

Electromagnetismo e Óptica

MEBiom + LMAC
Prof. Gonçalo Figueira

AULA 4 – Electrostática IV

Campo eléctrico no vácuo e conceitos fundamentais da electrostática

Campo eléctrico nos condutores em equilíbrio electrostático

- Distribuição da carga eléctrica
- Efeito de blindagem
- Condições de fronteira do campo eléctrico na superfície de condutores

Popovic & Popovic Cap. 6.1 – 6.4

Três tipos de materiais

Condutores

Contém cargas (electrões) que não estão ligadas a nenhum átomo e se movem livremente. São bons condutores de corrente.



Semicondutores

Contém algumas cargas livres, que podem conduzir corrente. São isolantes a baixa temperatura e condutores a alta.



Dielétricos

Não possuem cargas livres. São maus condutores de corrente (isolantes).



Condutores em equilíbrio electrostático

= quando num condutor **não existe movimento de cargas**.

Características:

1. O campo eléctrico é nulo em qualquer ponto do seu interior
2. Se um condutor isolado contém carga, esta distribui-se pela superfície (densidade de carga em superfície σ)
3. O campo eléctrico no exterior é perpendicular à superfície e tem o valor σ/ϵ_0
4. Num condutor de forma irregular, a densidade de carga é maior nas regiões em que a superfície é mais curva

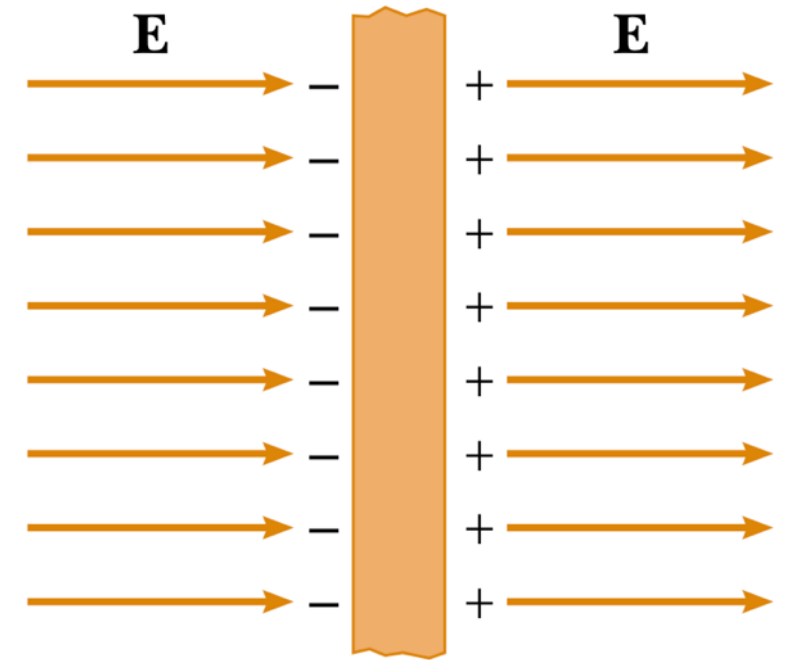
1. O campo eléctrico é nulo em qualquer ponto do seu interior

Condutor colocado num campo eléctrico externo: as cargas livres vão mover-se, criando densidades de carga de sinais opostos em cada superfície.

Enquanto sentirem o campo externo, as cargas vão mover-se.

Pelo princípio da sobreposição, o campo eléctrico resultante no interior do condutor é

$$\vec{E}_{tot} = \vec{E}_{ext} + \vec{E}_{\sigma} = 0$$



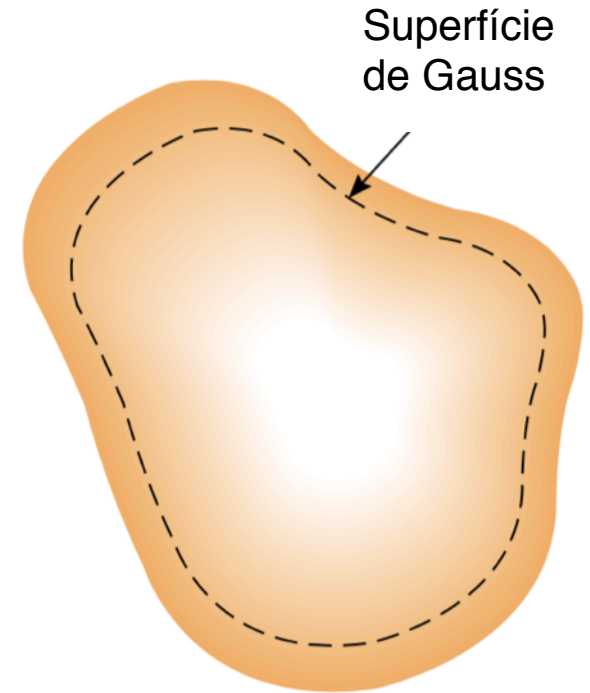
2. Se um condutor isolado contém carga, esta distribui-se pela superfície

Consideremos uma superfície de Gauss no interior do condutor, próxima da superfície deste.

Como $\vec{E} = 0$ no interior:

$$\oiint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = 0 = \frac{q}{\epsilon_0}$$

Como se pode aproximar da superfície do condutor tanto quanto se queira, conclui-se que qualquer carga apenas pode residir nessa superfície.



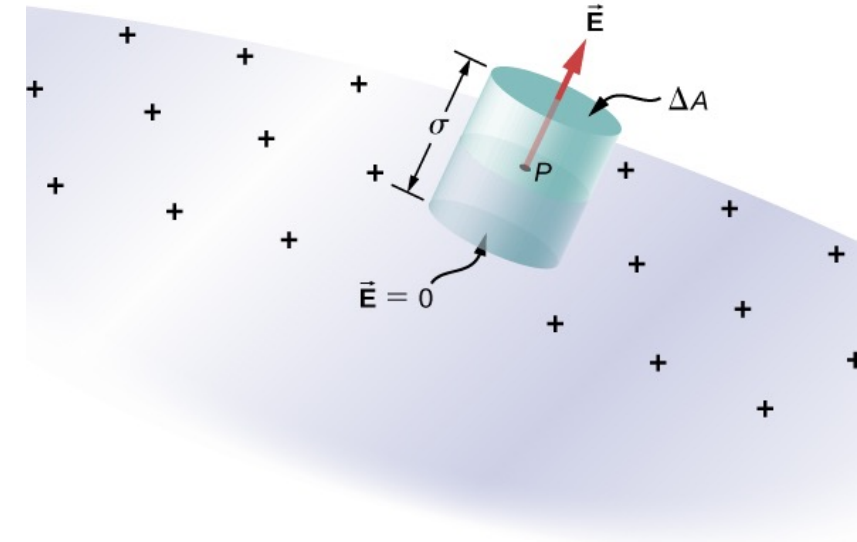
3. O campo eléctrico no exterior é perpendicular à superfície e tem o valor σ/ϵ_0

Na superfície do condutor:

- Só pode existir campo com componente perpendicular à superfície (senão as cargas moviam-se para o lado!)
- Considerando uma superfície de Gauss de forma cilíndrica e paralela à superfície do condutor:

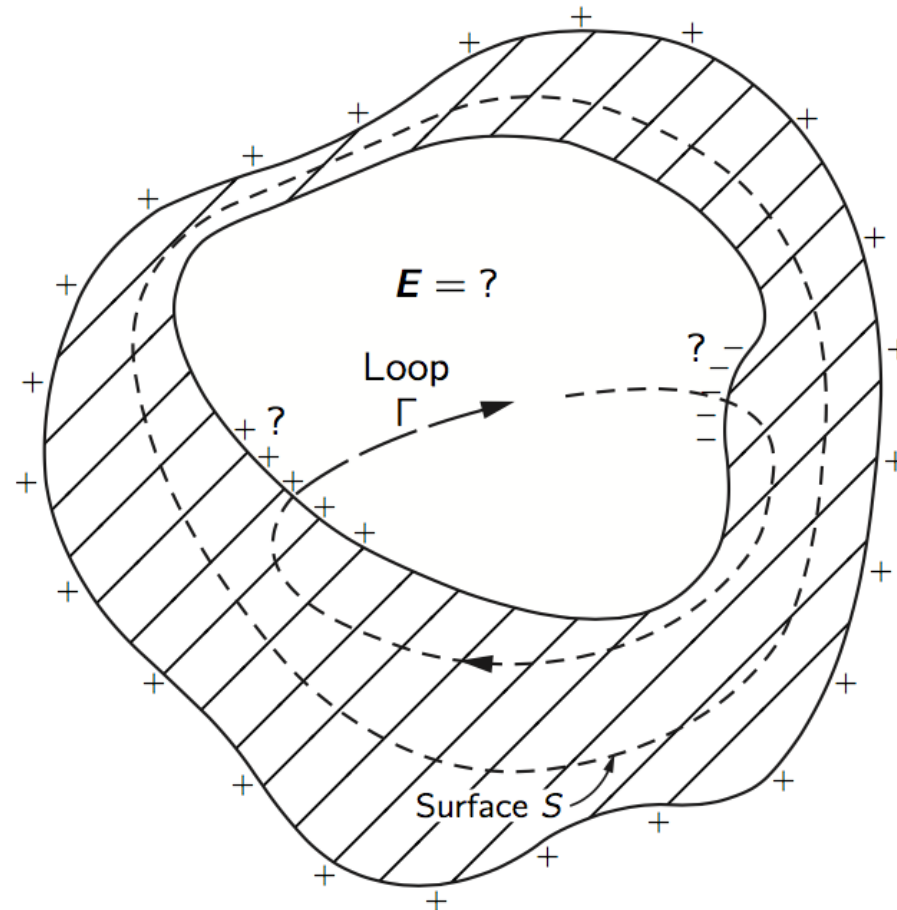
$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \oint_{\text{int}} \vec{E}_{\text{int}} \cdot d\vec{S} + \oint_{\text{ext}} \vec{E}_{\text{ext}} \cdot d\vec{S} = \frac{\sigma A}{\epsilon_0} \rightarrow \boxed{\vec{E} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \vec{n}}$$

$\vec{E}_{\text{int}} = 0$ $= EA$



Exemplo: campo eléctrico no interior de um condutor oco

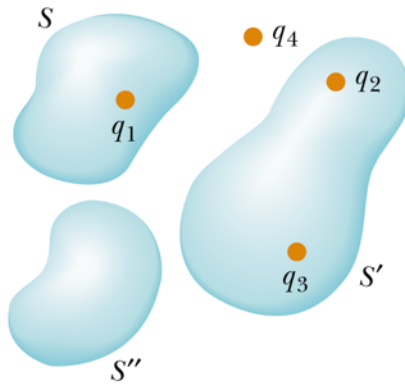
Qual o campo eléctrico no interior de um orifício num condutor?



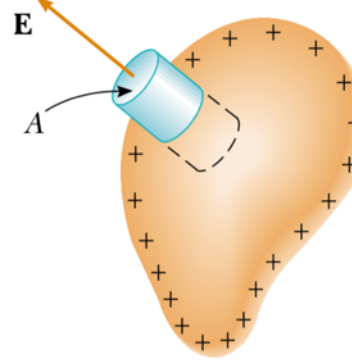
Para saber mais:
<https://bit.ly/2TwLxQI>

Revisão da última aula

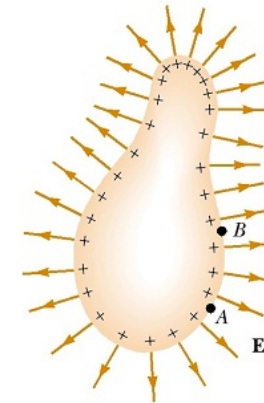
Lei de Gauss



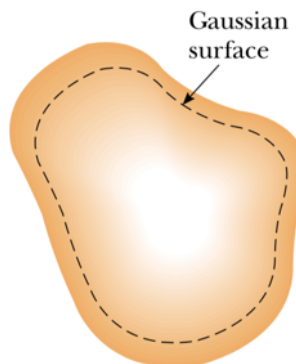
Condutores no campo eléctrico



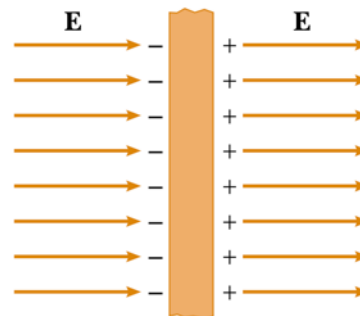
Carga de superfície



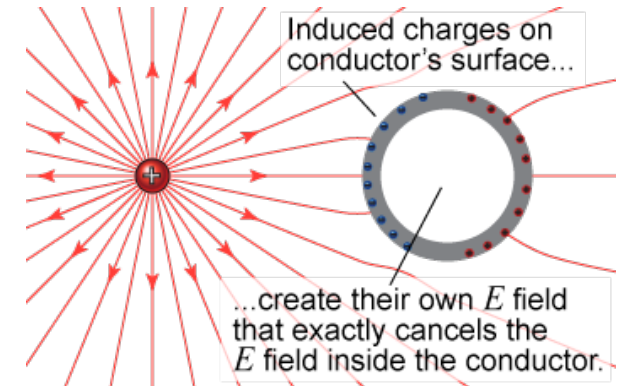
Campo nulo no interior



Efeito de blindagem



Gaiola de Faraday



Exemplo: campo eléctrico de uma esfera metálica carregada

Esfera condutora de raio R e carga Q , colocada no vácuo.
A carga distribui-se na forma de densidade superficial de carga:

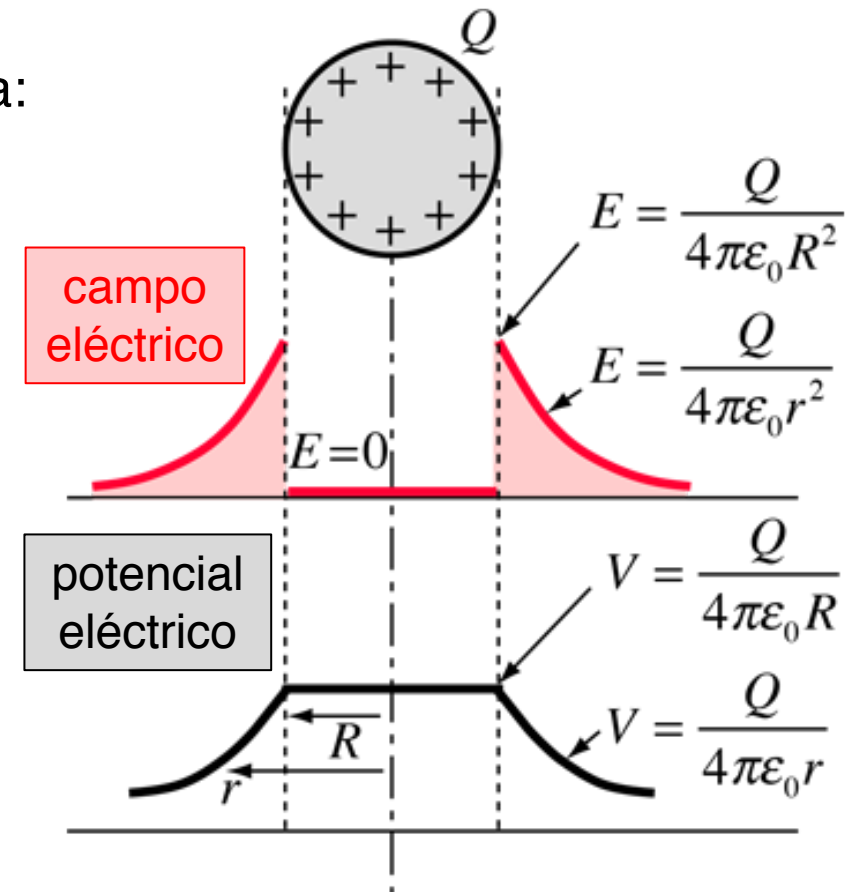
$$\sigma = \frac{Q}{4\pi R^2} \rightarrow Q = 4\pi R^2 \sigma$$

Superfície de Gauss esférica: $\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = Q_{int}/\epsilon_0$

Por simetria, o campo eléctrico e o potencial são radiais:

$(r \geq R)$	$\vec{E}(r) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{\sigma R^2}{\epsilon_0 r^2}$ $V(r) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r} = \frac{\sigma R^2}{\epsilon_0 r}$
--------------	---

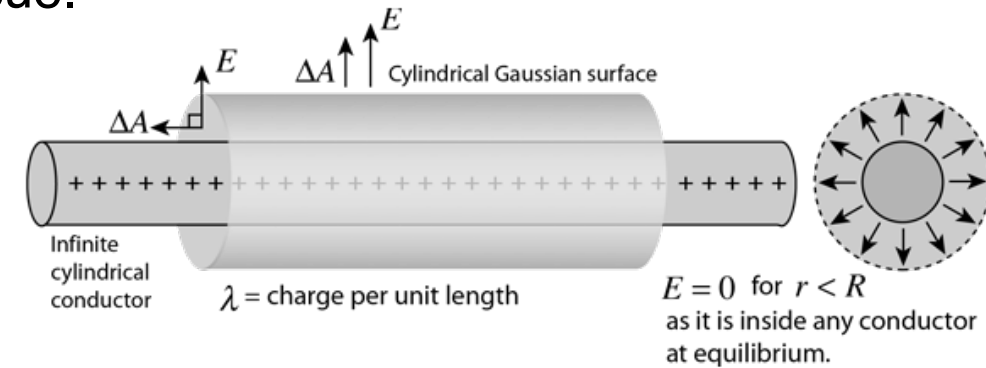
$(r < R)$	$\vec{E} = 0$ $V = \frac{\sigma R}{\epsilon_0}$
-----------	---



Exemplo: campo eléctrico de um cilindro metálico carregado

Cilindro condutor de raio R e comprimento infinito, no vácuo.
Densidade de carga linear λ [C/m].

Por simetria, o campo eléctrico é radial.
Sup. Gauss: cilindro coaxial, de raio r e comprimento l .



$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \oint_{lado} E dS = E \cdot 2\pi r l = \frac{\lambda l}{\epsilon_0}$$

$(r \geq R)$

$$\vec{E}(r) = \vec{E} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r} \vec{u}_r$$

$$V(r) = \int_r^{r_{\text{ref}}} \vec{E} \cdot d\vec{r} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \int_r^{r_{\text{ref}}} \frac{dr}{r} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{r_{\text{ref}}}{r}$$

$(r < R)$

$$\vec{E} = 0$$

$$V = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{r_{\text{ref}}}{R}$$

Distribuição de carga em condutores de forma arbitrária

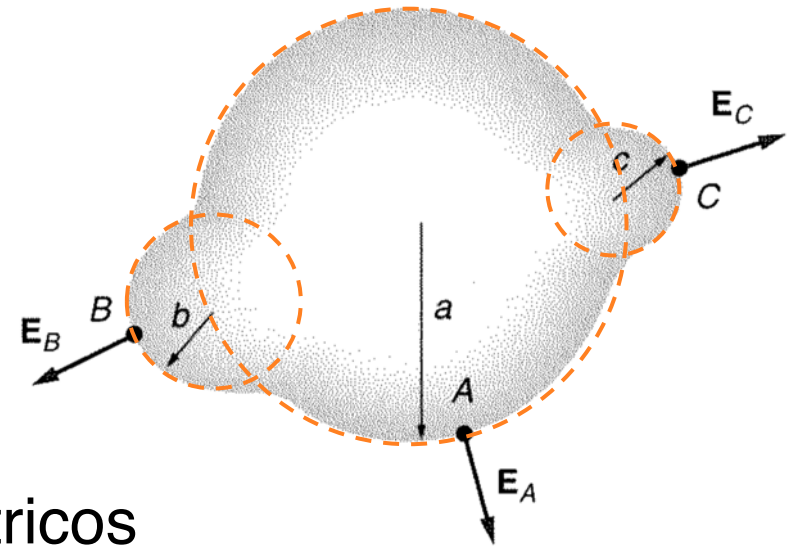
Este é um dos problemas mais complicados da electrostática. Excepto em alguns casos mais simples, a solução é obtida numericamente. Por vezes, pode ser possível estimar a distribuição de carga.

$$\sigma_a \neq \sigma_b \neq \sigma_c$$

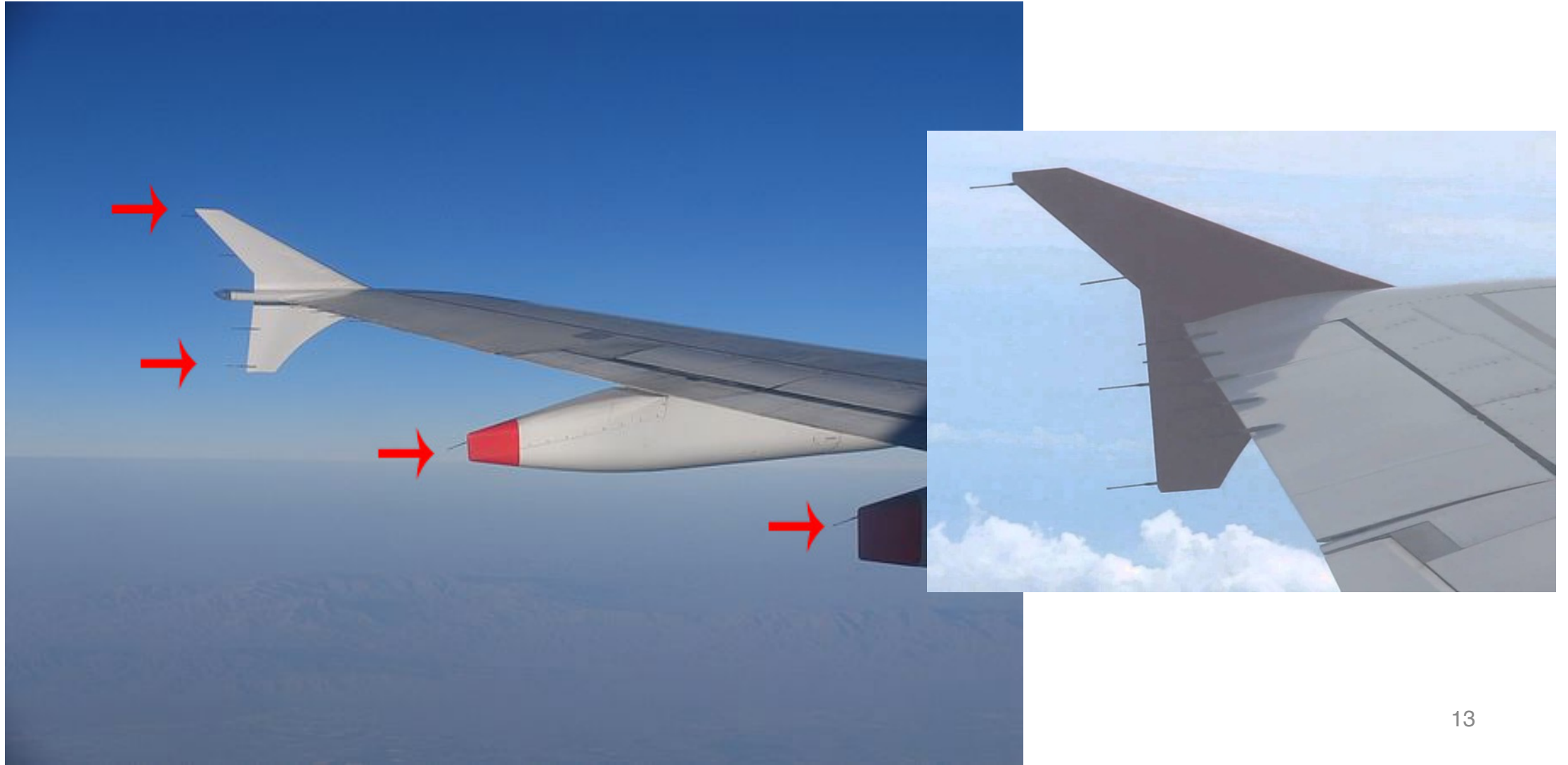
$$V_a = V_b = V_c \rightarrow a\sigma_a \approx b\sigma_b \approx c\sigma_c$$

$$\rightarrow aE_a \approx bE_b \approx cE_c$$

As **maiores** densidades de cargas e campos eléctricos encontram-se nas zonas de **menores raios**.

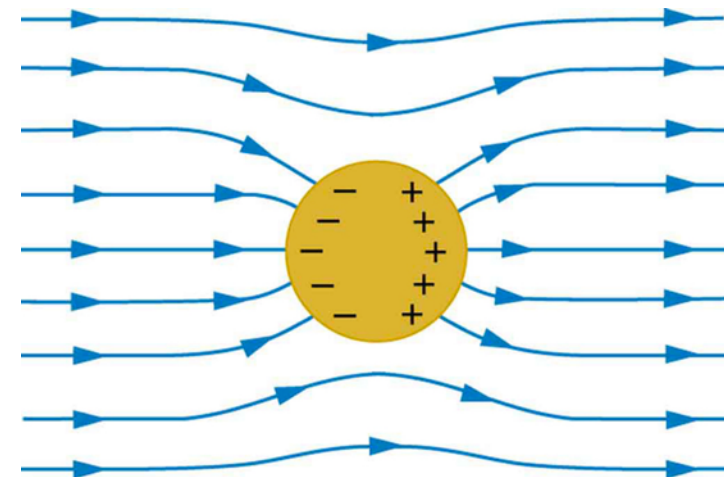
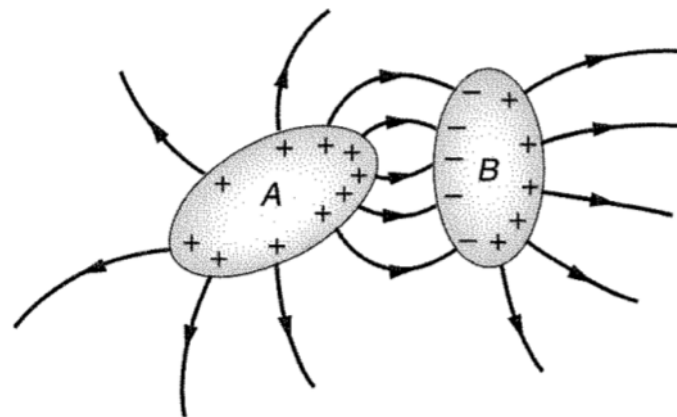
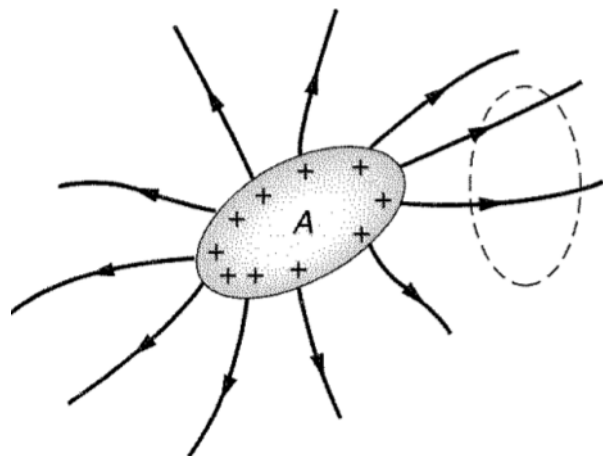


Aplicação: electricidade estática na fuselagem de um avião



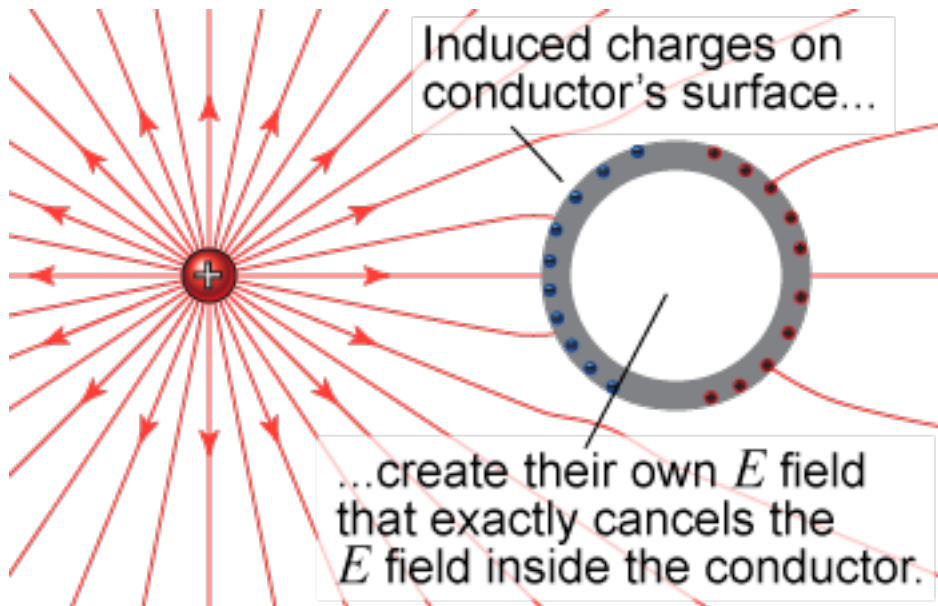
Indução electrostática

Um condutor carregado cria campos eléctricos, que por sua vez podem induzir o surgimento de cargas noutro condutor colocado na vizinhança. Estas cargas distribuem-se de modo a cancelar o campo no interior.



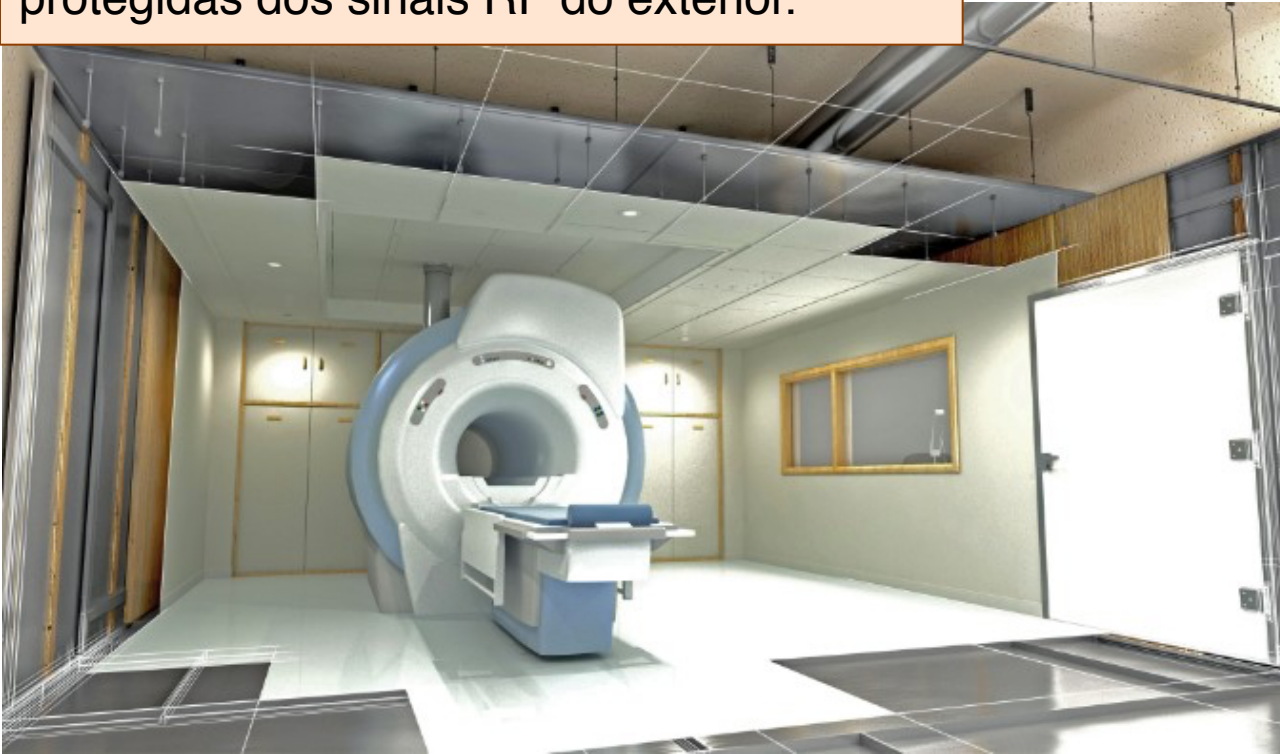
Aplicação: Gaiola de Faraday

Numa cavidade no interior de um condutor, o campo eléctrico é nulo. O condutor **blinda** o seu interior de campos eléctricos no exterior.



Aplicação: Gaiola de Faraday

Os aparelhos de imagem por ressonância magnética são instalados em salas protegidas dos sinais RF do exterior.



A fuselagem de um avião actua como uma gaiola de Faraday, protegendo os ocupantes no interior

Recursos online:

Campo eléctrico e Lei de Gauss

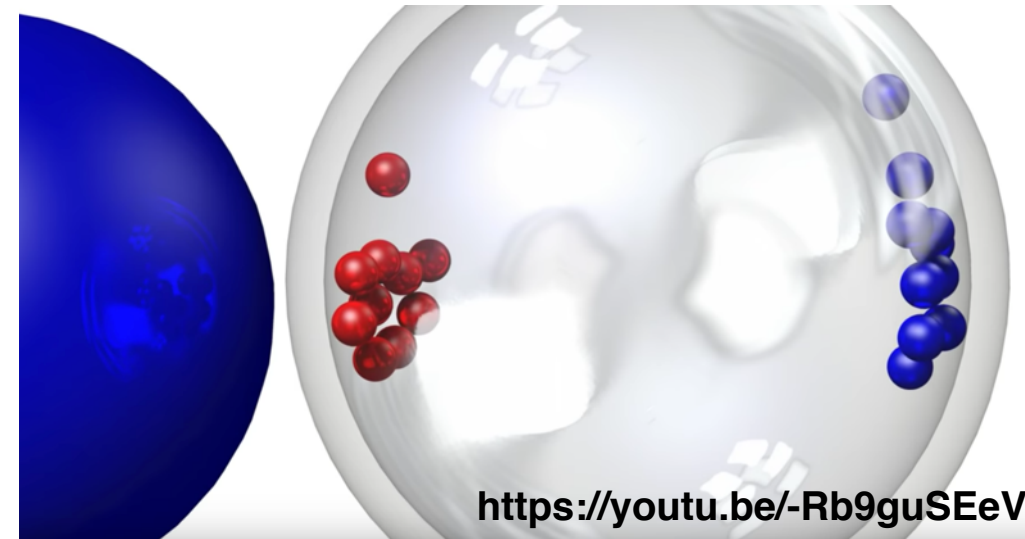
<https://phet.colorado.edu/en/simulations/category/physics/electricity-magnets-and-circuits>

- Charges and fields
- Electric field of dipoles

https://www.compadre.org/Physlets/electromagnetism/illustration24_1.cfm

- Gaussian surfaces and flux
- Illustration 24.1: Flux and Gaussian Surfaces
- Illustration 24.2: Near and Far View of a Filament
- Illustration 24.3: A Cylinder of Charge
- Exploration 24.2: Symmetry and Using Gauss's Law
- Exploration 24.3: Conducting and Insulating Sphere
- Exploration 24.4: Application of Gauss's Law

<https://www.falstad.com/emstatic/index.html>



<https://youtu.be/-Rb9guSEeVE>

Sumário

- Nos condutores em equilíbrio electrostático, o campo eléctrico no interior é **nulo** e todo o condutor é uma **equipotencial**
- O campo eléctrico é **perpendicular à superfície** e tem valor σ/ϵ_0
- As cargas distribuem-se **à superfície** de modo a anular o efeito de qualquer campo no interior (**efeito de blindagem**)
- Em particular, o interior de um volume feito de material condutor está isolado de qualquer campo eléctrico externo.