda, a pressão da água na membrana deste lado será menor que do outro lado – solvente flui da direita para esquerda (osmose)
  - Para osmose não ocorrer deveríamos equilibrar a pressão na membrana, adicionando uma pressão ao compartimento esquerdo

$$p_d^s = p_e^s + \pi$$

Com  $\pi$  sendo a pressão osmótica, dada por:

$$\pi = C_M RT$$

onde  $C_M = n/V$  é a concentração molar do soluto  
e  $R = 0,0827 \text{ atm.l/mol.K}$



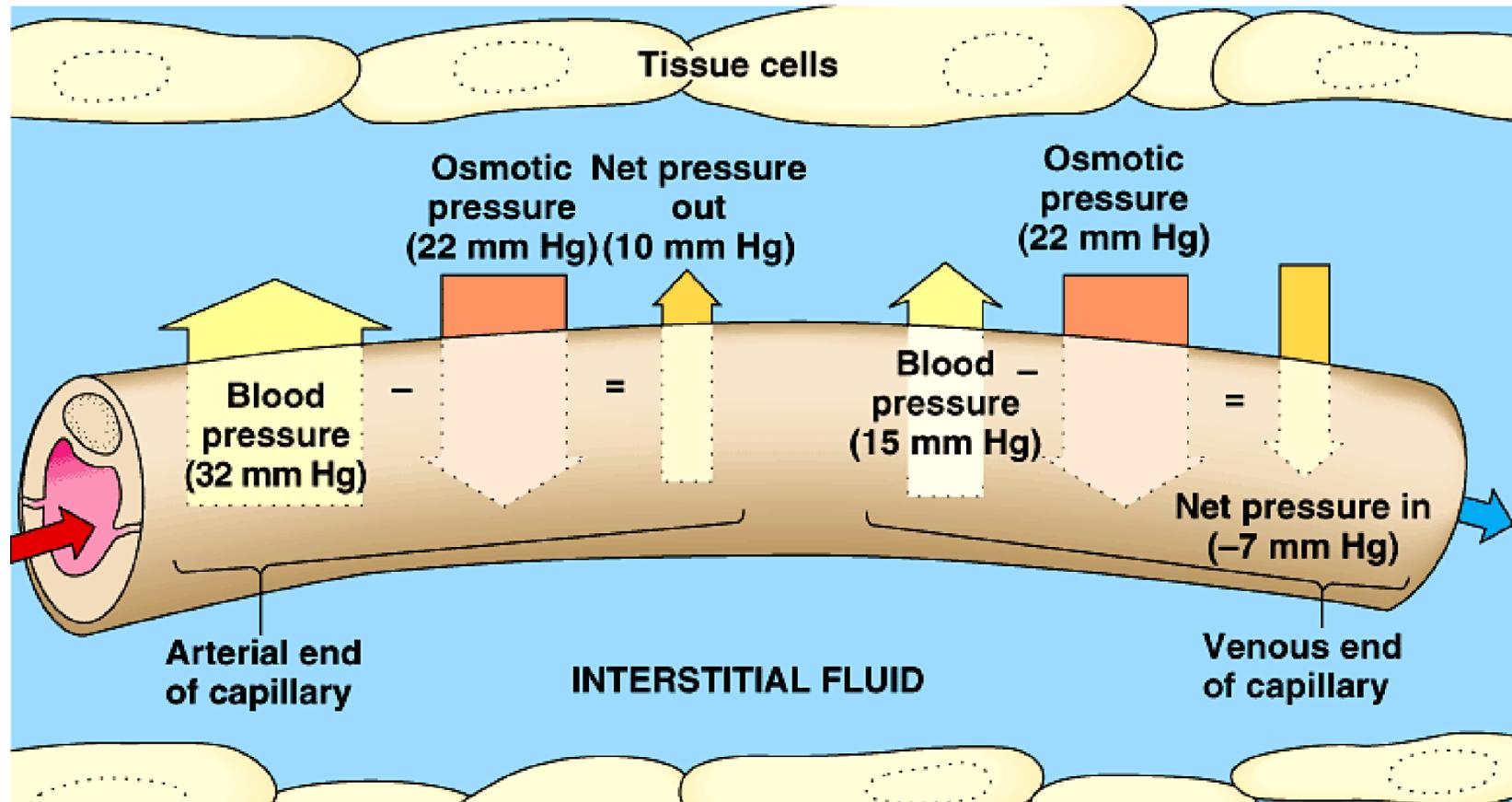
# Exemplos...

5. Se a concentração molar da hemoglobina dentro da hemácia for de 10mmol/l e considerando que não há outros solutos impermeantes no fluido intracelular, qual a pressão osmótica da hemoglobina quando a hemácia for imersa em água destilada a 27°C?

6. Tendo-se 10g de sacarose (massa molar=360g) e 5g de glicose (massa molar=180g) dissolvidas em 1l de água a 87°C, qual será a pressão osmótica da solução se esta for separada da água por uma membrana impermeável a estes solutos?

# Difusão e osmose em processos biológicos: Regulação do fluído intersticial

- O sangue ao circular pelos capilares leva nutrientes e oxigênio para as células e retira produtos para eliminação.



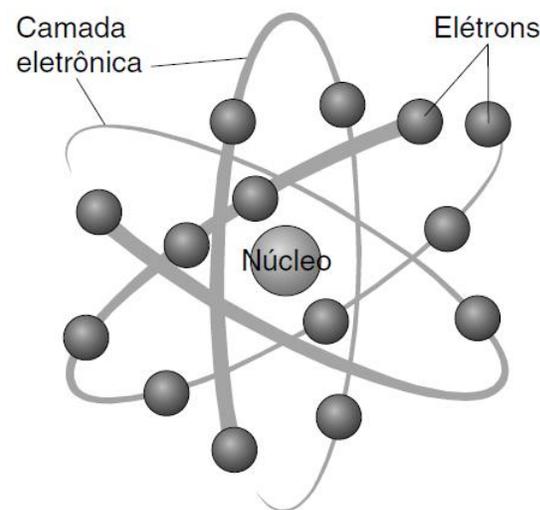
# Bioeletricidade

# Introdução

- Para entendermos os diversos efeitos bioelétricos de uma célula em atividade, introduziremos alguns conceitos básicos da teoria da eletricidade.
- As seguintes *partículas* estão sempre presentes em qualquer *átomo*:
  - Elétron: massa  $m_e \cong 9,11 \times 10^{-31} \text{kg}$  e carga elétrica:  $e \cong -1,602 \times 10^{-19} \text{C}$ .
  - Próton: massa  $m_p \cong 1,675 \times 10^{-27} \text{kg}$  e carga elétrica:  $p \cong 1,602 \times 10^{-19} \text{C}$ .
  - Nêutron: massa  $m_n \cong 1,673 \times 10^{-27} \text{kg}$  e carga elétrica nula.

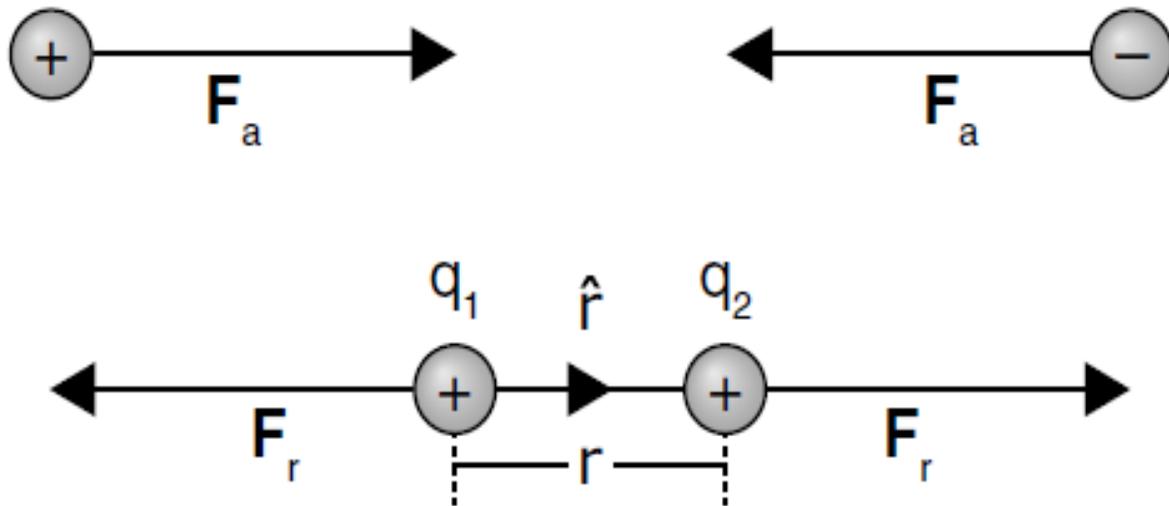
$$m_n \cong m_p \gg \gg m_e$$

$$p = -e$$



# Interação entre cargas elétricas

- Se um conjunto de partículas carregadas estiver interagindo, as forças elétricas que surgem entre essas partículas poderão ser:
  - *atrativas*, quando as partículas têm cargas elétricas com sinais opostos, ou
  - *repulsivas*, quando as partículas têm cargas elétricas com o mesmo sinal.



$$\vec{F}_r = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r}.$$

$$K=9 \cdot 10^9 \text{Nm}^2/\text{C}^2$$

Unidade SI: N

**Lei de Coulomb**

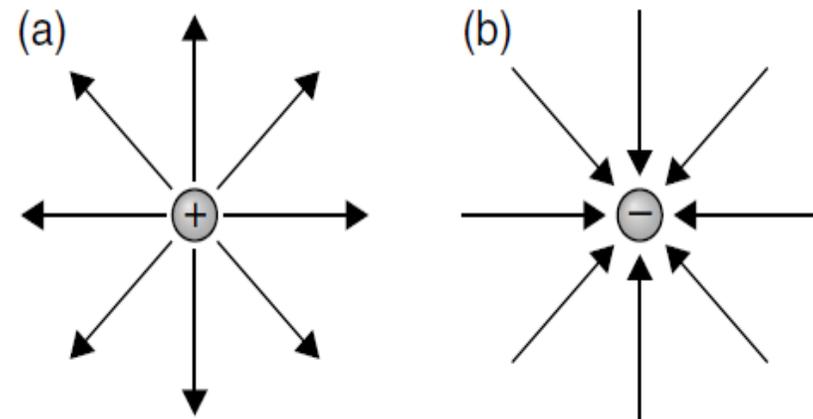
OBS: a *direção* da força elétrica entre duas partículas carregadas é a linha que une os centros das partículas

# Exemplo

- 1- Duas cargas puntiformes  $q_1=+25\text{nC}$  e  $q_2=-75\text{nC}$  estão separadas por uma distância de 3cm. Determine o módulo, direção e sentido:
- da força elétrica que  $q_1$  exerce em  $q_2$
  - da força elétrica que  $q_2$  exerce em  $q_1$

# Campo elétrico

- O *campo elétrico*  $E$  caracteriza a capacidade que uma *carga elétrica*, ou carga fonte, tem para influenciar o espaço em torno dele:
  - é uma *grandeza vetorial*
  - sua *intensidade diminui* com a distância de afastamento da carga
  - Sua *direção é radial*, ou seja, em determinado ponto, o campo tem a direção da reta que une esse ponto com a carga fonte.
  - seu *sentido* depende do sinal da carga elétrica que a origina: diverge para cargas positivas e converge para cargas negativas



# Campo elétrico

- Quando uma carga  $+q$  é colocada a uma distância  $r$  da carga fonte  $+Q$ , a carga  $+q$  experimentará uma força elétrica repulsiva  $F$ , cuja intensidade é:

$$F = k \frac{q \cdot Q}{r^2} = q \cdot E.$$

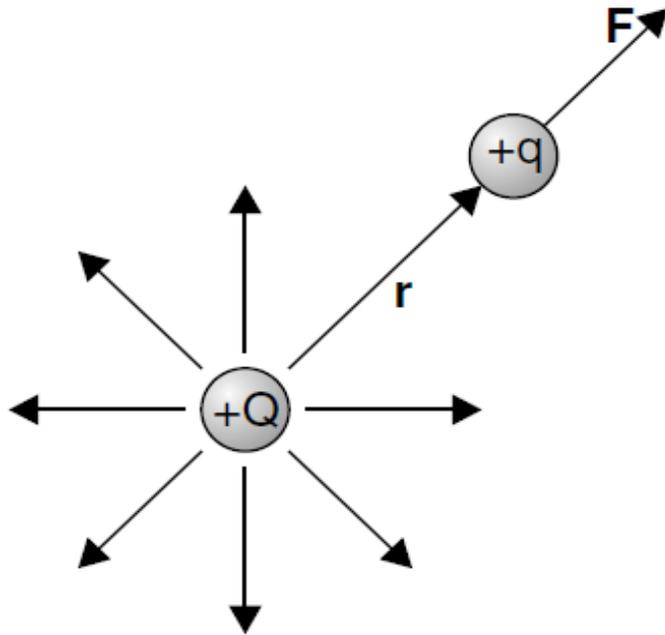
Sendo a intensidade do campo elétrico dada por:

$$E = k \frac{Q}{r^2}$$

Unidade SI: N/C

- Quando queremos calcular o campo elétrico em um ponto em torno de  $n$  fontes de campo, calculamos o valor do campo elétrico de cada campo e os somamos vetorialmente:

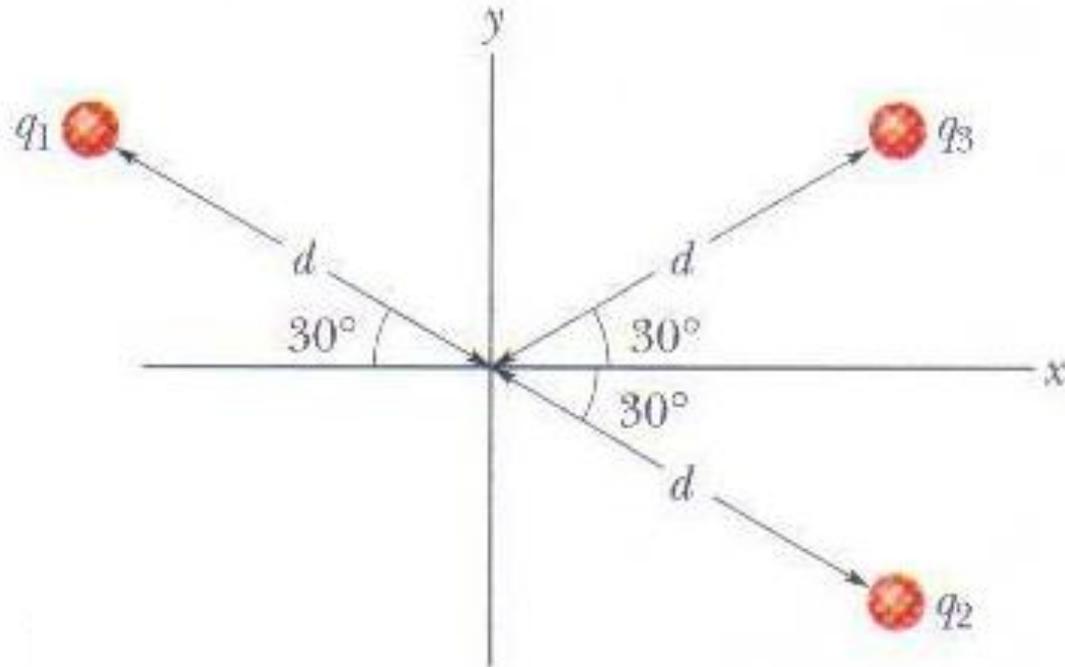
$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots + \vec{E}_n$$



$$\vec{F} = q\vec{E}$$

# Exemplo

2- A figura mostra 3 partículas de carga  $q_1=+2Q$ ,  $q_2=-2Q$  e  $q_3=-4Q$ , todas situadas a uma distância  $d$  da origem. Determine o campo elétrico total  $E$  produzido na origem pelas 3 partículas.



# Energia Potencial Elétrica

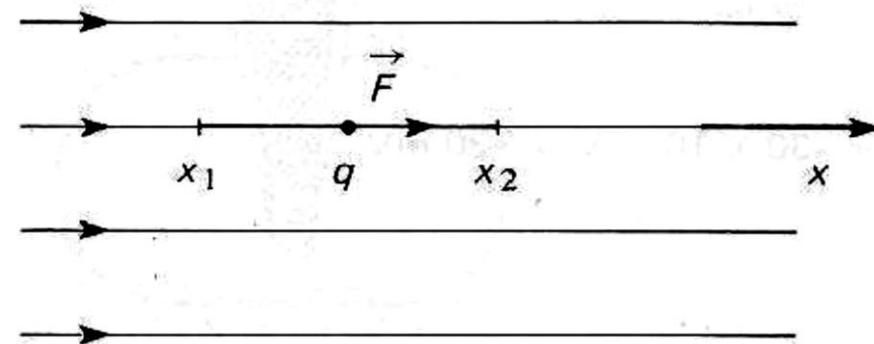
- Quando uma partícula se movimenta em uma região do espaço onde há um campo elétrico, ela sofre uma força:  $\vec{F} = q\vec{E}$
- O trabalho  $W$  realizado por essa força, quando a partícula se desloca é igual a variação de energia cinética:  $W = \Delta K$
- Como a energia mecânica se conserva  $E = K + U$ , havendo uma variação da energia cinética, há uma variação da energia potencial elétrica:  $\Delta U = -\Delta K = -W$
- Se o campo elétrico é uniforme, a variação de  $\Delta U$  quando a partícula de carga  $q$  se desloca de  $x_1$  para  $x_2$  na presença de um campo elétrico uniforme, pode ser encontrada por:

$$W = F\Delta x = qE\Delta x, \text{ sendo } \Delta x = x_2 - x_1$$

$$\Delta U = -qE\Delta x$$

-  $q$  positivo,  $W > 0$  quando  $x_2 > x_1$  (a partícula se desloca no sentido das linhas de força) e  $\Delta U < 0$

-  $q$  negativo,  $W < 0$  quando  $x_2 > x_1$  (sentido da força será oposta à linha de força) e  $\Delta U > 0$



# Potencial Eletrostático

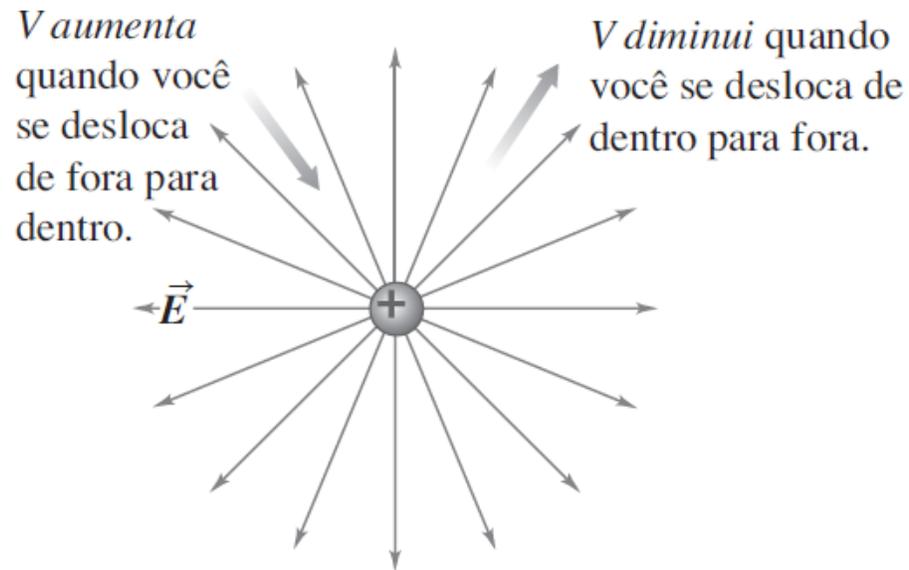
- É conveniente definir a diferença de potencial elétrico ( $\Delta V$ ):

$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q} = -E \Delta x$$

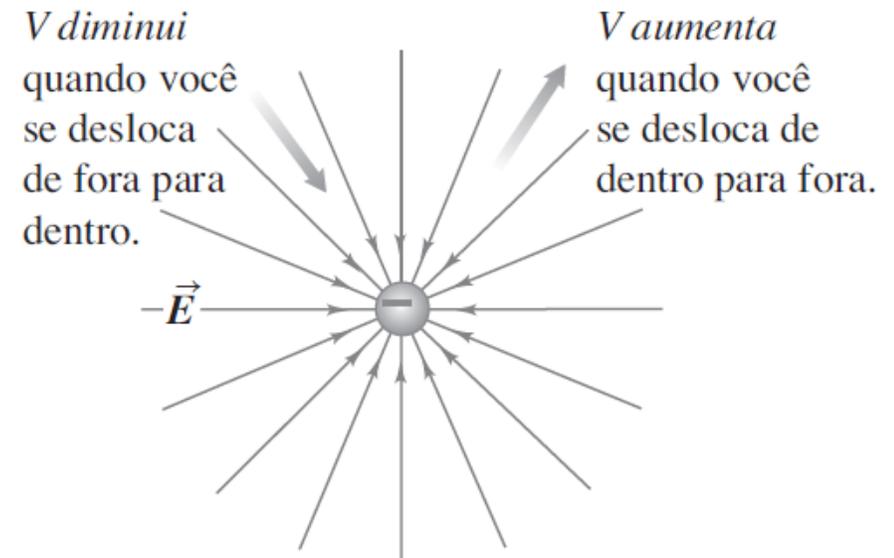
Unidade SI: volt (V), sendo  $1V=1J/1C$

- $\Delta V$  independe da carga elétrica, será sempre negativa quando  $\Delta x$  for no sentido das linhas de força

(a) Uma carga puntiforme positiva



(b) Uma carga puntiforme negativa

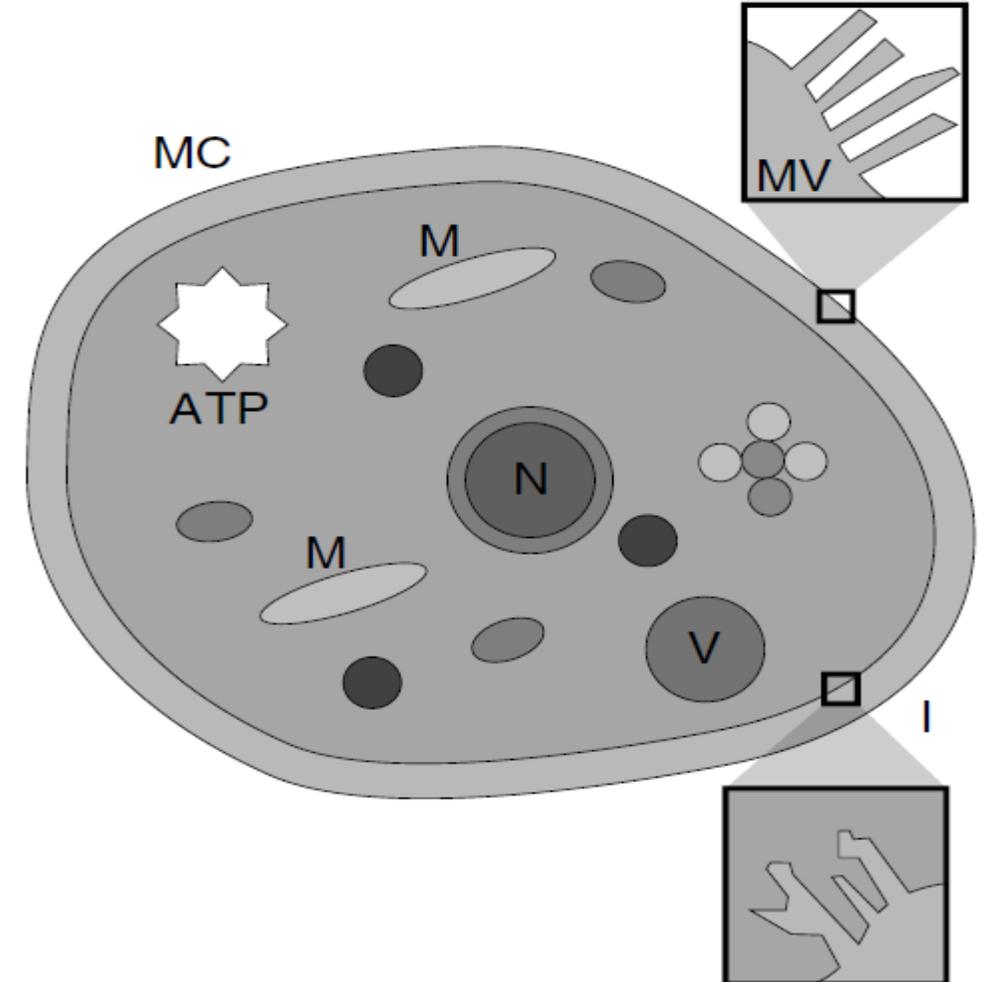


# Exemplo

- 3- Considere um campo elétrico uniforme de intensidade  $E=5,0 \cdot 10^6 \text{N/C}$ .
- Qual a variação  $\Delta V$  do potencial elétrico quando um cátion monovalente se desloca, no sentido das linhas de força, entre dois pontos separados por uma distância  $\Delta x = 60 \text{\AA}$ ?
  - Qual a variação de energia potencial em eV desse cátion?

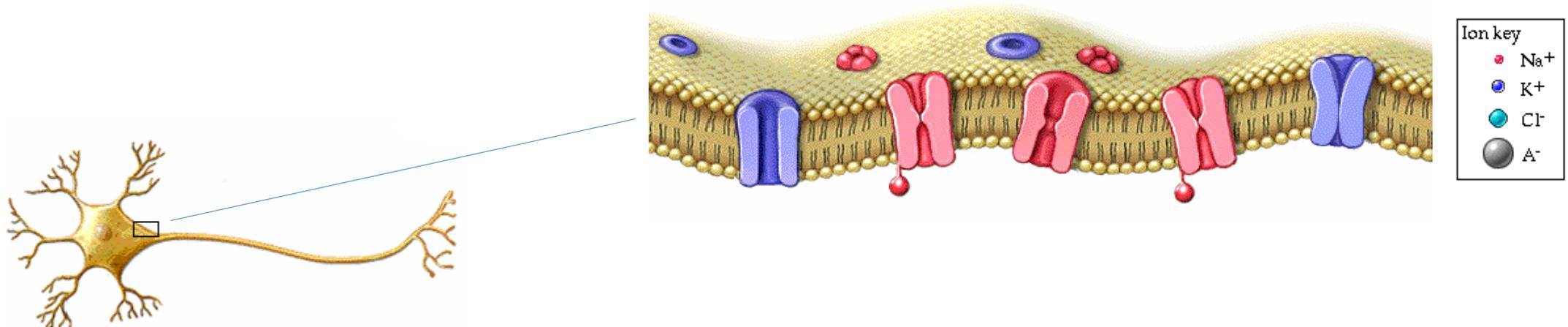
# Biomembranas

- A membrana celular ou *biomembrana* é um *sistema aberto* que permite o intercâmbio permanente de moléculas complexas e de espécimes iônicos entre o interior e o exterior da célula.
- Sua espessura é da ordem de 7 a 10 nm.
- A passagem de partículas através da biomembrana é caracterizada por sua *permeabilidade* a elas.
- A *permeabilidade celular* é resultado da atividade fisiológica da célula acompanhada de fenômenos elétricos na membrana.



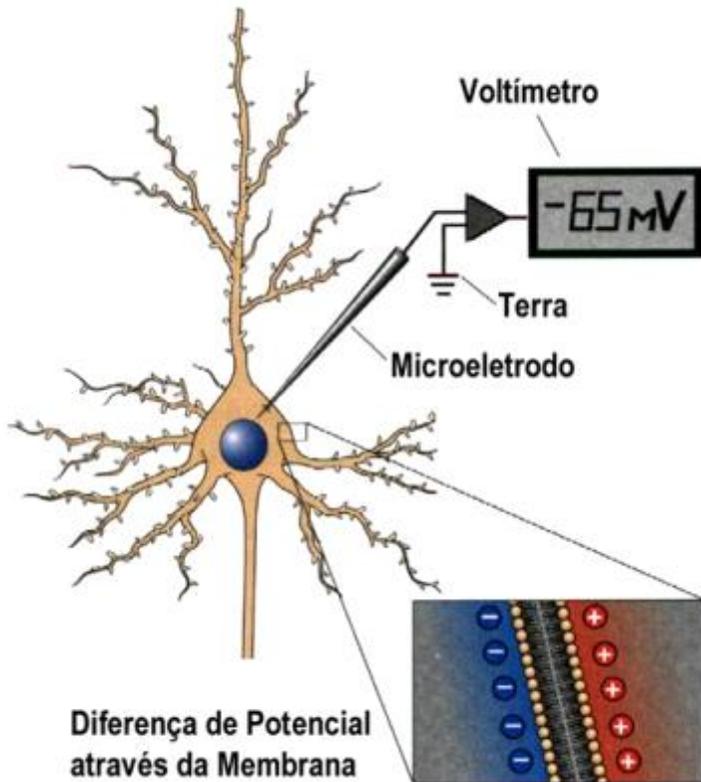
# Biomembranas

- A membrana celular é uma bicamada lipídica e contém proteínas inseridas. Algumas dessas proteínas atuam como canais iônicos, através dos quais íons podem atravessá-la
- A biomembrana separa dois meios denominados intracelular e extracelular.
- As biomembranas apresentam permissividade elétrica e maior que a do ar ( $\epsilon_0$ ) e *alta resistência elétrica* decorrente da extensa superfície líquida, o que implica uma *diferença de potencial elétrico relativamente elevada* (da ordem de  $\pm 100$  mV) entre o interior e o exterior da célula.

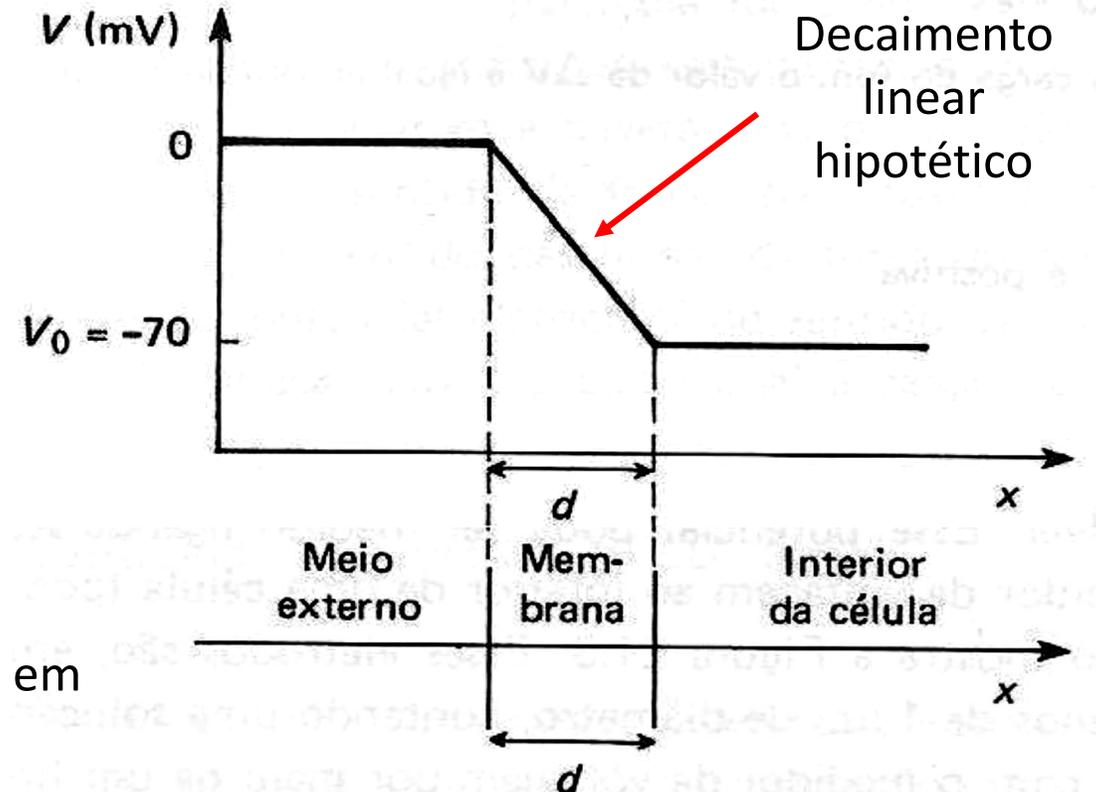


# Potencial de Repouso

- Entre o líquido no interior de uma célula e o fluido extracelular existe uma diferença de potencial elétrico denominada **potencial de membrana**
- Na maioria das células, o potencial de membrana permanece inalterado quando não há influencia externa e neste caso, recebe o nome de **potencial de repouso ( $V_0$ )**



Face interna é negativa em relação à externa



# Potencial de Repouso

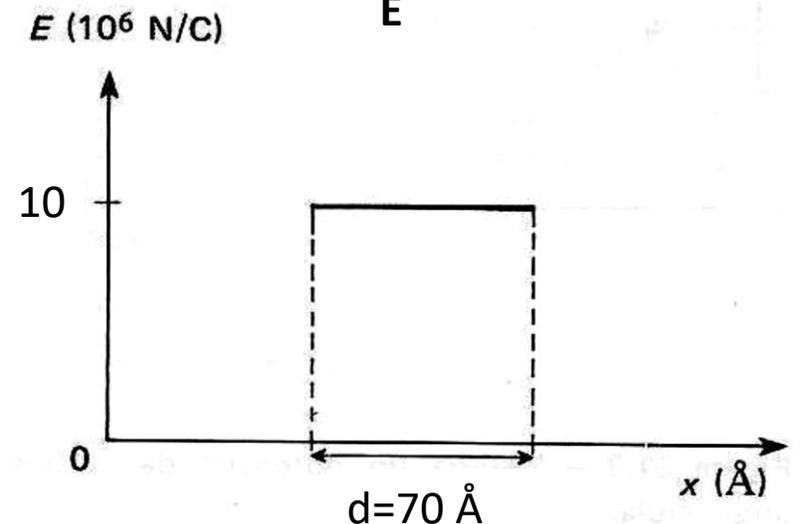
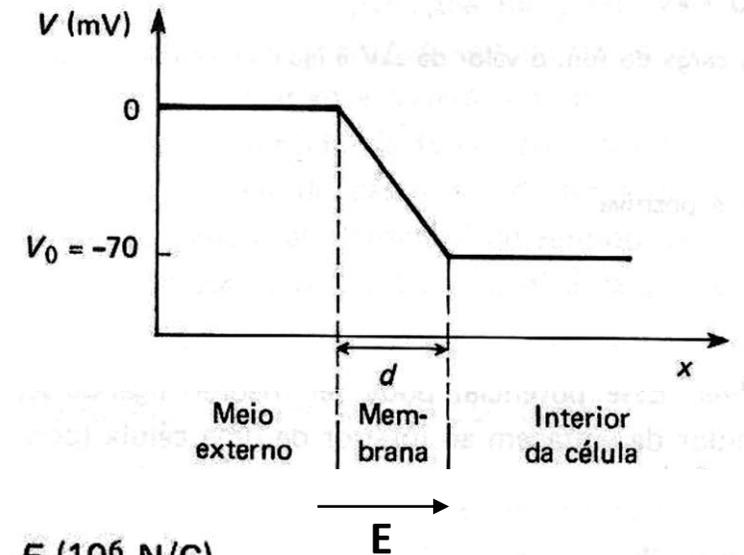
- Em células nervosas, o potencial de repouso é sempre negativo: varia de -55mV a até -100mV
  - Nas fibras de músculos lisos: varia de -30mV a até -55mV
- Pode-se calcular o campo elétrico existente nessas regiões:
  - Dentro e fora da célula:  $E = 0$ , pois  $\Delta V = 0$

- Na membrana:  $\Delta V = -E\Delta x \rightarrow E = -\frac{\Delta V}{d}$

$$E = -\frac{-70\text{mV}}{7 \cdot 10^{-9}\text{m}} = 10^7 \text{ N/C}$$

- A força elétrica exercida sobre os íons na membrana:

$$F = qE = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{C} \cdot 10^7 \text{ N/C} = 1,6 \cdot 10^{-12}\text{N}$$



# Referências

- Duran, J.H.R. Biofísica: conceitos e aplicações (2011). Capítulo 8.
- Okuno, E. et al. Física para ciências biológicas e biomédicas (1982). Capítulo 21.