

Licenciatura em Biologia

# Física para Biólogos

2019-2020

## Programa

- Física na Biologia
- Sólidos e Fluidos
- **Electricidade e Magnetismo**
- Vibrações e Ondas
- Óptica geométrica
- Física Contemporânea (!)

Estes slides contêm imagens retiradas da web, assim como conteúdos gráficos da referência  
Physics for Scientists and Engineers, R. A. Serway & J. W. Jewett, Thomson Brooks/Cole 2004.

Licenciatura em Biologia

# Física para Biólogos

2019-2020

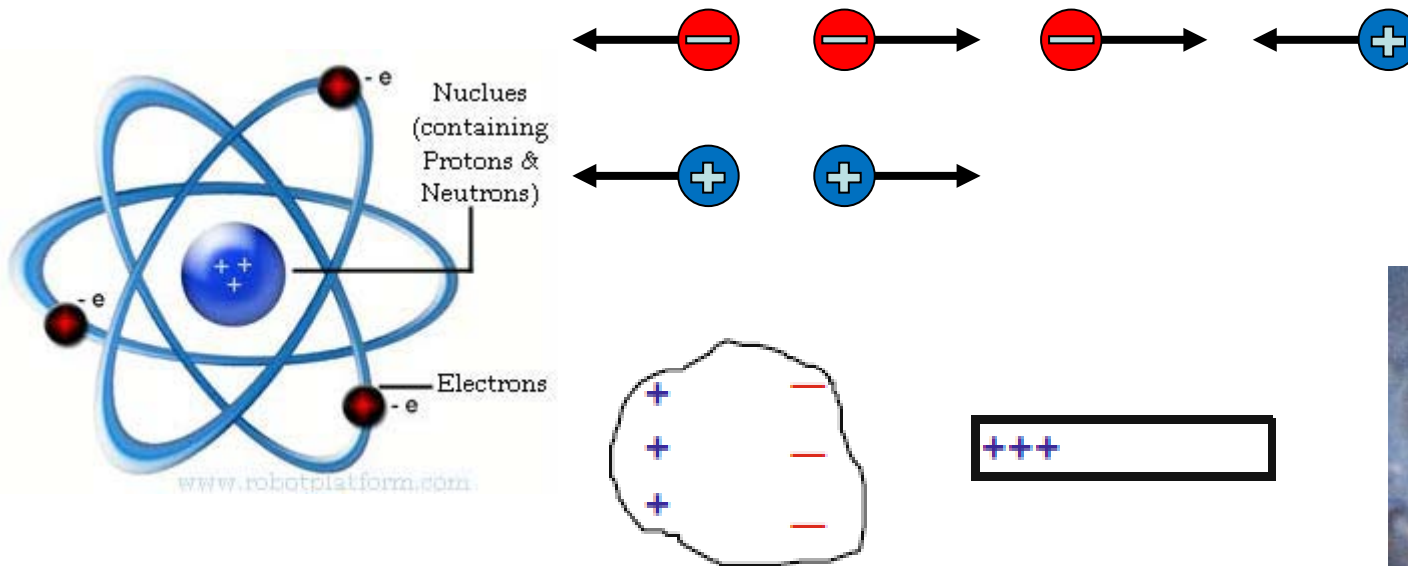
## 3- Electricidade e magnetismo

- **Lei de Coulomb. Campo eléctrico. Potencial eléctrico.**
- Dipolo eléctrico. Polarização. O condensador.
- Corrente eléctrica. Lei de Ohm.
- Circuitos RC.
- Transporte de iões em membranas carregadas e potencial de acção.
- Campos magnéticos.
- Força de Lorentz.
- Campo magnético produzido por uma corrente.
- Comportamento magnético dos materiais.
- Biomagnetismo.

# 3.1 Lei de Coulomb. Campo e potencial eléctrico.

Como os átomos são neutros, as forças eléctricas não são à escala macroscópica tão aparentes como as forças gravíticas.

## Forças eléctricas

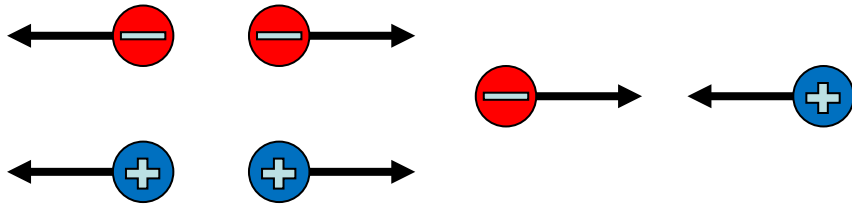


A carga conserva-se e está quantificada em múltiplos da carga do electrão,  $e \approx 1.610^{-19} \text{ C}$ .

## 3.1 Lei de Coulomb. Campo e potencial eléctrico.

As forças de interacção entre cargas eléctricas isoladas são descritas pela lei de Coulomb.

### Lei de Coulomb



$$F_{12} = -k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$k = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} = 9.0 \cdot 10^9 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-2}$$

Notem-se as semelhanças/diferenças em relação à lei de gravitação de Newton.

## 3.1 Lei de Coulomb. Campo e potencial eléctrico.

As forças de interacção entre cargas eléctricas são descritas pela lei de Coulomb.

### Quiz 39



Compare as forças gravítica e eléctrica que um protão e um electrão exercem entre si.

Notem-se as semelhanças/diferenças em relação à lei de gravitação de Newton.

## 3.1 Lei de Coulomb. Campo e potencial eléctrico.

As forças de interacção entre cargas eléctricas são descritas pela lei de Coulomb.

### Quiz 39



$$F_{12}^E = k \frac{e^2}{r^2}$$

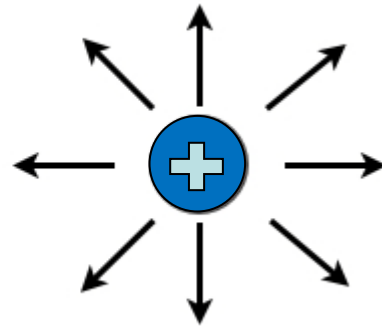
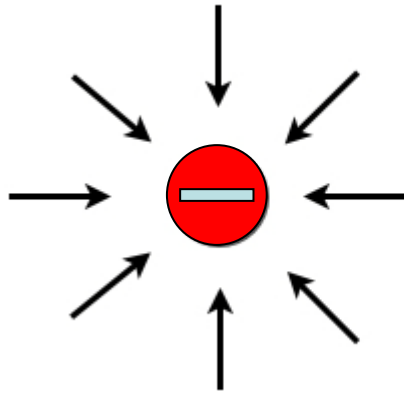
$$F_{12}^G = G \frac{m_e m_p}{r^2}$$

$$\frac{F_{12}^E}{F_{12}^G} = \frac{k e^2}{G m_e m_p} = 2.10^{39}$$

## 3.1 Lei de Coulomb. Campo e potencial eléctrico.

O campo eléctrico num ponto é a força por unidade de carga (positiva) nesse ponto.

### Campo eléctrico de uma carga isolada



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

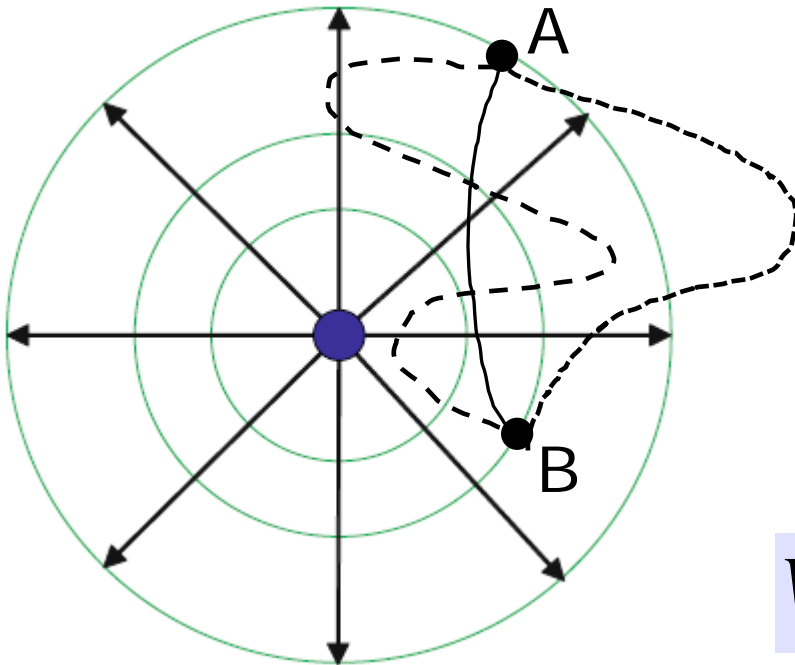
$$\vec{E} = k \frac{q}{r^2} \vec{u}_r$$

Da mesma maneira, o campo gravítico é a força gravítica por unidade de massa.

## 3.1 Lei de Coulomb. Campo e potencial eléctrico.

Tal como a força gravítica, a força electrostática é conservativa e tem uma energia potencial associada. O potencial eléctrico é o valor dessa energia por unidade de carga.

### Campo eléctrico e potencial eléctrico



$$\vec{E} = k \frac{q}{r^2} \vec{u}_r$$

$$V = k \frac{q}{r}$$

$$W_{\vec{E}}(\Gamma_{AB}) = V(A) - V(B) = -\Delta V$$

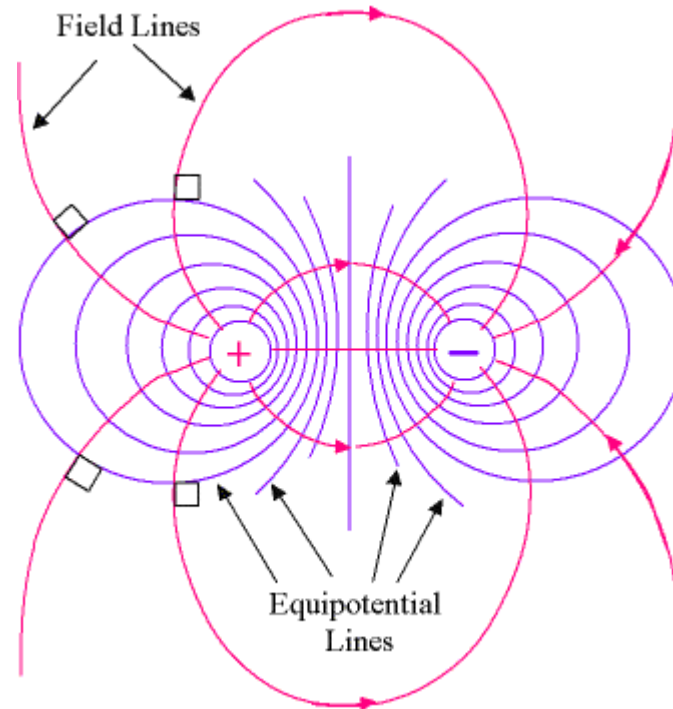
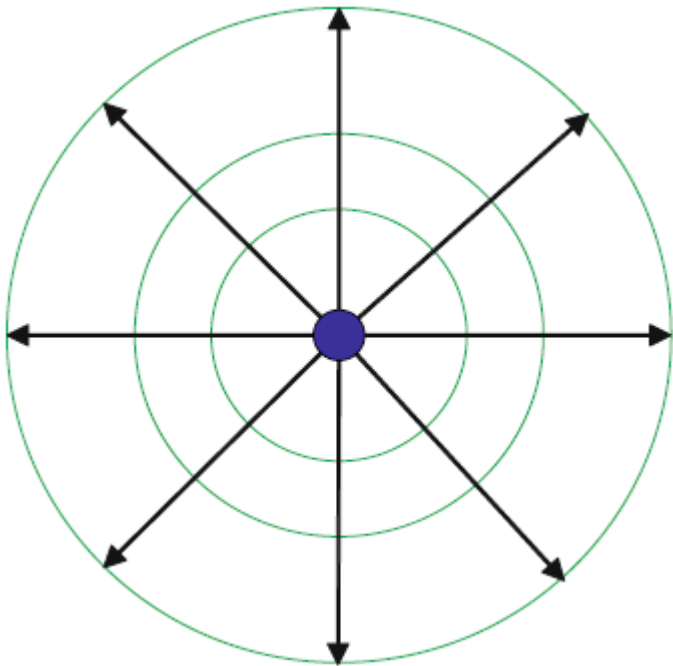
A unidade SI de potencial eléctrico é o volt,  $1 \text{ V} = 1 \text{ J/C}$ . Qual é a unidade SI de campo eléctrico?



## 3.1 Lei de Coulomb. Campo e potencial eléctrico.

O trabalho realizado pelo campo eléctrico ao longo de qualquer caminho com início e fim na mesma equipotencial é nulo.

### Campo eléctrico e potencial eléctrico

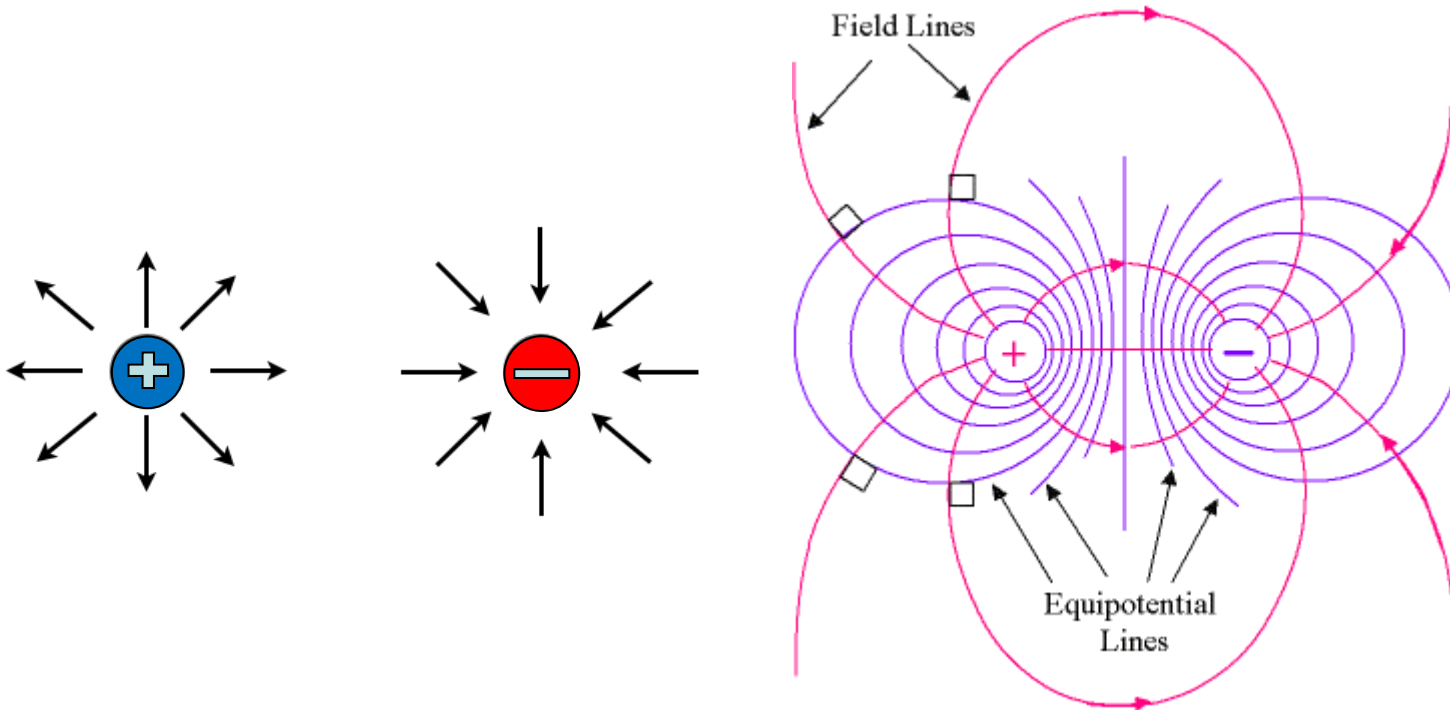


Linhas de campo e equipotenciais são perpendiculares em cada ponto.

## 3.1 Lei de Coulomb. Campo e potencial eléctrico.

O campo e potencial eléctrico são aditivos nas cargas que lhes dão origem.

### Campo eléctrico e potencial eléctrico



O campo do dipolo é em cada ponto a soma do campo criado pela carga  $+q$  com o campo criado pela carga  $-q$ .

## 3.1 Lei de Coulomb. Campo e potencial eléctrico.

Esta aditividade permite calcular o campo criado por qualquer distribuição de carga discreta...

### Campo eléctrico e potencial eléctrico

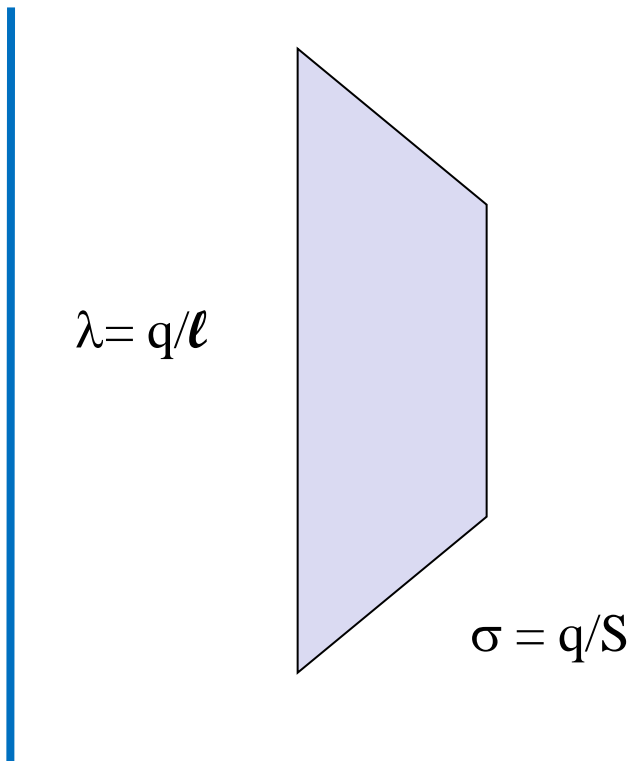
<i>Geometry</i>	<i>Parameters</i>	<i>E</i>
Point charge	$Q$	$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2}$
Line charge (infinite)	$\lambda = Q/L$ $r =$ perp. distance from line	$\frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{\lambda}{r}$
plane (infinite)	$\sigma = Q/A$	$\frac{\sigma}{2\epsilon_0}$
sphere	<i>total Q</i> $r =$ distance from center with $r >$ sphere radius	$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2}$

...e para as distribuições contínuas usa-se um resultado geral conhecido como lei de Gauss.

## 3.1 Lei de Coulomb. Campo e potencial eléctrico.

A lei de Gauss dá a dependência do módulo  $E$  do campo eléctrico na distância  $r$  à distribuição, mas a sua direcção e sentido podem ser achados com argumentos simples de simetria.

### Quiz 40

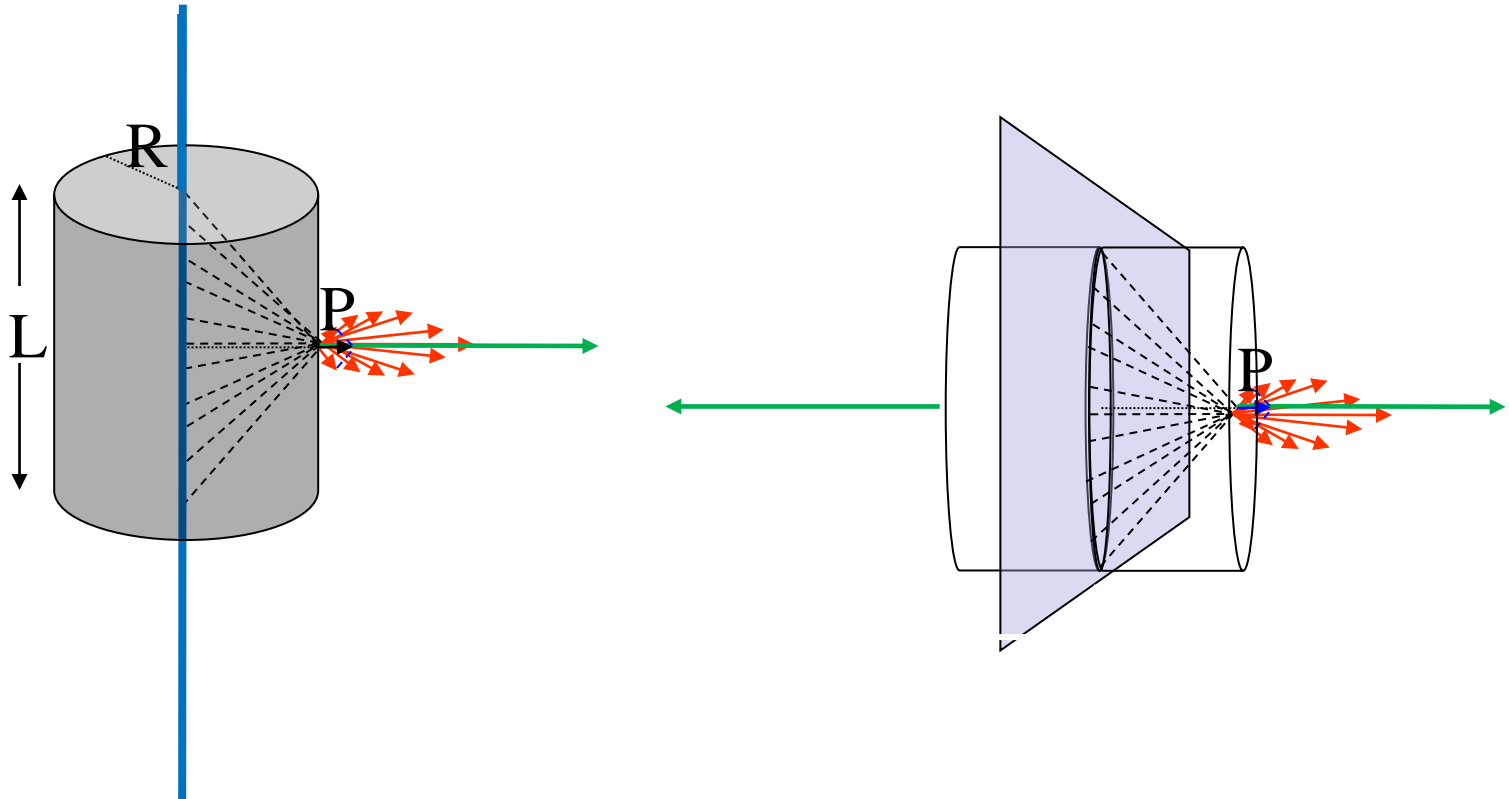


Considerando distribuições homogéneas e infinitas, qual a direcção e sentido do campo criado por uma distribuição de carga linear? E em superfície?

## 3.1 Lei de Coulomb. Campo e potencial eléctrico.

A lei de Gauss dá a dependência do módulo  $E$  do campo eléctrico na distância  $r$  à distribuição, e a sua direcção e sentido podem ser achados com argumentos simples de simetria.

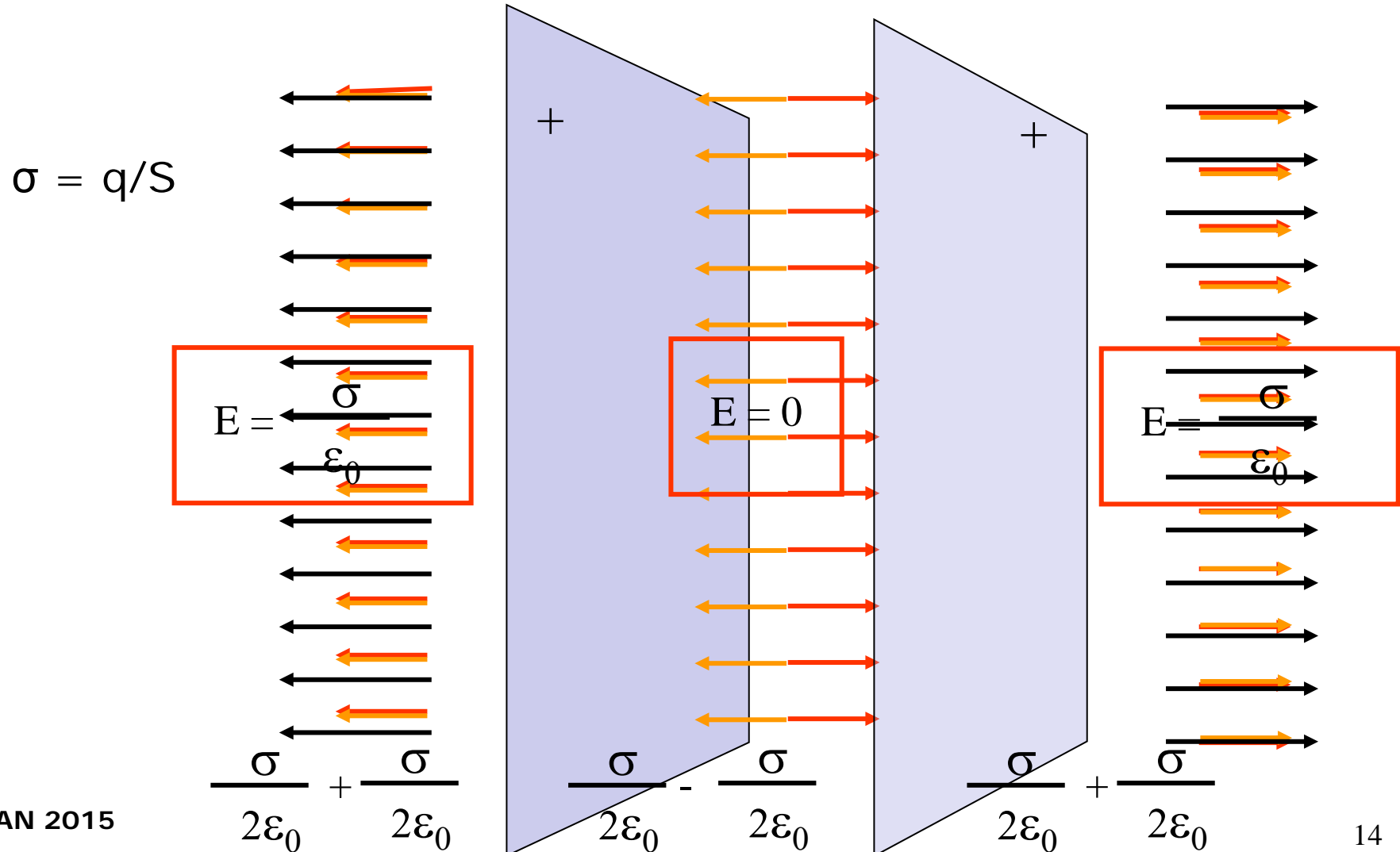
### Quiz 40



# 3.1 Lei de Coulomb. Campo e potencial eléctrico.

O campo criado por placas paralelas tem uma forma muito simples.

## Campo criado por duas placas paralelas

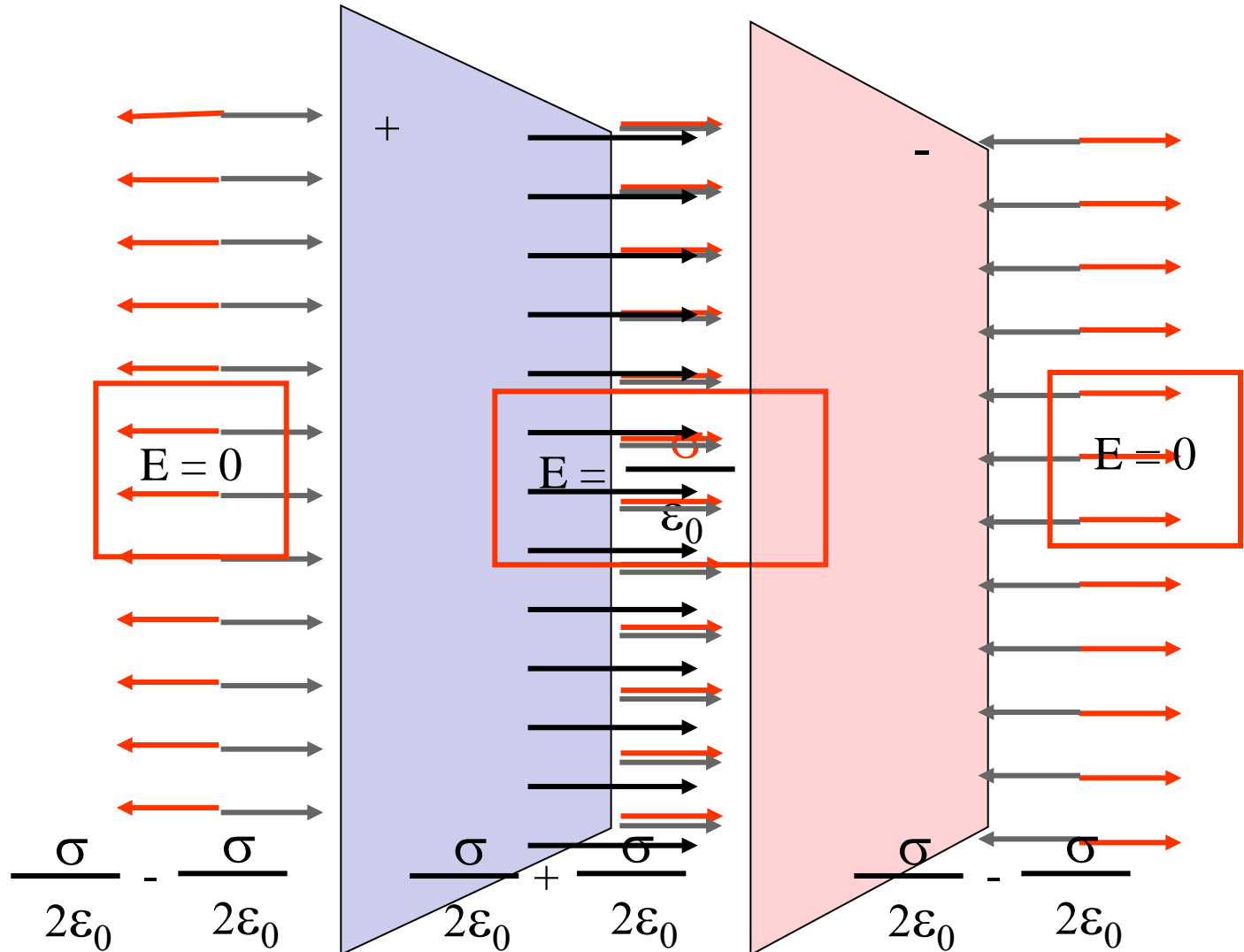


# 3.1 Lei de Coulomb. Campo e potencial eléctrico.

O campo criado por placas paralelas tem uma forma muito simples.

## Campo criado por duas placas paralelas

$$\sigma = q/S$$



Licenciatura em Biologia

# Física para Biólogos

2019-2020

## 3- Electricidade e magnetismo

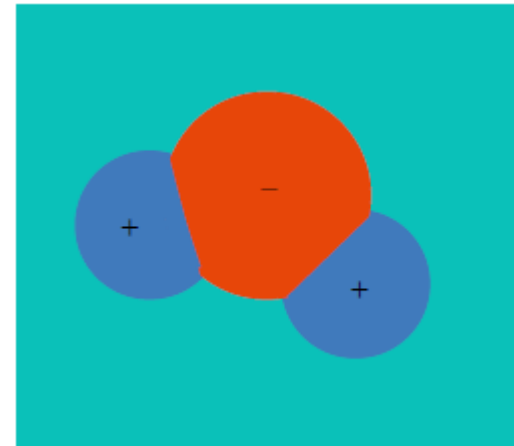
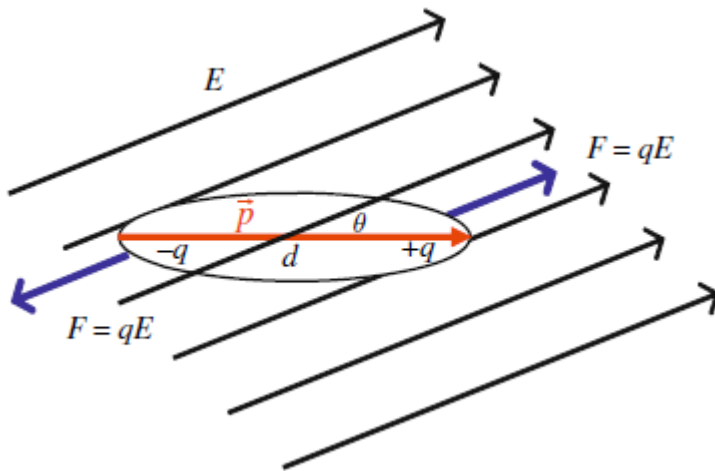
- Lei de Coulomb. Campo eléctrico. Potencial eléctrico.
- **Dipolo eléctrico. Polarização. O condensador.**
- Corrente eléctrica. Lei de Ohm.
- Circuitos RC.
- Transporte de iões em membranas carregadas e potencial de acção.
- Campos magnéticos.
- Força de Lorentz.
- Campo magnético produzido por uma corrente.
- Comportamento magnético dos materiais.
- Biomagnetismo.



## 3.2 Dipolo eléctrico. Polarização.O condensador.

Vimos já o campo criado por um dipolo. Como se comporta um dipolo num campo exterior?

### Dipolo num campo eléctrico

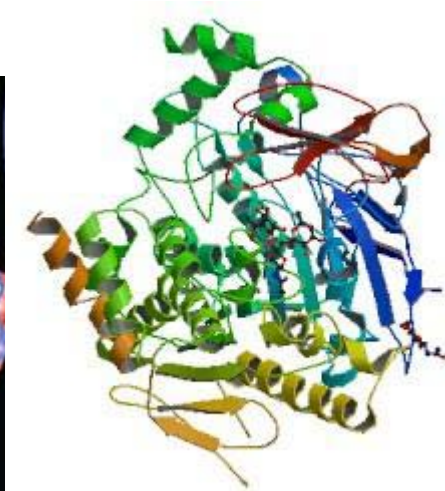
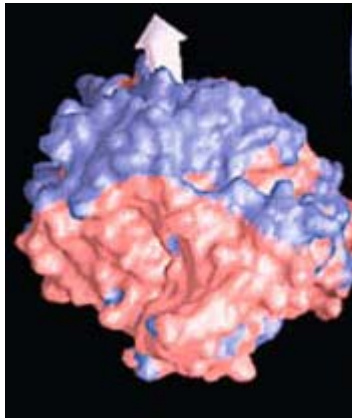
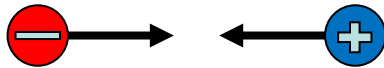


A resultante das forças electrostáticas sobre as duas cargas é nula. O dipolo roda sob a acção deste sistema de forças, alinhando-se com o campo.

# 3.2 Dipolo eléctrico. Polarização. O condensador.

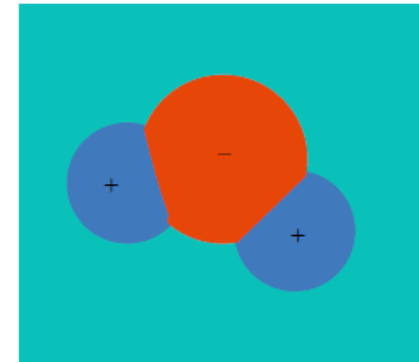
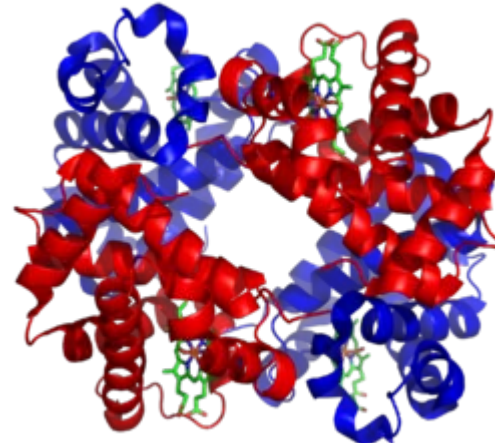
As forças de interacção entre cargas eléctricas são as forças dominantes a nível molecular.

## Dipolo num campo eléctrico



AChE 614 AA 68 kD

Hb 574 AA 64 kD

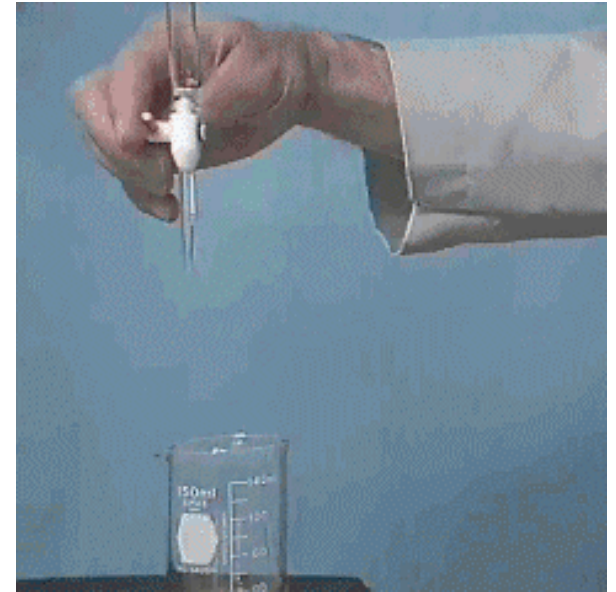
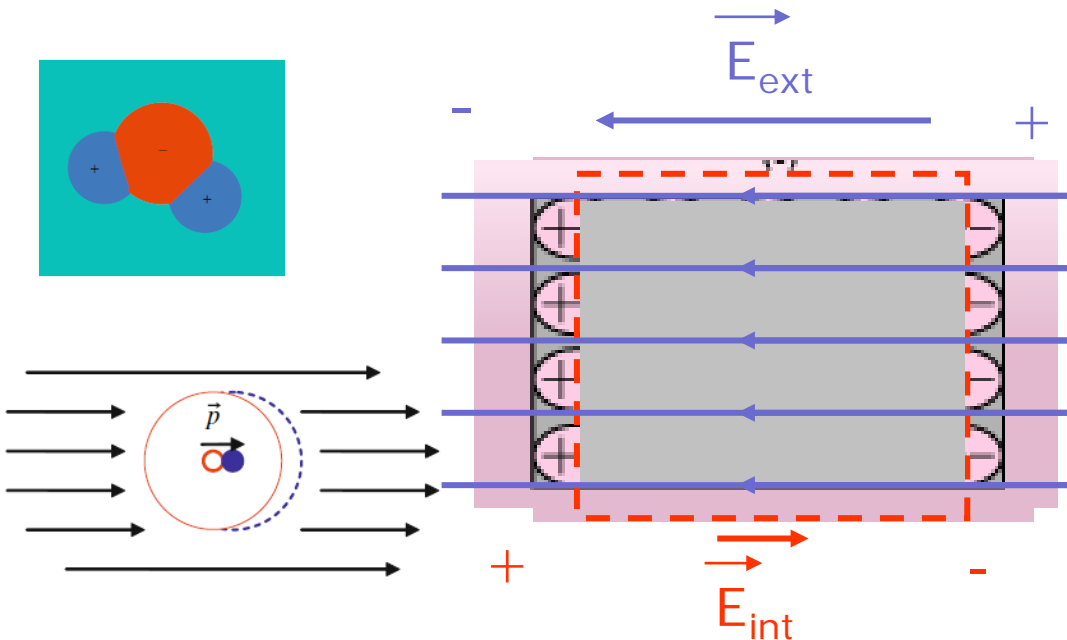
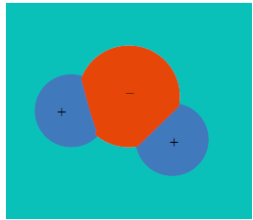


H<sub>2</sub>O 18 D

## 3.2 Dipolo eléctrico. Polarização. O condensador.

A maioria dos materiais isolantes são formados por moléculas polares, como a água.

### Polarização



Na presença de um campo exterior esses dipolos microscópicos alinham-se com o campo, dando origem a um campo de polarização que se opõe ao campo exterior.

## 3.2 Dipolo eléctrico. Polarização.O condensador.

O resultado da polarização de um meio é a redução do módulo do campo eléctrico em relação ao vácuo.

### Polarização

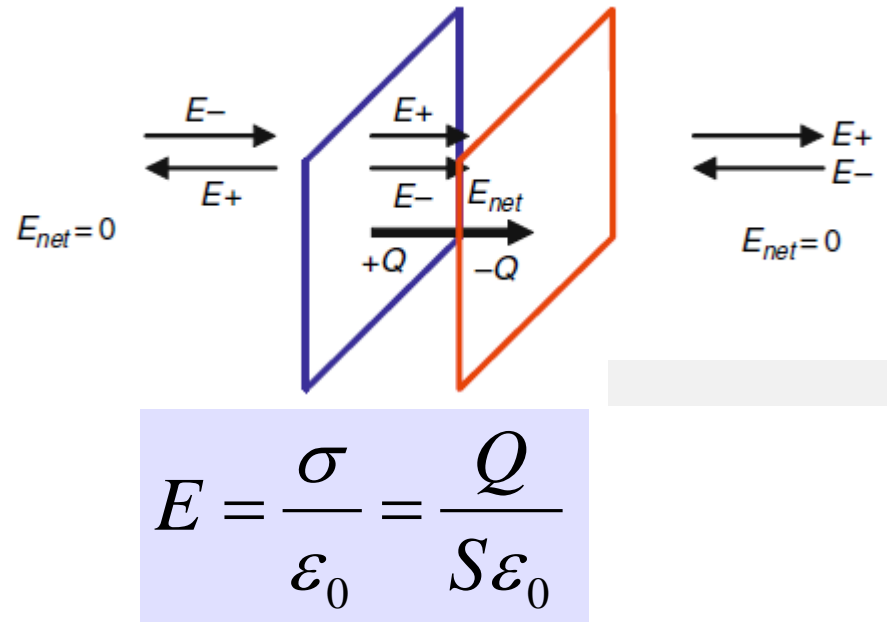
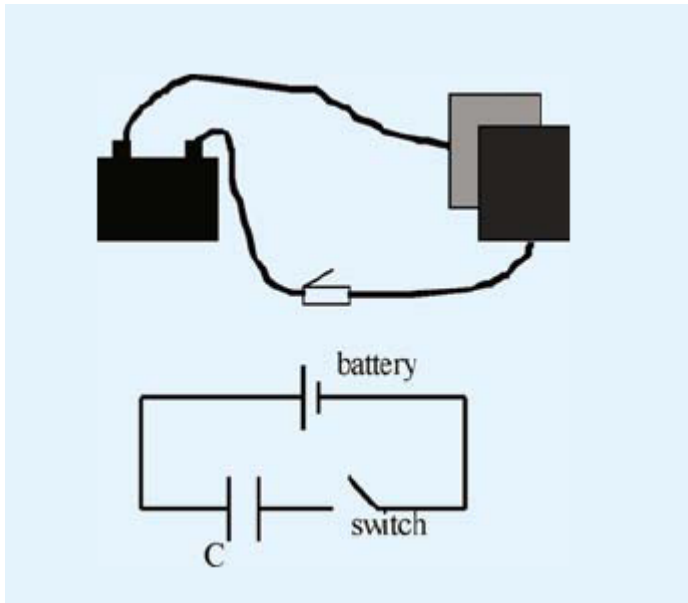
<i>Material</i>	<i>Dielectric Constant</i>
Air	1.00054
Paper	~4
Pyrex glass	4.7
Rubber (Neoprene)	~7
Ethanol	25
Water	80

A constante dieléctrica é o valor do factor de redução.

## 3.2 Dipolo eléctrico. Polarização.O condensador.

O condensador é o elemento formado por superfícies carregadas com cargas opostas, separadas por um material isolante.

### Condensador

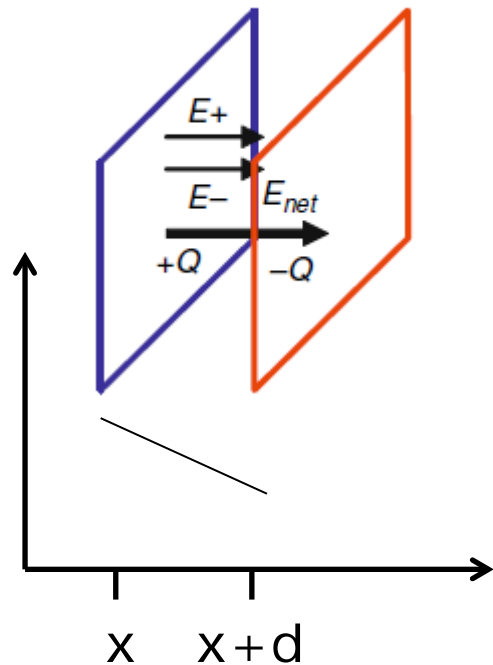


Conhecendo o campo criado por esta distribuição de cargas, como relacionar a carga  $Q$  do condensador com a diferença de potencial eléctrico  $\Delta V$ ?

## 3.2 Dipolo eléctrico. Polarização.O condensador.

Tal como a aceleração da gravidade, o campo eléctrico entre as placas é constante, e corresponde portanto a um potencial que varia linearmente com a distância.

### Condensador



$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{Q}{S\epsilon_0}$$

$$E = \frac{\Delta V}{d}$$

$$\Delta V = \frac{Q}{C}, C = \epsilon_0 \frac{S}{d}$$

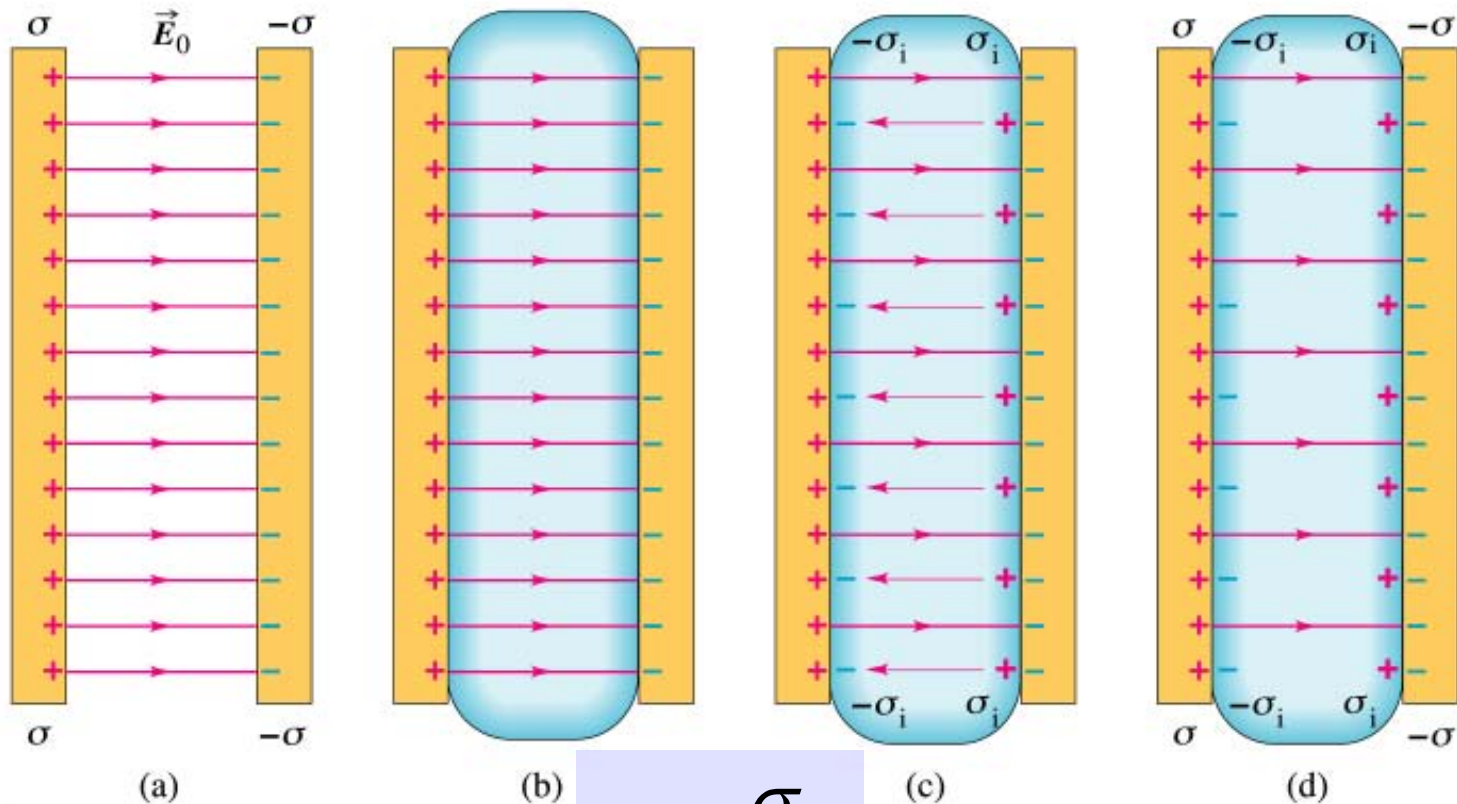


A capacidade de um condensador depende da geometria e do material isolante. A unidade SI de capacidade é o farad (F).

## 3.2 Dipolo eléctrico. Polarização.O condensador.

A capacidade de um condensador depende da geometria e do material isolante.

### Condensador



Copyright © Addison Wesley Longman, Inc.

$$E = \frac{\sigma}{k\epsilon_0}$$

## 3.2 Dipolo eléctrico. Polarização.O condensador.

A permitividade eléctrica de um isolante é o produto de  $\epsilon_0$  pela sua constante dieléctrica.

### Condensador



$$E = \frac{\sigma}{k\epsilon_0} = \frac{Q}{S\epsilon}$$

$$E = \frac{\Delta V}{d}$$

$$\Delta V = \frac{Q}{C}, C = \epsilon \frac{S}{d}$$

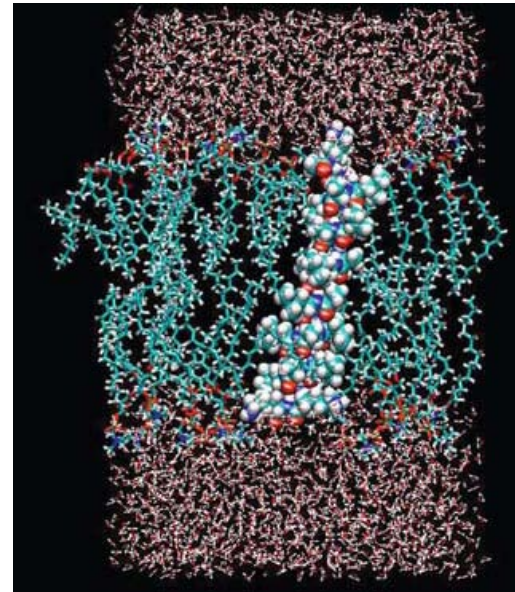
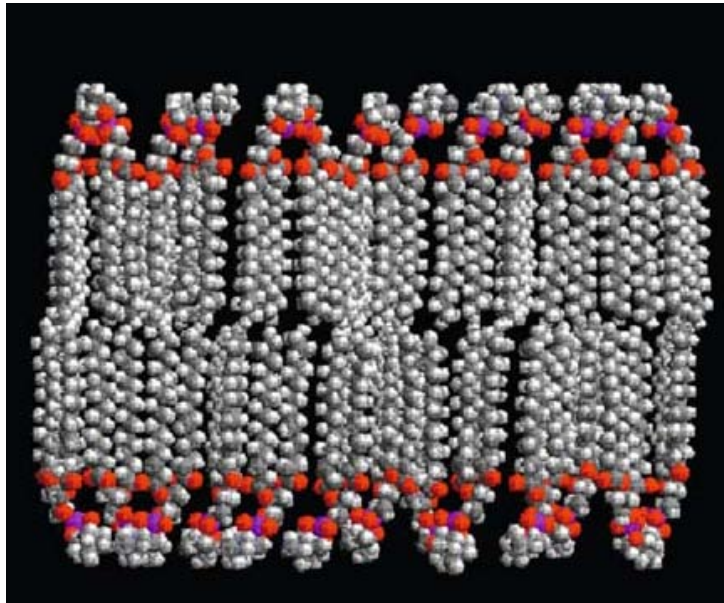
A capacidade de um condensador depende da geometria e da permitividade eléctrica do material isolante.



## 3.2 Dipolo eléctrico. Polarização.O condensador.

As membranas biológicas são condensadores naturais. Diferentes concentrações iónicas no exterior e no interior mantêm uma diferença de potencial entre as paredes da membrana.

### Condensador

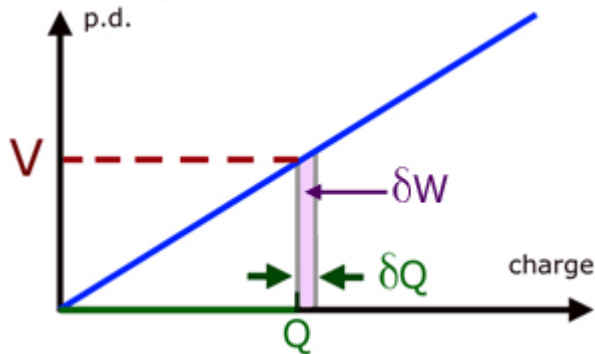


Valores típicos para este potencial, chamado potencial de repouso, são  $V_{in} - V_{ext} \approx -100 mV$ .

## 3.2 Dipolo eléctrico. Polarização.O condensador.

A energia armazenada num condensador depende da sua carga da mesma maneira que a energia armazenada numa mola depende da deformação.

### Condensador



$$U = \frac{1}{2C} Q^2$$

$$\Delta W = \Delta F d = \Delta q E d = \Delta q V(q) = \Delta q \frac{q}{C}$$

$$W = \sum \Delta W = \int_0^Q \frac{q}{C} dq$$

Este é o valor do trabalho realizado contra o campo eléctrico quando o condensador é carregado até à carga  $Q$ .

Licenciatura em Biologia

# Física para Biólogos

2019-2020

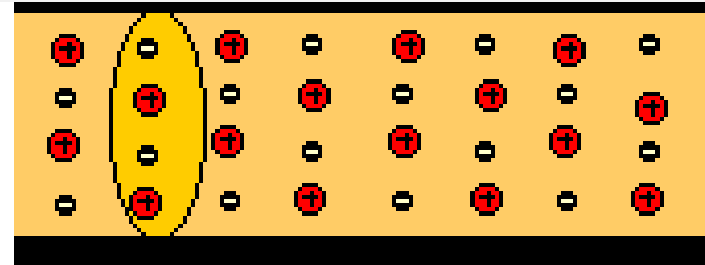
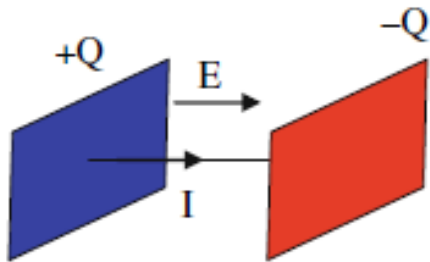
## 3- Electricidade e magnetismo

- Lei de Coulomb. Campo eléctrico. Potencial eléctrico.
- Dipolo eléctrico. Polarização. O condensador.
- **Corrente eléctrica. Lei de Ohm.**
- Circuitos RC.
- Transporte de iões em membranas carregadas e potencial de acção.
- Campos magnéticos.
- Força de Lorentz.
- Campo magnético produzido por uma corrente.
- Comportamento magnético dos materiais.
- Biomagnetismo.

## 3.3 Corrente eléctrica. Lei de Ohm.

Num condutor existem cargas eléctricas móveis que se deslocam de maneira a anular o campo eléctrico.

### Corrente eléctrica



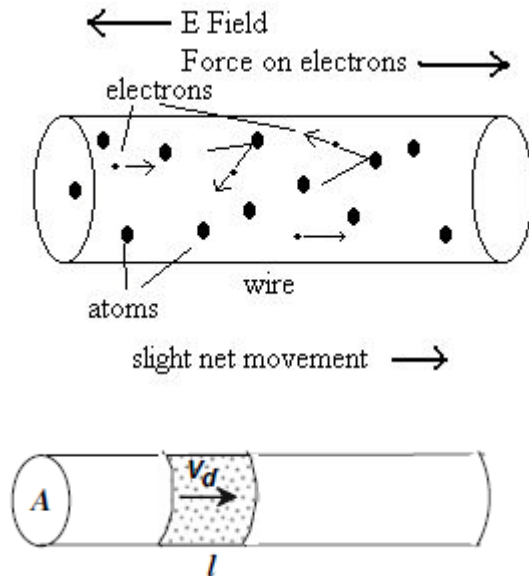
$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

A corrente eléctrica é o movimento ordenado de cargas eléctricas induzido por uma diferença de potencial. A unidade SI de intensidade de corrente é o ampere (A).

## 3.3 Corrente eléctrica. Lei de Ohm.

Numa solução iónica há portadores de carga de ambos os sinais, mas na maioria dos materiais os portadores de carga são electrões.

### Corrente eléctrica



$$v_d = a \tau = \frac{q E}{m} \tau = \frac{q \tau}{m L} \Delta V$$

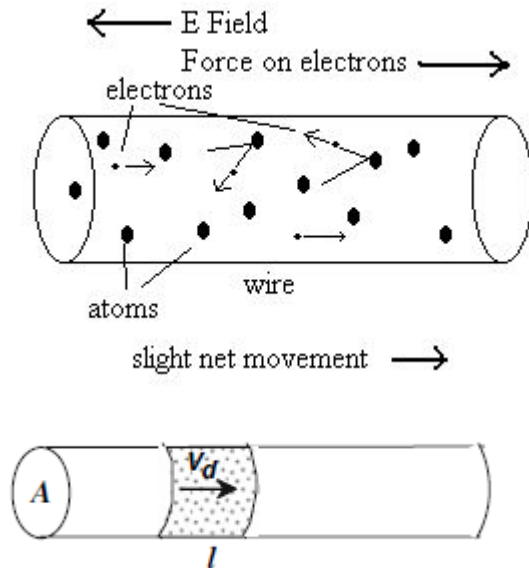
$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = c q A v_d = \frac{c q^2 A \tau}{m L} \Delta V$$

Nos condutores ohmicos os portadores de carga deslocam-se a velocidade constante sob a acção do campo eléctrico.

## 3.3 Corrente eléctrica. Lei de Ohm.

Nos condutores ohmicos a intensidade de corrente e a tensão são proporcionais.

### Lei de Ohm



$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = cqAv_d = \frac{cq^2A\tau}{mL} \Delta V$$

$$\Delta V = RI, R = \frac{\rho L}{A}$$

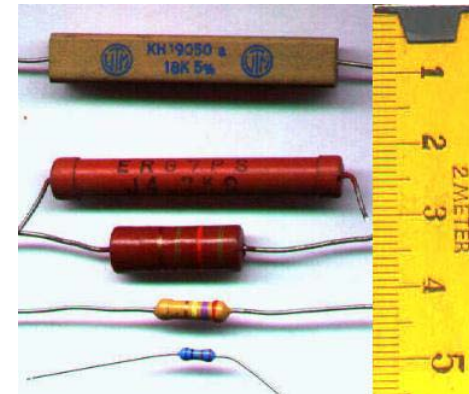
A unidade SI de resistência é o ohm ( $\Omega$ ). A resistência depende das dimensões do condutor e do material a través da resistividade.

## 3.3 Corrente eléctrica. Lei de Ohm.

A resistência depende das dimensões do condutor e do material a través da resistividade.

### Lei de Ohm

<i>Material</i>	<i>Resistivity, <math>\rho</math> (<math>\Omega \cdot m</math>)</i>
<b>Conductors</b>	
Aluminum	$2.8 \times 10^{-8}$
Copper	$1.7 \times 10^{-8}$
Iron	$10. \times 10^{-8}$
Mercury	$96. \times 10^{-8}$
Silver	$1.6 \times 10^{-8}$
Tungsten	$5.6 \times 10^{-8}$
<b>Ionic materials</b>	
Water (distilled)	$\sim 2 \times 10^5$
Fresh water	$\sim 5 \times 10^2$
Sea water	$\sim 0.3$
Cytoplasm	$\sim 0.5$
Fatty tissue	$\sim 15$



## 3.3 Corrente eléctrica. Lei de Ohm.

A resistência depende das dimensões do condutor e do material a través da resistividade.

### Lei de Ohm

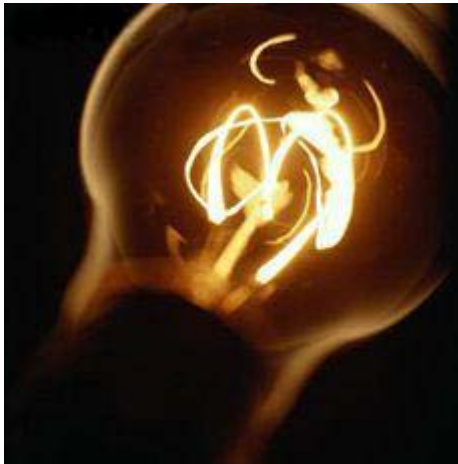
<i>Material</i>	<i>Resistivity, <math>\rho</math> (<math>\Omega \cdot m</math>)</i>	<i>Material</i>	<i>Resistivity, <math>\rho</math> (<math>\Omega \cdot m</math>)</i>
<b>Conductors</b>		<b>Semiconductors</b>	
Aluminum	$2.8 \times 10^{-8}$	Germanium	$\sim 0.5$
Copper	$1.7 \times 10^{-8}$	Silicon	$\sim 2. \times 10^3$
Iron	$10. \times 10^{-8}$	<b>Insulators</b>	
Mercury	$96. \times 10^{-8}$	Air (dry)	$4 \times 10^{13}$
Silver	$1.6 \times 10^{-8}$	Glass	$10^{10} - 10^{14}$
Tungsten	$5.6 \times 10^{-8}$	Rubber	$10^{13} - 10^{16}$
<b>Ionic materials</b>			
Water (distilled)	$\sim 2 \times 10^5$		
Fresh water	$\sim 5 \times 10^2$		
Sea water	$\sim 0.3$		
Cytoplasm	$\sim 0.5$		
Fatty tissue	$\sim 15$		



## 3.3 Corrente eléctrica. Lei de Ohm.

O transporte de carga a velocidade constante reflecte a dissipação de energia associada a esse transporte.

### Lei de Joule



$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{Q}{\Delta t} \Delta V = I \Delta V$$

$$P = R I^2$$

O calor libertado corresponde à energia dissipada.