

cap. 31 - Corrente e resistência

Instrutor: Prof. Carlos Eduardo Souza - Cadu

Sala: A2-15 (IF, andar 1P)

Email: carlooseduardosouza@id.uff.br

Panorama deste capítulo

Dispositivos eletrônicos são conectados por fios a uma bateria ou a uma rede elétrica...

O que ocorre dentro do fio para que um aparelho elétrico funcione?

O que é a eletricidade?

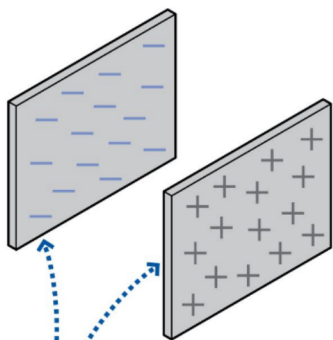
Como sabemos o que de fato ocorre? Simplesmente olhar para um fio ligado entre uma bateria e um aparelho não nos diz se alguma coisa acontece... O fio tem a mesma aparência conduzindo eletricidade ou não.

Objetivos

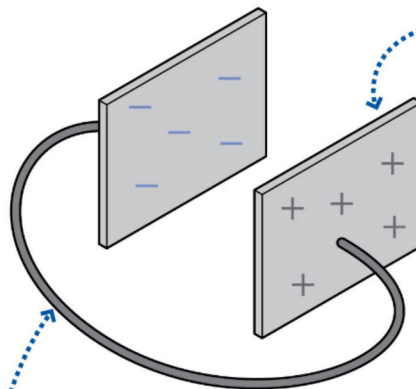
- **Compreender como a carga se move através do condutor.**
- **Usar o modelo microscópico de condução.**
- **Usar a lei de conservação da corrente.**

Corrente de elétrons

Um capacitor é descarregado quando suas placas são conectadas por um fio



Placas isoladas permanecem carregadas indefinidamente.

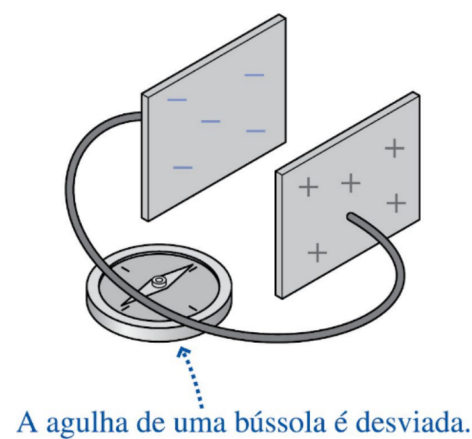
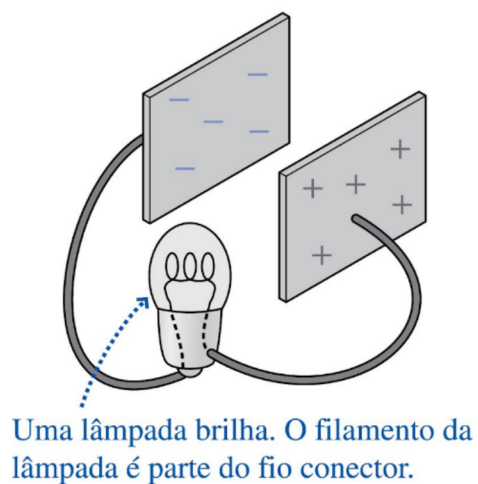
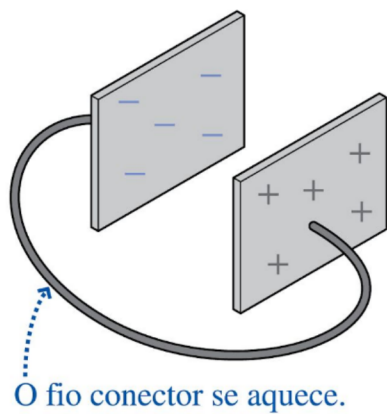


Todavia o capacitor é rapidamente descarregado se conectarmos as placas por um fio condutor.

A carga resultante em cada placa está diminuindo.

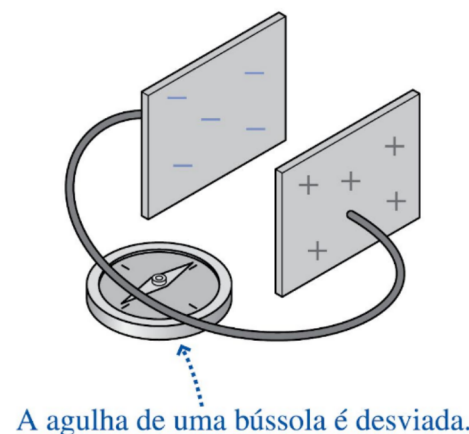
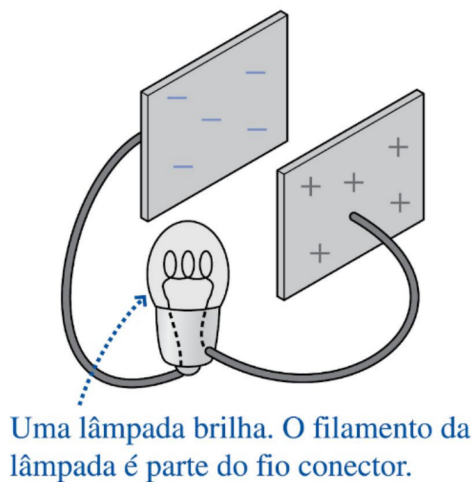
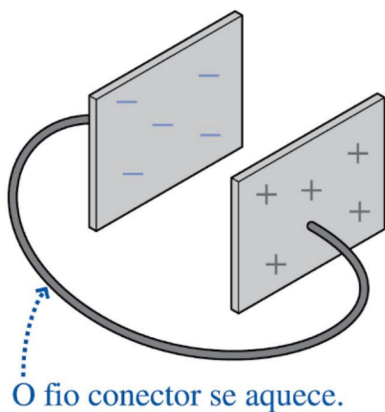
Corrente de elétrons

A corrente pode ser "observada" por meio de



Corrente de elétrons

A corrente pode ser "observada" por meio de

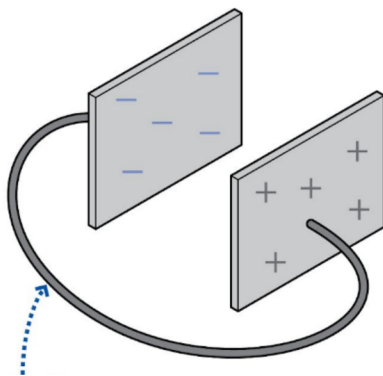


Ainda se pode:

- medir a velocidade?
- medir a corrente?
- medir a tensão?
- medir a resistência?

Corrente de elétrons

Quem são os **portadores de corrente**, ou seja, as cargas que se movem?



O fio condutor fornece um meio para o movimento dos portadores de carga.

Nos metais, os portadores de corrente são os elétrons!!*

Evidências:



J.J. Thomson (1890)

Ejeção de elétrons por metais aquecidos

Tolman-Steward
próximo slide...

● O experimento de Tolman-Steward

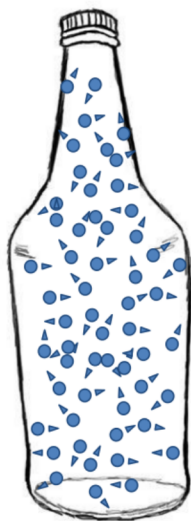
Nos metais, os portadores de corrente são os elétrons!!*



“Mar” de portadores de cargas negativas

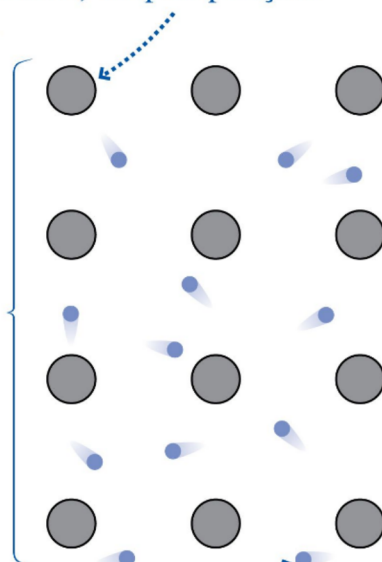
Em um corpo condutor em movimento acelerado, a inércia faz com que os elétrons do corpo fiquem acumulados na parte traseira do condutor. No caso de rotação, a carga negativa se acumula na borda externa do objeto metálico.

Modelo: mar de elétrons

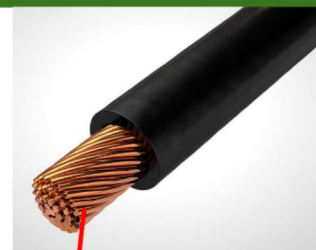


Os íons (átomos metálicos menos um dos elétrons de valência) ocupam posições fixas da rede.

O metal como um todo é eletricamente neutro.



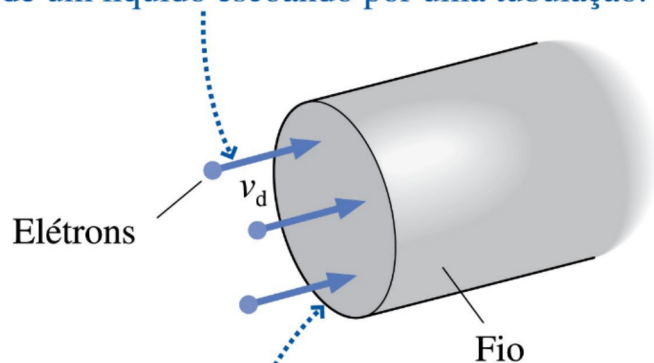
Os elétrons de condução (um por átomo) são livres para se moverem na vizinhança. Eles estão ligados ao sólido como um todo, e não, a um átomo em particular.



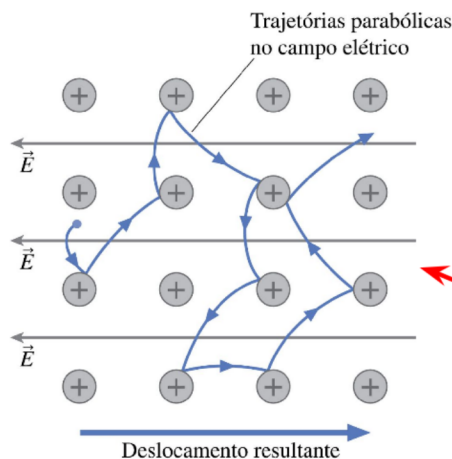
Modelo: mar de elétrons

Durante a condução elétrica o mar de elétrons é empurrado por um campo elétrico...

O mar de elétrons flui através de um fio com uma velocidade de deriva v_d parecida com a de um líquido escoando por uma tubulação.

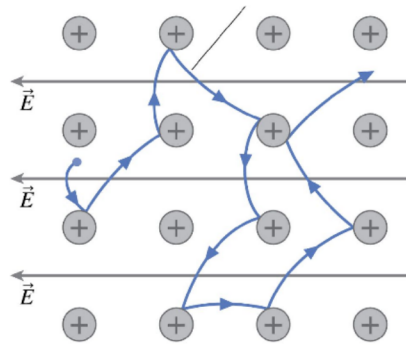
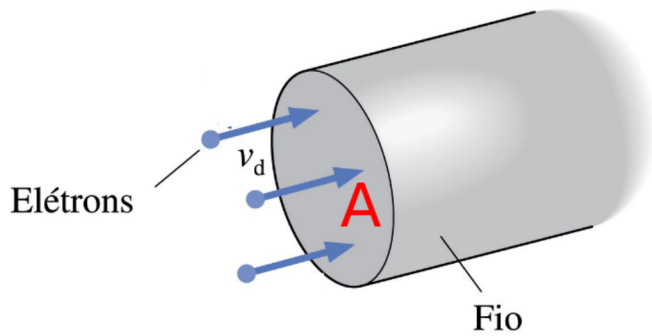
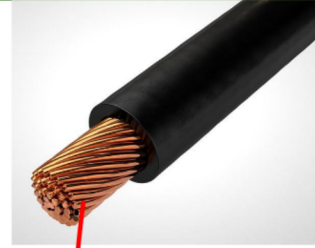


A corrente de elétrons i_e é o número de elétrons que atravessa esta secção transversal do fio a cada segundo.



Modelo: mar de elétrons

Durante a condução elétrica o mar de elétrons é empurrado por um campo elétrico...



Corrente elétrica

$$i \equiv \frac{N^{\circ} \text{ de elétrons} - A}{\text{segundo}}$$

$$= \frac{N_e}{\Delta t}$$

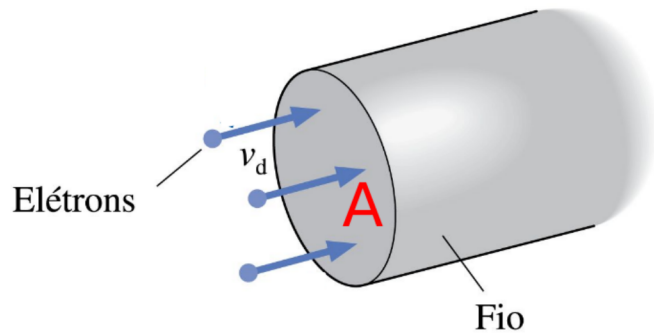
Modelo: mar de elétrons

Durante a condução elétrica o mar de elétrons é empurrado por um campo elétrico...

Corrente elétrica:

$$i \equiv \frac{N^{\circ} \text{ de elétrons} - A}{\text{segundo}}$$

$$= \frac{N_e}{\Delta t}$$

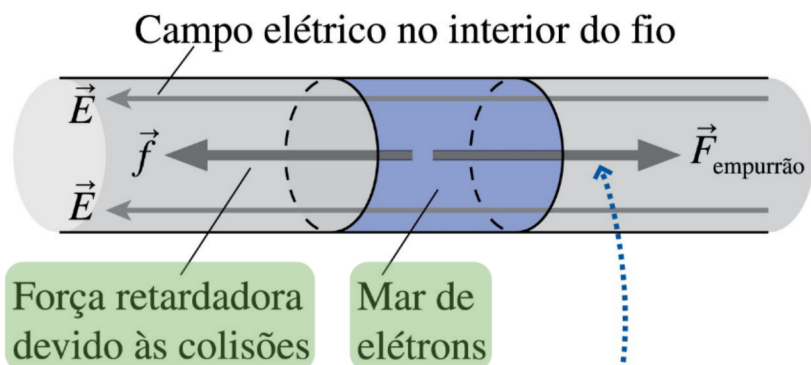




$$\dots i = n_e v^d A$$

Criando um campo elétrico

Microscopicamente, a corrente é descrita pelo movimento do mar de elétrons. O movimento é mantido por meio de um campo elétrico, que tira o condutor do equilíbrio eletrostático.



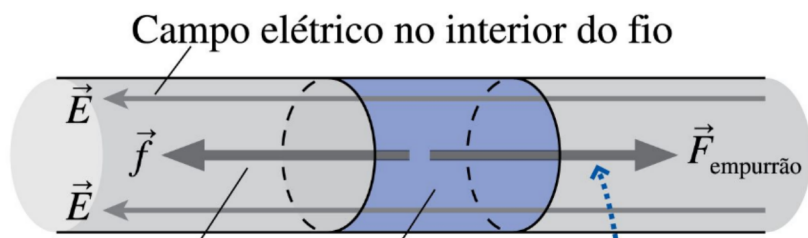
Devido às colisões com os átomos, uma força constante é necessária para manter o mar de elétrons movendo-se a uma velocidade constante.

Uma vez que elétrons são negativos,

$\vec{F}_{\text{empurrão}}$ é oposta a $\vec{E}$.

Criando um campo elétrico

Microscopicamente, a corrente é descrita pelo movimento do mar de elétrons. O movimento é mantido por meio de um campo elétrico, que tira o condutor do equilíbrio eletrostático.



Qdo $\vec{E} = 0 \Rightarrow$ mar de elétrons = gás ideal

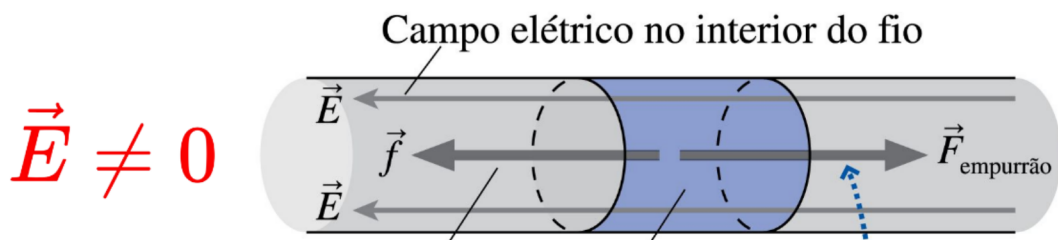
$$\epsilon = \frac{3}{2} K_B t \rightarrow v_e \approx 10^5 \text{ m/s}$$



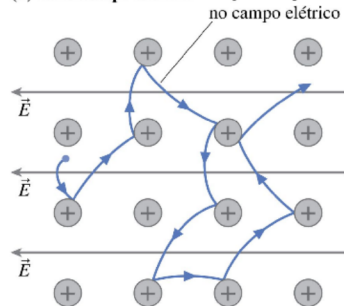
$$\langle v_e \rangle = 0 \Rightarrow \langle \Delta x \rangle = 0$$

Criando um campo elétrico

Microscopicamente, a corrente é descrita pelo movimento do mar de elétrons. O movimento é mantido por meio de um campo elétrico, que tira o condutor do equilíbrio eletrostático.



(b) Com campo elétrico



$$\dots i = \frac{n_e e \tau A}{m_e} E$$

Densidade de corrente elétrica

Desenvolvemos a ideia de corrente através de um metal. Todavia as propriedades de correntes já eram conhecidas antes da descoberta do modelo atômico, de forma que precisamos relacionar nosso modelo com a definição formal de corrente.

Formalmente,

$$I \equiv \frac{dQ}{dt} \quad \text{taxa c/ que a carga flui}$$

$$1 \text{ Ampère} = 1A = 1C/s$$

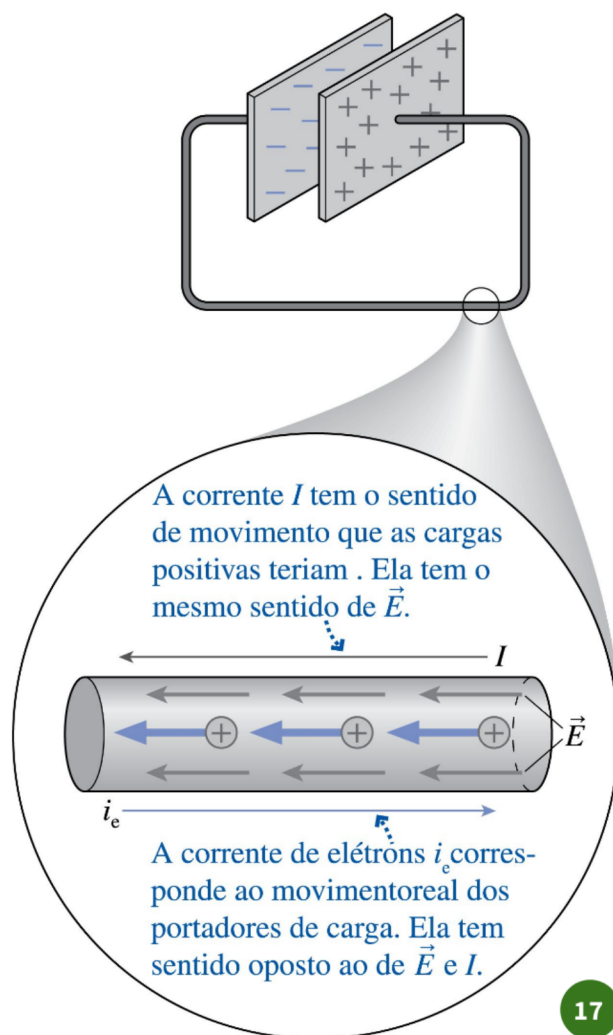
Lembrando que

$$N_e = i\Delta t, \dots\dots\dots i \text{ é a taxa na qual a carga flui.}$$

$$Q = eN_e = \underbrace{ei\Delta t}_I$$

Densidade de corrente elétrica

O sentido da corrente é definido como aquele no qual as cargas positivas *parecem* se mover.



Densidade de corrente elétrica

Definimos a corrente de elétrons em um fio com seção transversal A como $i_e = n_e A v_d$. Portanto, a corrente I é

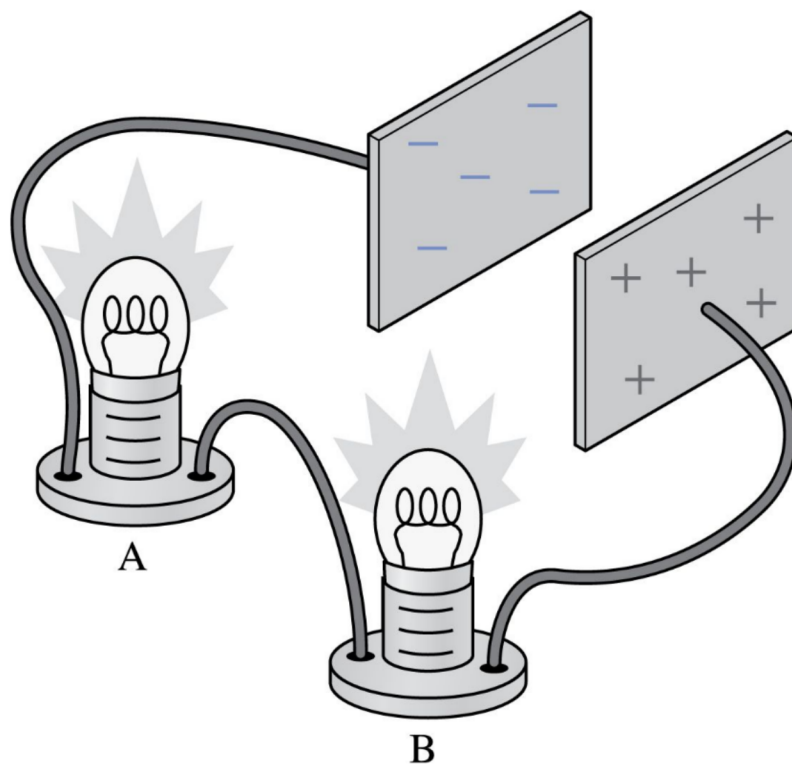
$$I = e i_e = e n_e A v_d.$$



$$J = \text{densidade de corrente} \equiv \frac{I}{A} = e i_e = e n_e v_d.$$

Conservação da corrente elétrica

Durante o "descarrego" dos capacitores, qual das lâmpadas brilha mais?

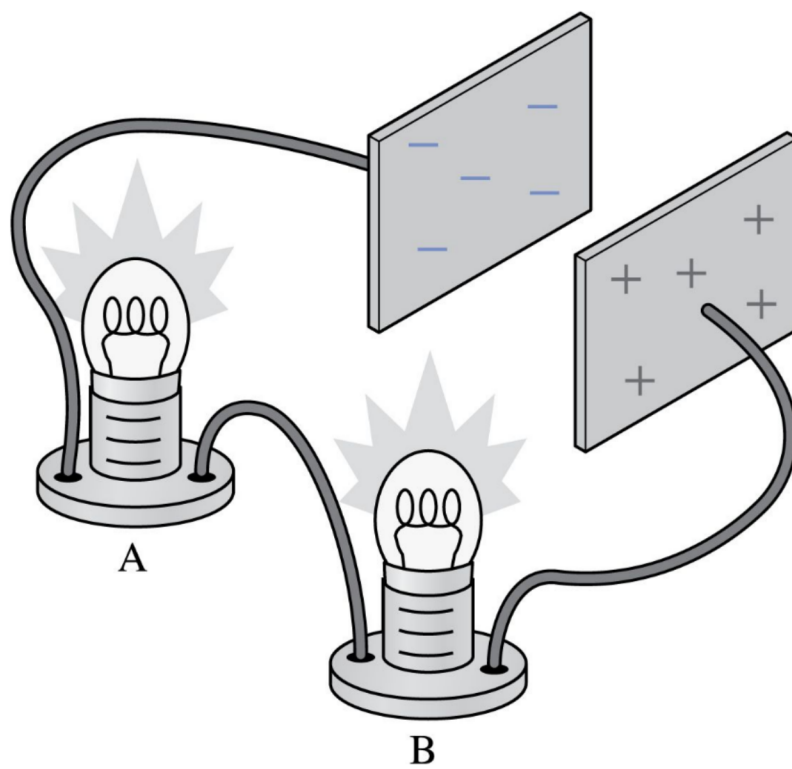


Conservação da corrente elétrica

Durante o "descarrego" dos capacitores, qual das lâmpadas brilha mais?

Há somente duas maneiras de diminuir o brilho:

- Diminuir Q
- Diminuir V_d



Conservação da corrente elétrica

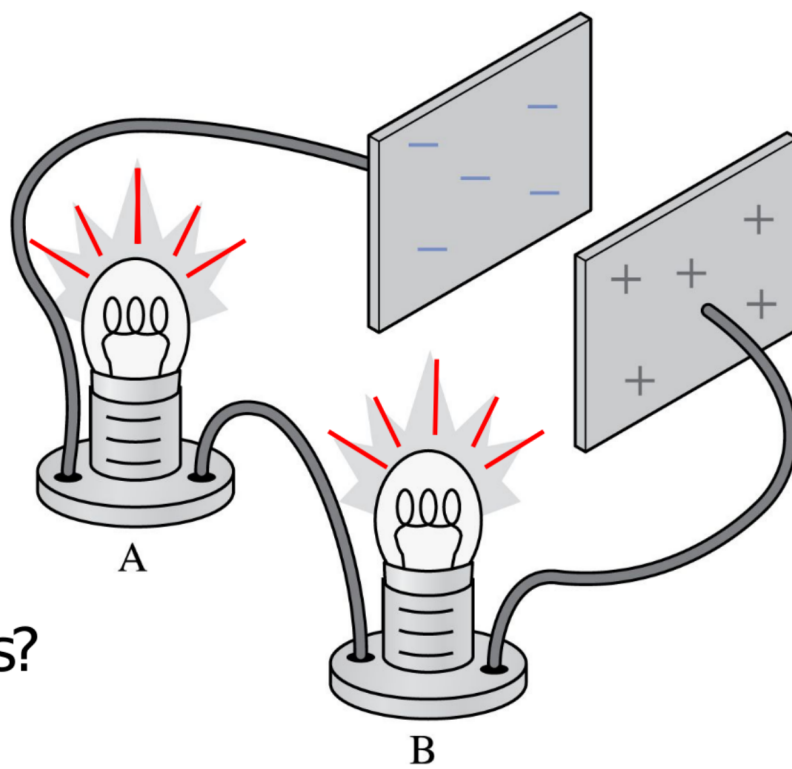
Durante o "descarrego" dos capacitores, qual das lâmpadas brilha mais?

Há somente duas maneiras de diminuir o brilho:

- Diminuir Q
- Diminuir V_d

Resposta: Ambas brilham com a mesma intensidade.

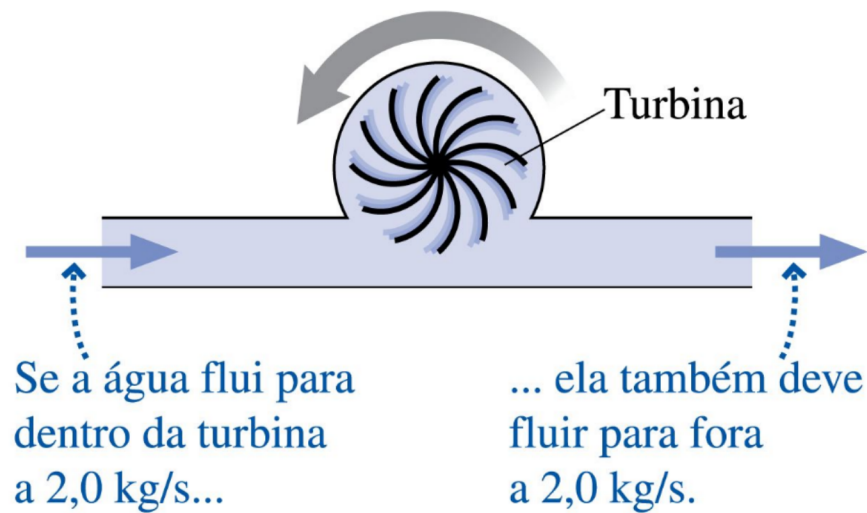
A Lâmpada consome cargas?



Conservação da corrente elétrica

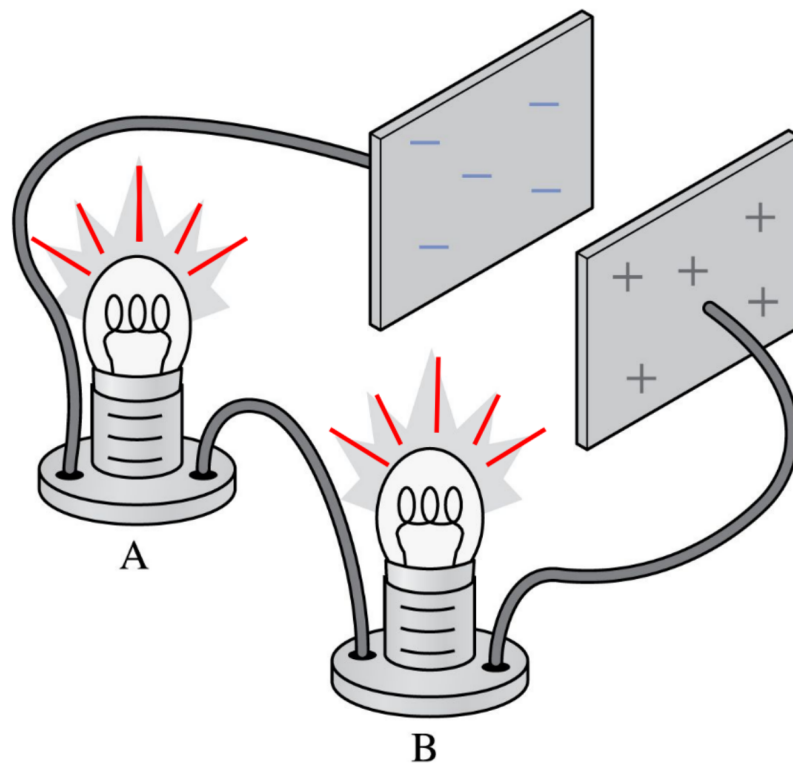
A Lâmpada consome cargas?

Vejamos uma analogia com uma turbina e um fluido...



Conservação da corrente elétrica

Princípio da conservação de carga: a corrente é igual em todos os pontos do fio que conduz a corrente.

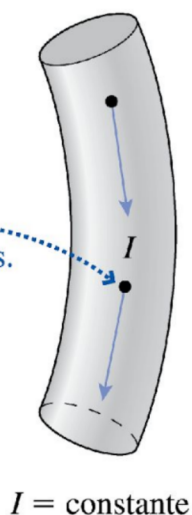


Conservação da corrente elétrica

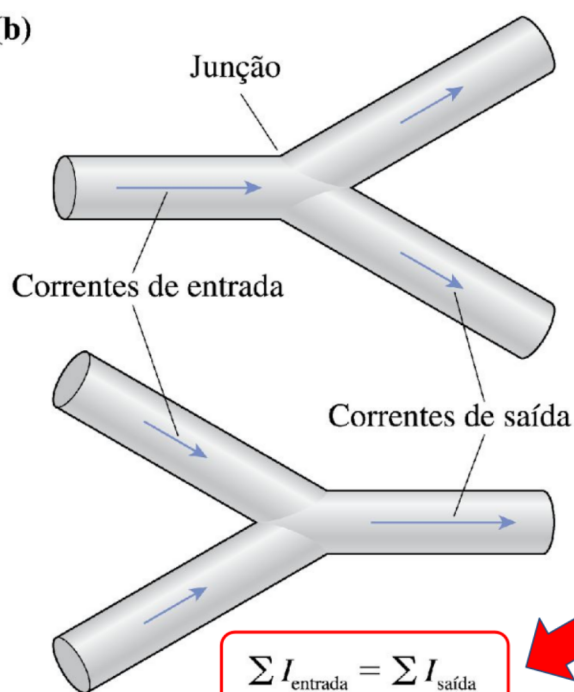
Princípio da conservação de carga: a corrente é igual em todos os pontos do fio que conduz a corrente.

(a)

A corrente em um fio é a mesma em todos os pontos.



(b)



Aula 14

Condutividade e resistividade

Voltando ao caso da densidade de corrente,

$$J = en_e v_d$$

e lembrando que $v_d = e\tau E/m_e$:

$$J = n_e e v_d = n_e e \left(\frac{e\tau E}{m_e} \right) = \left(\frac{n_e e^2 \tau}{m_e} \right) E$$

$\sigma = \text{condutividade}$

$$\sigma = \frac{n_e e^2 \tau}{m_e} \quad J = \sigma E$$

Conductividade e resistividade

$$J = \sigma E$$

- Toda corrente é causada por um campo elétrico que exerce forças sobre as cargas.
- A densidade de corrente, e aqui a corrente $I = J A$, depende linearmente da intensidade do campo elétrico
- A densidade da corrente depende da condutividade do material. materiais condutores diferentes possuem diferentes condutividades porque possuem **valores distintos de densidade eletrônica** e, especialmente, de **tempo médio entre colisões sucessivas** de elétrons com átomos da rede.

resistividade

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{m_e}{n_e e^2 \tau}$$

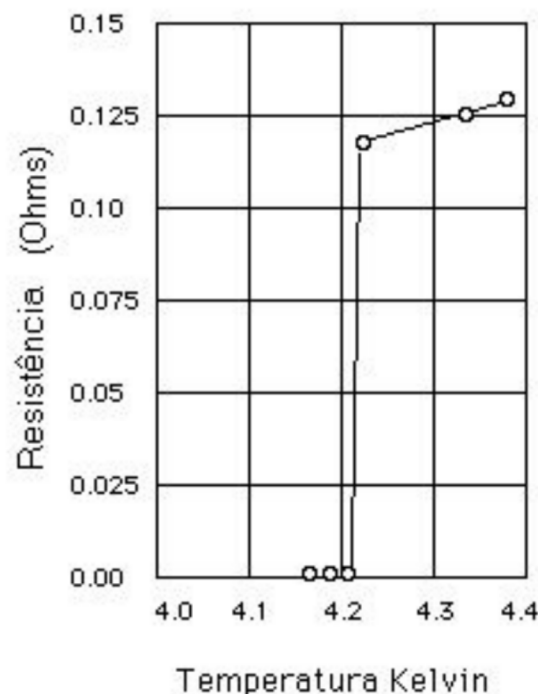
Supercondutividade

A **supercondutividade** é uma propriedade física de característica intrínseca de certos materiais que, quando resfriados a temperaturas extremamente baixas, tendem a conduzir corrente elétrica sem resistência nem perdas

Historicamente, **Kammerlingh Onnes** em 1911, pioneiro nas técnicas de refrigeração, consegue, pela primeira vez, liquefazer o He e estudar a condução da eletricidade em materiais a baixíssimas temperaturas...



Em breve...

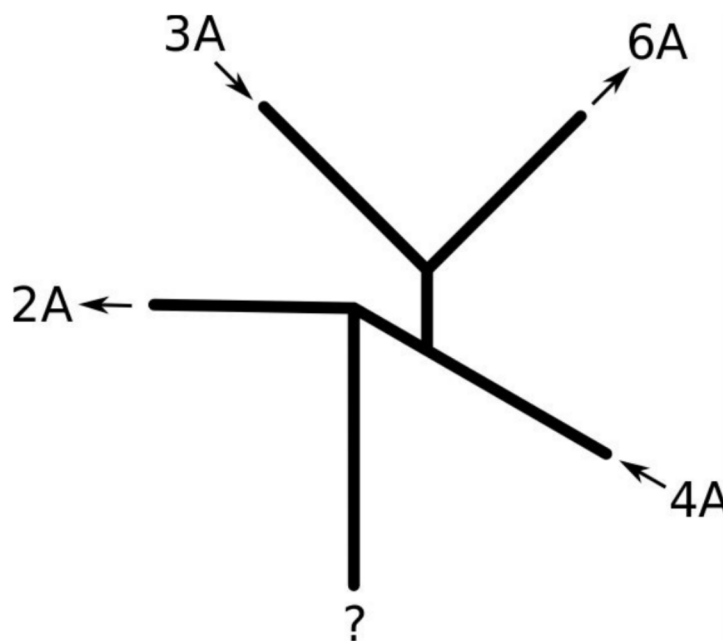


Conservação da corrente elétrica

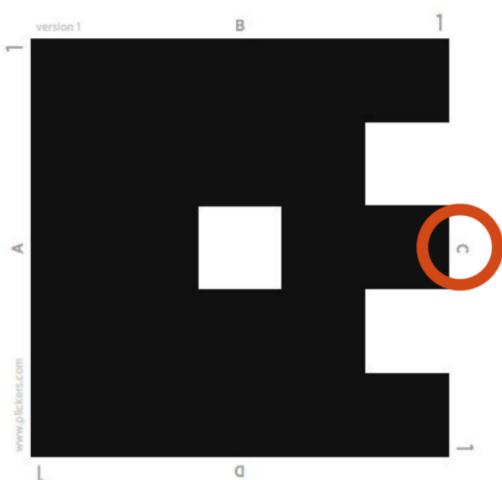
Teste Conceitual -1

Quais são a intensidade e a orientação da corrente em?

- A) 13A, ↑
- B) 2A, ↓
- C) 1A, ↑
- D) 0A, curto-circuito

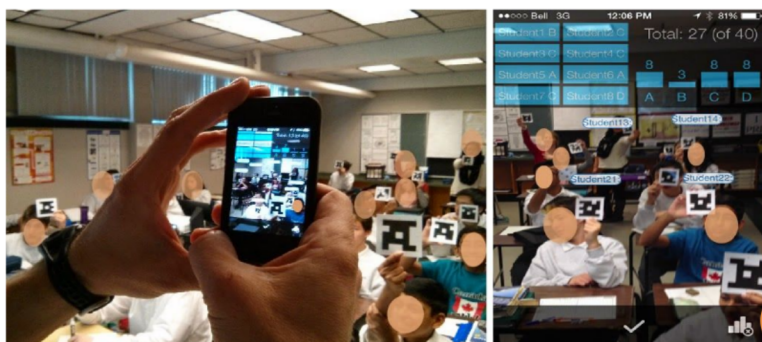


Plickers – resposta em tempo real...



- 64 cartões, todos diferentes
- Responda levantando o cartão com sua resposta virada pra cima
- Letras pequenas de propósito (p/ seu colega não ver sua resposta!)

"Eu escaneio a turma usando um aplicativo no celular"

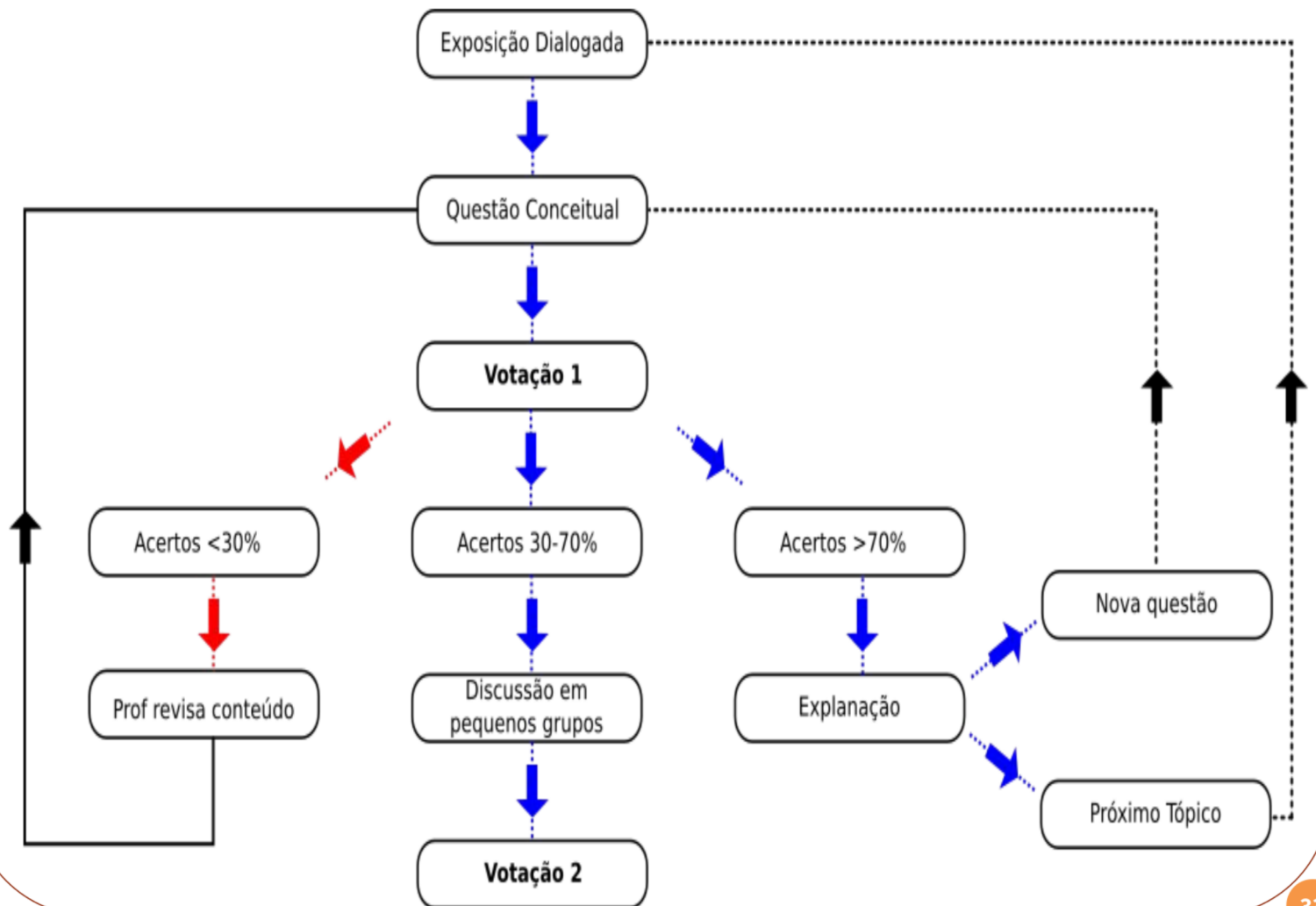


Método do curso: *peer instruction* (instrução pelos colegas)

Funciona assim:

- i) **Eu apresento um problema**, você tem um tempo para pensar, e depois uma votação é feita usando cartões-resposta especiais
- ii) **Você discute com um colega**, cada um tenta convencer o outro de que a sua resposta é a correta
- iii) **Fazemos uma segunda votação**. Se agora a maioria acertar, passamos para o próximo tópico. Se a maioria erra discutimos a resposta correta, e se possível, eu apresento outra questão conceitual sobre o mesmo tema.

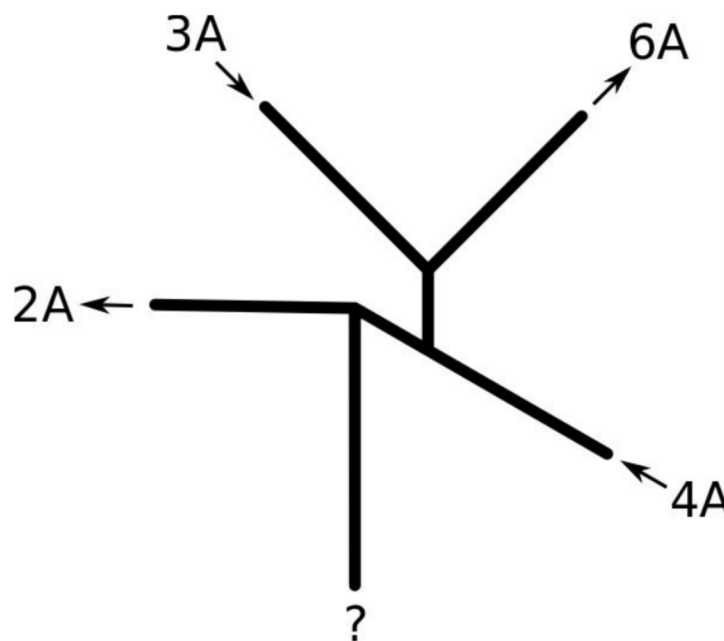
Como faremos:



Conservação da corrente elétrica

Teste Conceitual

Quais são a intensidade e a orientação da corrente em?

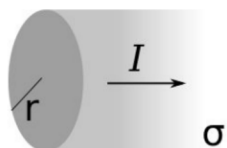


- A) 13A, ↑
- B) 2A, ↓
- C) 1A, ↑
- D) 0A, curto-circuito

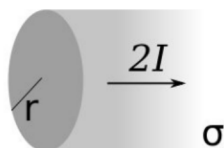
Conservação da corrente elétrica

Teste Conceitual-2

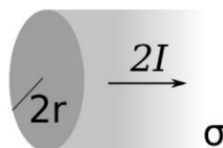
Como se relacionam as densidades de corrente de J_a a J_d ?



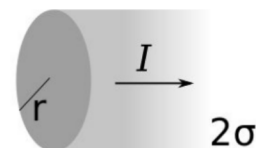
(A)



(B)



(C)



(D)

A) $J_A > J_B > J_C > J_D$

B) $J_D > J_A > J_B > J_C$

C) $J_A = J_D > J_C > J_B$

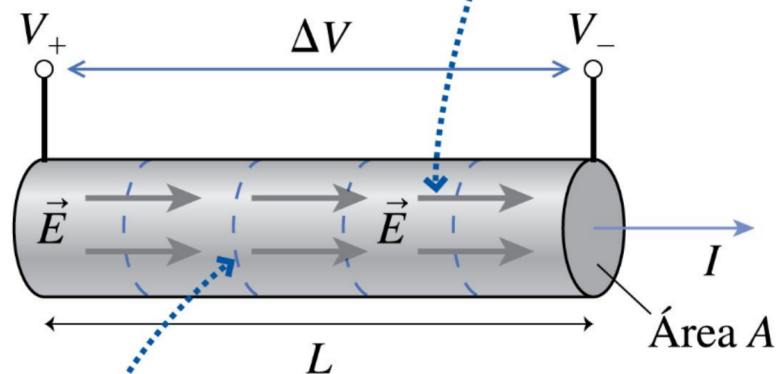
D) $J_B > J_A = J_D > J_C$

Resistência e Lei de Ohm

A corrente está relacionada a uma ddp...

$$E = -dV/ds$$

A diferença de potencial cria um campo elétrico dentro do condutor e faz com que as cargas fluam através do mesmo.



As superfícies equipotenciais são perpendiculares ao campo elétrico.

Resistência e Lei de Ohm

A corrente está relacionada a uma ddp...

No cap 30 vimos que:

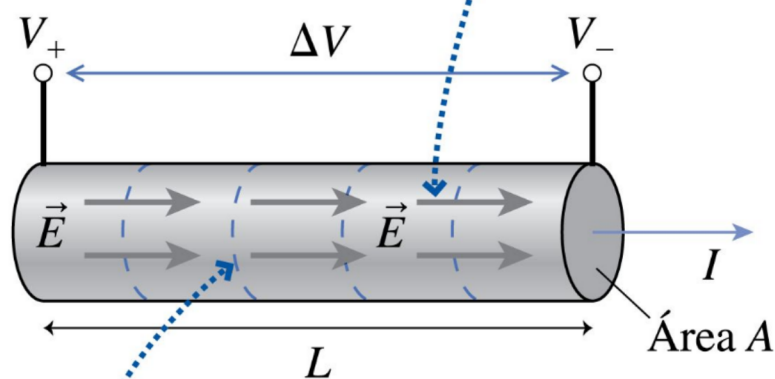
$$E = -dV/ds$$

Considerando apenas o módulo

$$E = \frac{\Delta V}{\Delta s} = \frac{\Delta V}{L}$$

Portanto, *a intensidade do campo elétrico dentro do condutor é constante.*

A diferença de potencial cria um campo elétrico dentro do condutor e faz com que as cargas fluam através do mesmo.



As superfícies equipotenciais são perpendiculares ao campo elétrico.

Resistência e Lei de Ohm

A corrente está relacionada a uma ddp...

No cap 30 vimos que:

$$\vec{E} = -dV/ds$$

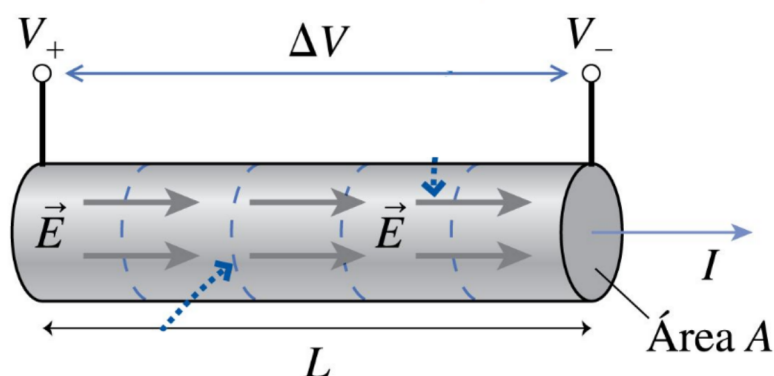
Considerando apenas o módulo

$$E = \frac{\Delta V}{\Delta s} = \frac{\Delta V}{L} \quad (\text{A})$$

Portanto, *a intensidade do campo elétrico dentro do condutor é constante.*

Lembrando que $J = \sigma E$

$$I = JA = A\sigma E = \frac{A}{\rho} E \quad (\text{B})$$





Resistência e Lei de Ohm

Combinando as equações

(A) $E = \frac{\Delta V}{\Delta s} = \frac{\Delta V}{L}$

(B) $I = JA = A\sigma E = \frac{A}{\rho} E$

$$I = \frac{A}{\rho L} \Delta V$$

A corrente elétrica é proporcional à diferença de potencial entre as extremidades de um condutor.

Resistência e Lei de Ohm

Combinando as equações

$$(A) \quad E = \frac{\Delta V}{\Delta s} = \frac{\Delta V}{L} \quad \rightarrow \quad I = \frac{A}{\rho L} \Delta V$$

$$(B) \quad I = JA = A\sigma E = \frac{A}{\rho} E$$

A corrente elétrica é proporcional à diferença de potencial entre as extremidades de um condutor.

$$R = \frac{\rho L}{A} \quad \rightarrow \quad I = \frac{\Delta V}{R} \quad (\text{Lei de Ohm})$$

$$1 \text{ ohm} = 1\Omega \equiv 1V/A$$

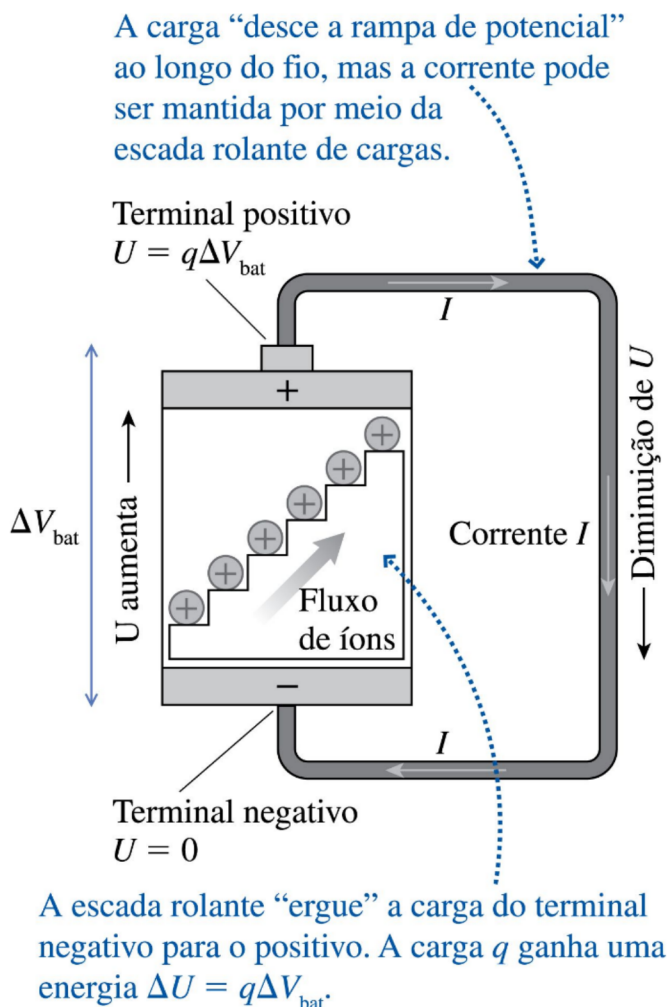
R depende da geometria do condutor

Baterias e corrente

Um modelo para a bateria...

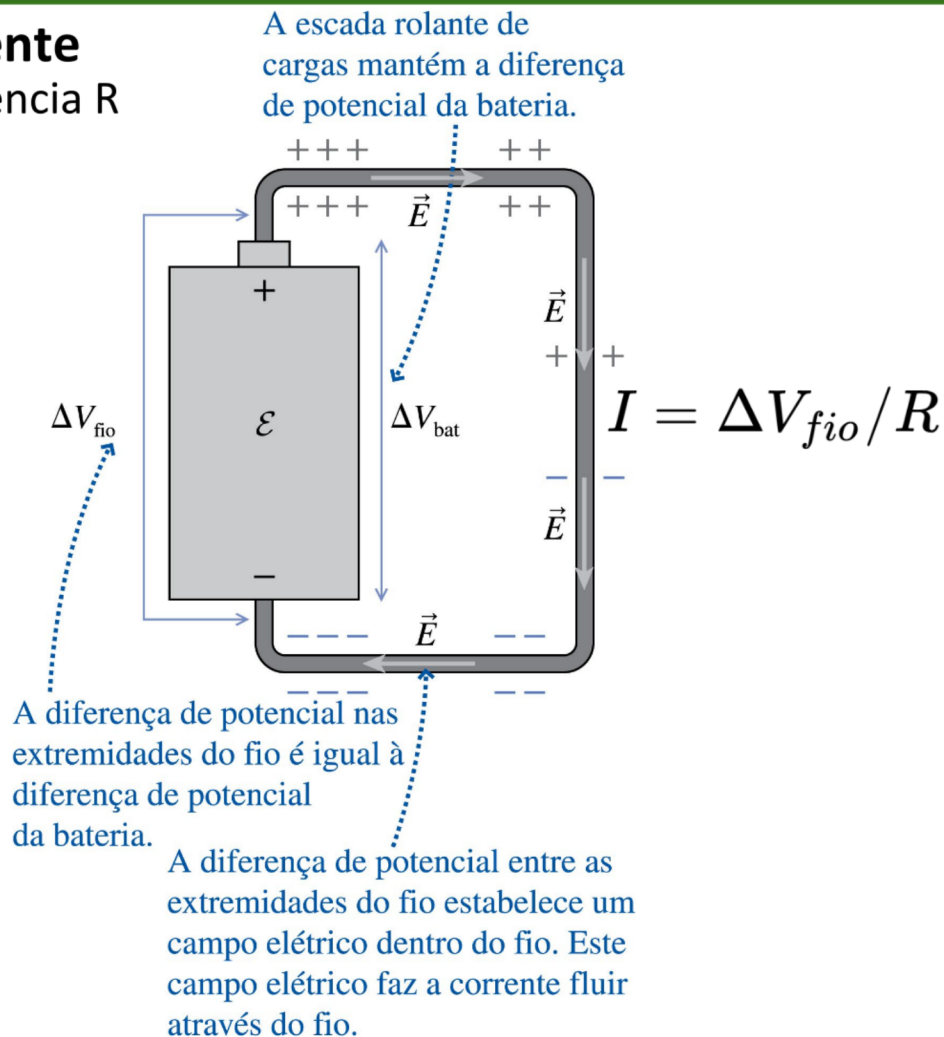
"A escada rolante de cargas mantém a corrente I , provendo um suprimento renovado de cargas nos terminais da bateria."

Em resumo, a **bateria é uma fonte de ddp.**



Baterias e corrente

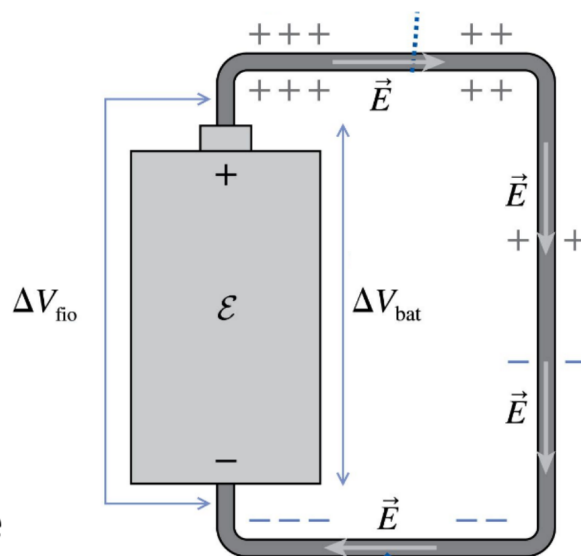
Um fio com resistência R



Baterias e corrente

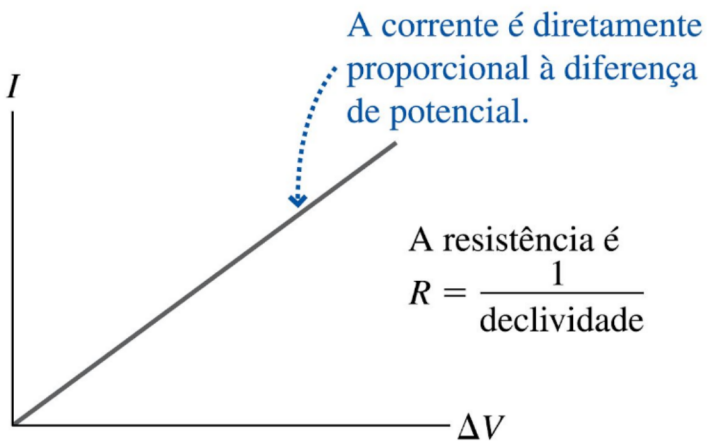
O funcionamento do circuito como causa e efeito.

1. Uma bateria é a fonte de ddp ΔV_{bat} .
Uma bateria ideal fornece $\Delta V_{bat} = \mathcal{E}$.
2. A bateria cria uma ddp $\Delta V_{fio} = \Delta V_{bat}$ entre as extremidades do fio.
3. A ddp ΔV_{fio} produz um campo elétrico $E = \Delta V_{fio}/L$ no fio.
4. O campo elétrico estabelece uma corrente $I = JA = \sigma AE$ no fio.
5. A intensidade da corrente é determinada conjuntamente pela bateria e pela resistência do fio como sendo $I = \Delta V_{fio}/R$.

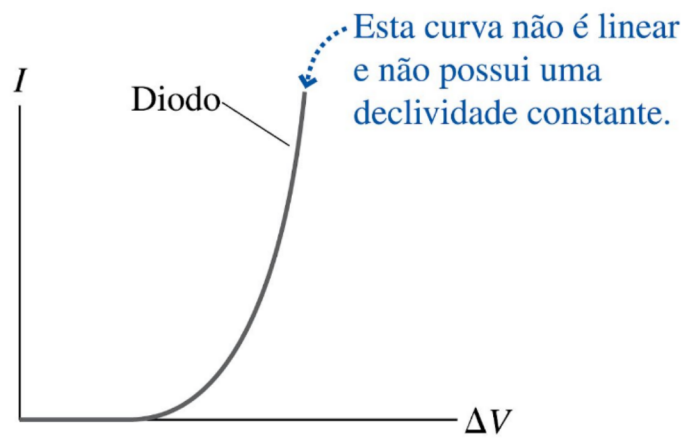


Materiais Ôhmicos vs Não-Ôhmicos

(a) Material ôhmico.

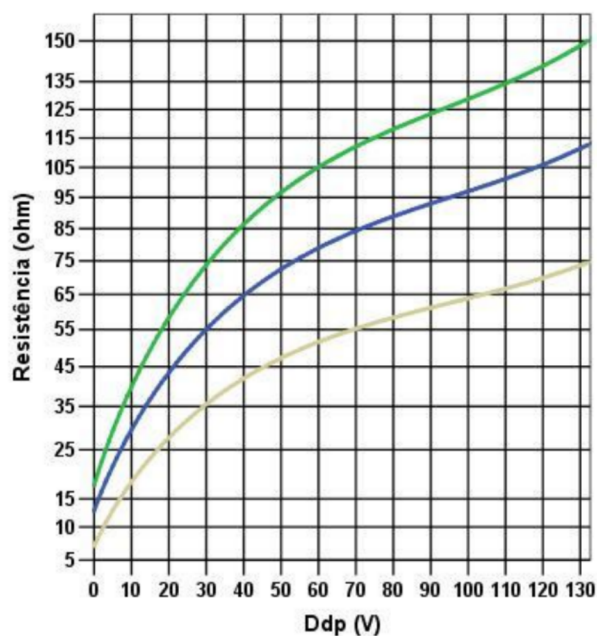


(b) Materiais não-ôhmicos



$$I = \frac{\Delta V}{R} \quad (\text{Lei de Ohm})$$

● Lâmpadas incandescentes



~~$$I = \frac{\Delta V}{R} \quad (\text{Lei de Ohm})$$~~

Fonte:

<https://www.if.ufrgs.br/novocref/?contact-pergunta=potencia-eletrica-em-resistores-nao-varia-com-o-quadrado-da-tensao-aplicada-o-caso-do-filamento-de-tungstenio-nas-lampadas-incandescentes>



● A queda de tensão ao longo do circuito



