

# Capítulo 26 - Circuitos de Corrente Continua

## RODRIGO ALVES DIAS

Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF

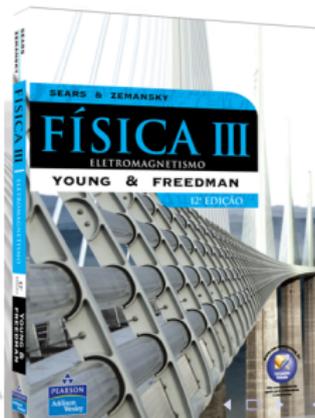
Livro texto: Física 3 - Eletromagnetismo

Autores: Sears e Zemansky

Edição: 12<sup>a</sup>

Editora: Pearson - Addison and Wesley

10 de maio de 2011



## Objetivos de Aprendizagem

Ao estudar este capítulo você aprenderá:

- ▶ Como analisar circuitos com múltiplos resistores em série ou paralelo.

## Objetivos de Aprendizagem

Ao estudar este capítulo você aprenderá:

- ▶ Como analisar circuitos com múltiplos resistores em série ou paralelo.
- ▶ Regras que podem ser aplicadas a qualquer circuito com mais de uma malha.

## Objetivos de Aprendizagem

Ao estudar este capítulo você aprenderá:

- ▶ Como analisar circuitos com múltiplos resistores em série ou paralelo.
- ▶ Regras que podem ser aplicadas a qualquer circuito com mais de uma malha.
- ▶ Como usar um amperímetro, voltímetro, ohmímetro e potenciômetro em um circuito.

## Objetivos de Aprendizagem

Ao estudar este capítulo você aprenderá:

- ▶ Como analisar circuitos com múltiplos resistores em série ou paralelo.
- ▶ Regras que podem ser aplicadas a qualquer circuito com mais de uma malha.
- ▶ Como usar um amperímetro, voltímetro, ohmímetro e potenciômetro em um circuito.
- ▶ Como analisar circuitos que possuem tanto um resistor quanto um capacitor.

## Objetivos de Aprendizagem

Ao estudar este capítulo você aprenderá:

- ▶ Como analisar circuitos com múltiplos resistores em série ou paralelo.
- ▶ Regras que podem ser aplicadas a qualquer circuito com mais de uma malha.
- ▶ Como usar um amperímetro, voltímetro, ohmímetro ou potenciômetro em um circuito.
- ▶ Como analisar circuitos que possuem tanto um resistor quanto um capacitor.
- ▶ Como a energia elétrica é distribuída em uma residência.



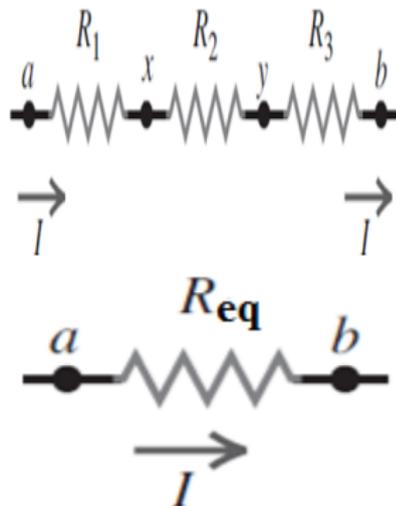
## Resistores em série

- ▶ Uma ligação em série é definida quando os elementos de um circuito são ligados em seqüência e existe somente um único caminho de corrente entre eles.
- ▶ Para achar a resistência equivalente queremos escrever,  $V_{ab} = IR_{eq}$  assim,

$$V_{ax} = IR_1$$

$$V_{xy} = IR_2$$

$$V_{yb} = IR_3$$



## Resistores em série

- ▶ Uma ligação em série é definida quando os elementos de um circuito são ligados em seqüência e existe somente um único caminho de corrente entre eles.
- ▶ Para achar a resistência equivalente queremos escrever,  $V_{ab} = IR_{eq}$  assim,

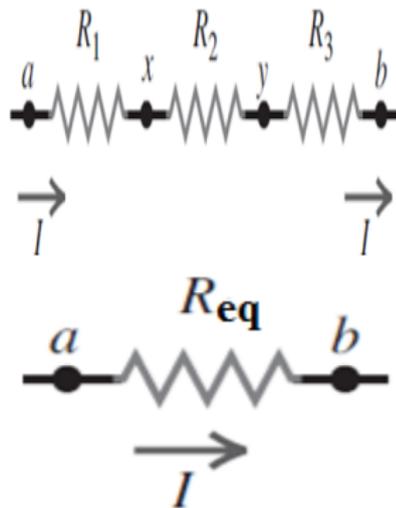
$$V_{ax} = IR_1$$

$$V_{xy} = IR_2$$

$$V_{yb} = IR_3$$

$$V_{ab} = V_{ax} + V_{xy} + V_{yb}$$

$$V_{ab} = I(R_1 + R_2 + R_3) = IR_{eq}$$



## └ Resistores em série e em paralelo.

## Resistores em série

- ▶ Uma ligação em série é definida quando os elementos de um circuito são ligados em seqüência e existe somente um único caminho de corrente entre eles.
- ▶ Para achar a resistência equivalente queremos escrever,  $V_{ab} = IR_{eq}$  assim,

$$V_{ax} = IR_1$$

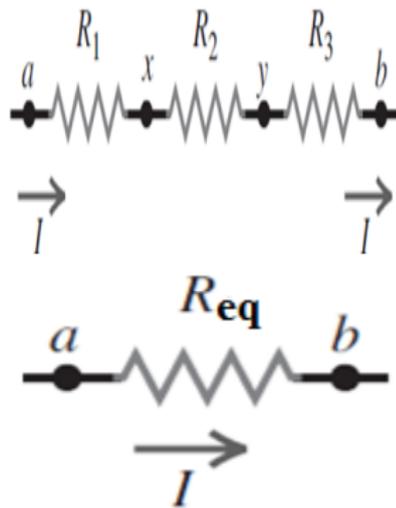
$$V_{xy} = IR_2$$

$$V_{yb} = IR_3$$

$$V_{ab} = V_{ax} + V_{xy} + V_{yb}$$

$$V_{ab} = I(R_1 + R_2 + R_3) = IR_{eq}$$

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots = \sum_j R_j$$



└ Resistores em série e em paralelo.

Resistores em série

- ▶ Uma ligação em série é definida quando os elementos de um circuito são ligados em seqüência e existe somente um único caminho de corrente entre eles.
- ▶ Para achar a resistência equivalente queremos escrever,  $V_{ab} = IR_{eq}$  assim,

$$V_{ax} = IR_1$$

$$V_{xy} = IR_2$$

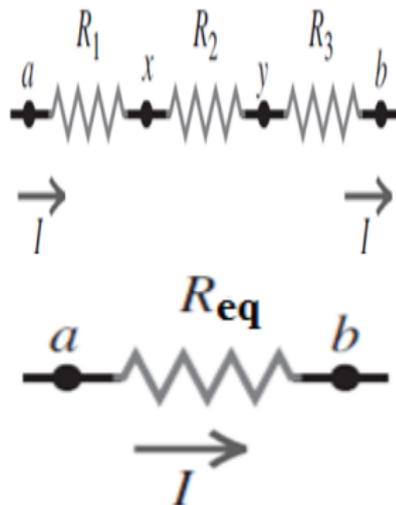
$$V_{yb} = IR_3$$

$$V_{ab} = V_{ax} + V_{xy} + V_{yb}$$

$$V_{ab} = I(R_1 + R_2 + R_3) = IR_{eq}$$

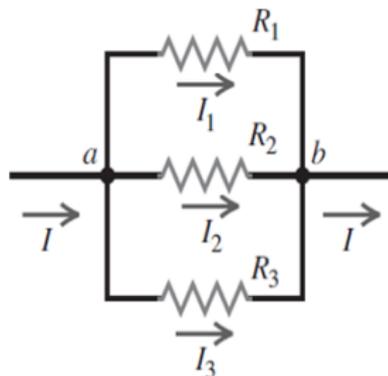
$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots = \sum_j R_j$$

- ▶ *A resistência equivalente de qualquer numero de resistores conectados em série é igual à soma das resistências individuais.*



## Resistores em paralelo

- Uma ligação em paralelo é definida quando os elementos de um circuito são ligados de forma que exista correntes diferentes passando por elementos diferentes.

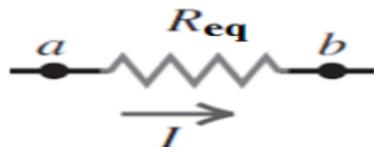
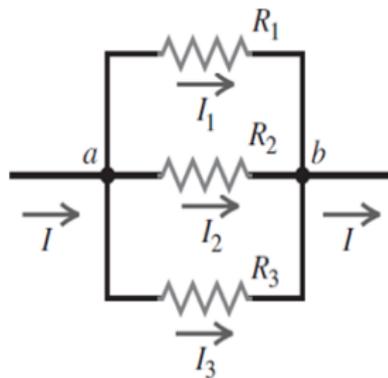


## Resistores em série e em paralelo.

## Resistores em paralelo

- ▶ Uma ligação em paralelo é definida quando os elementos de um circuito são ligados de forma que exista correntes diferentes passando por elementos diferentes.
- ▶ Para achar a resistência equivalente queremos escrever,  $V_{ab} = IR_{eq}$  assim,

$$I_1 = \frac{V_{ab}}{R_1} ; I_2 = \frac{V_{ab}}{R_2} ; I_3 = \frac{V_{ab}}{R_3}$$



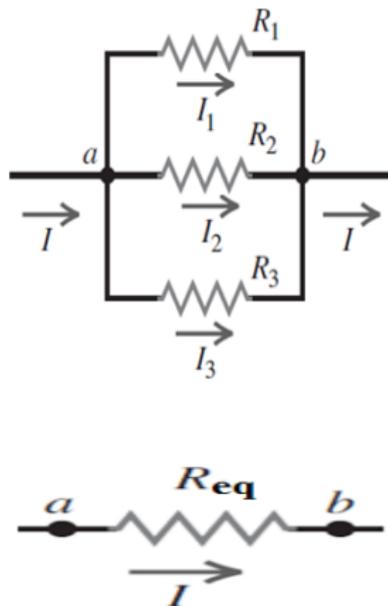
## Resistores em paralelo

- ▶ Uma ligação em paralelo é definida quando os elementos de um circuito são ligados de forma que exista correntes diferentes passando por elementos diferentes.
- ▶ Para achar a resistência equivalente queremos escrever,  $V_{ab} = IR_{eq}$  assim,

$$I_1 = \frac{V_{ab}}{R_1} ; I_2 = \frac{V_{ab}}{R_2} ; I_3 = \frac{V_{ab}}{R_3}$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$I = V_{ab} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$



## └ Resistores em série e em paralelo.

## Resistores em paralelo

- ▶ Uma ligação em paralelo é definida quando os elementos de um circuito são ligados de forma que exista correntes diferentes passando por elementos diferentes.
- ▶ Para achar a resistência equivalente queremos escrever,  $V_{ab} = IR_{eq}$  assim,

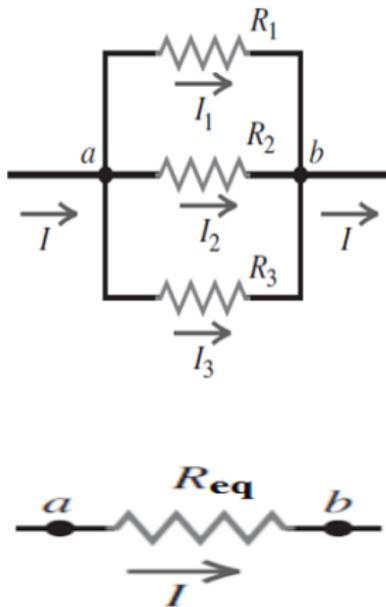
$$I_1 = \frac{V_{ab}}{R_1} ; I_2 = \frac{V_{ab}}{R_2} ; I_3 = \frac{V_{ab}}{R_3}$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$I = V_{ab} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

$$\frac{I}{V_{ab}} = \frac{1}{R_{eq}}$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \dots = \sum_j \frac{1}{R_j}$$



## └ Resistores em série e em paralelo.

## Resistores em paralelo

- ▶ Uma ligação em paralelo é definida quando os elementos de um circuito são ligados de forma que exista correntes diferentes passando por elementos diferentes.
- ▶ Para achar a resistência equivalente queremos escrever,  $V_{ab} = IR_{eq}$  assim,

$$I_1 = \frac{V_{ab}}{R_1} ; I_2 = \frac{V_{ab}}{R_2} ; I_3 = \frac{V_{ab}}{R_3}$$

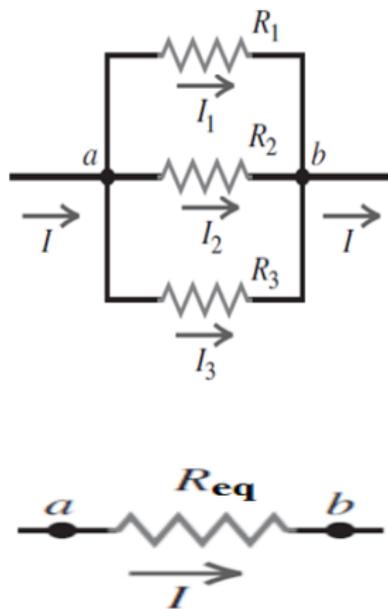
$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$I = V_{ab} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

$$\frac{I}{V_{ab}} = \frac{1}{R_{eq}}$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \dots = \sum_j \frac{1}{R_j}$$

- ▶ *Para qualquer numero de resistores conectados em paralelo, o inverso da resistência equivalente é igual à soma dos inversos das resistências individuais.*



## Leis de Kirchhoff.

As leis de Kirchhoff são duas regras enunciadas da seguinte forma:

- ▶ **Leis dos nós:** a soma algébrica de todas as correntes que entram ou saem de um nó é igual a zero. ( $\sum_j I_j = 0$ )
- ▶ **Leis das malhas:** a soma algébrica de todas as diferenças de potencial através de uma malha (caminho fechado) é necessariamente igual a zero. ( $\sum_j V_j = 0$ )
- ▶ A lei dos nós é consequência da lei da conservação da carga elétrica.

## Leis de Kirchhoff.

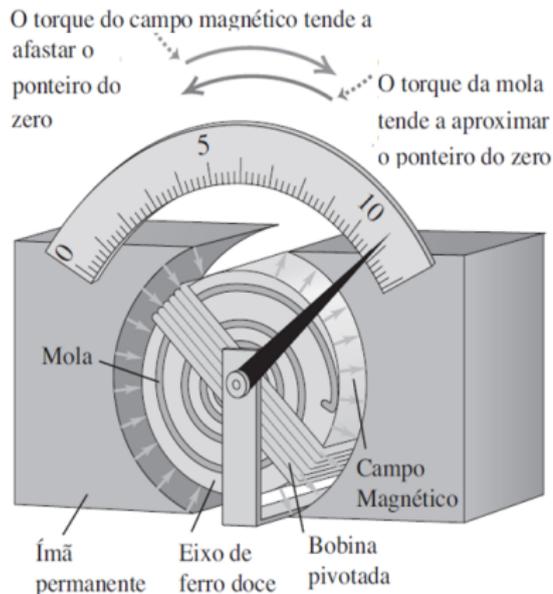
As leis de Kirchhoff são duas regras enunciadas da seguinte forma:

- ▶ **Leis dos nós:** a soma algébrica de todas as correntes que entram ou saem de um nó é igual a zero. ( $\sum_j I_j = 0$ )
- ▶ **Leis das malhas:** a soma algébrica de todas as diferenças de potencial através de uma malha (caminho fechado) é necessariamente igual a zero. ( $\sum_j V_j = 0$ )
- ▶ A lei dos nós é consequência da lei da conservação da carga elétrica.
- ▶ A lei das malhas é consequência da natureza conservativa das forças eletrostáticas.



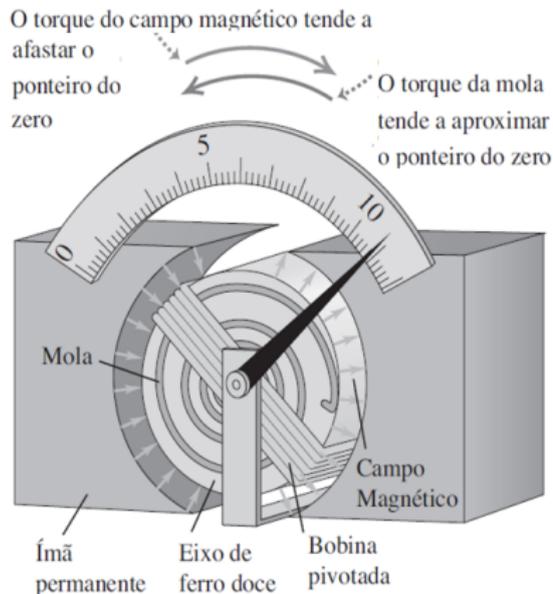
### Galvanômetros.

- ▶ Galvanômetro de d'Arsonval: É um o instrumento que possibilita a medida da corrente, resistência e diferença de potencial.



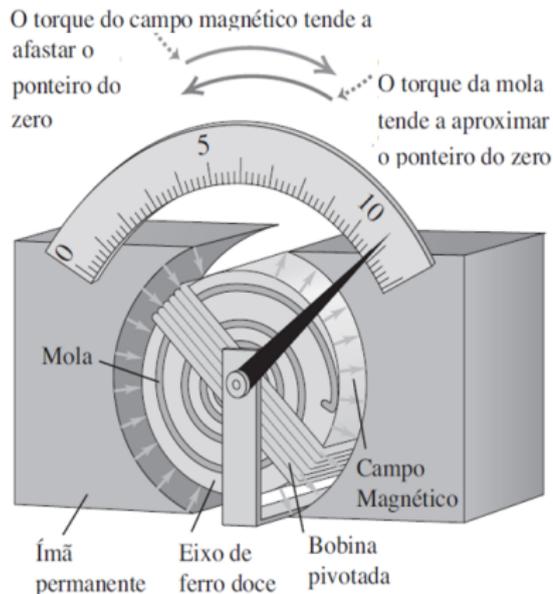
### Galvanômetros.

- ▶ Galvanômetro de d'Arsonval: É um o instrumento que possibilita a medida da corrente, resistência e diferença de potencial.
- ▶ É constituído de uma bobina pivotada, feita de um fio fino, colocada em um campo magnético de um ímã permanente.



### Galvanômetros.

- ▶ Galvanômetro de d'Arsonval: É um o instrumento que possibilita a medida da corrente, resistência e diferença de potencial.
- ▶ É constituído de uma bobina pivotada, feita de um fio fino, colocada em um campo magnético de um ímã permanente.
- ▶ Essa bobina é ligada a uma mola helicoidal.

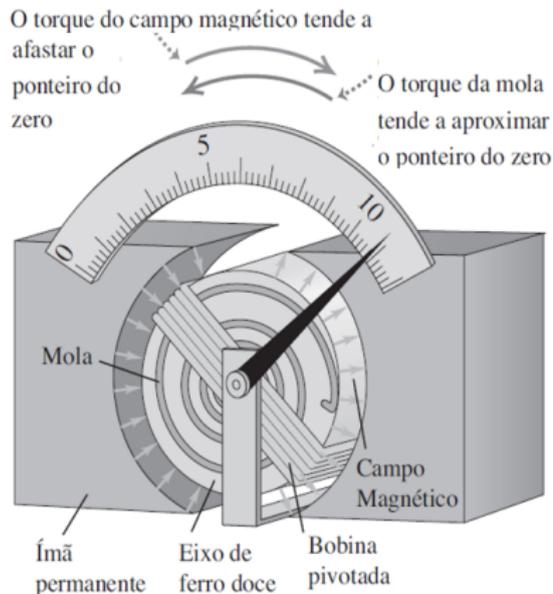






## Galvanômetros.

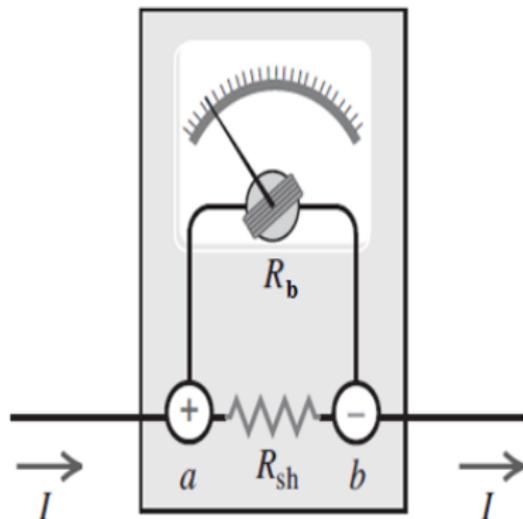
- ▶ Galvanômetro de d'Arsonval: É um o instrumento que possibilita a medida da corrente, resistência e diferença de potencial.
- ▶ É constituído de uma bobina pivotada, feita de um fio fino, colocada em um campo magnético de um ímã permanente.
- ▶ Essa bobina é ligada a uma mola helicoidal.
- ▶ Quando a não existe corrente no fio o ponteiro ligado à bobina está na posição zero.
- ▶ Quando uma corrente passa pelo fio da bobina, o campo magnético exerce um **torque sobre a bobina proporcional à corrente que passa na bobina**.
- ▶ Associada à deflexão máxima teremos a *corrente de fundo de escala*,  $I_{fe}$ .
- ▶ Se a resistência da bobina seguir a lei de Ohm então a diferença de potencial para essa deflexão máxima será  $V = I_{fe}R_b$  onde  $R_b$  é a resistência da bobina.



## Amperímetros.

- Um *amperímetro* sempre mede a corrente que passa através dele.

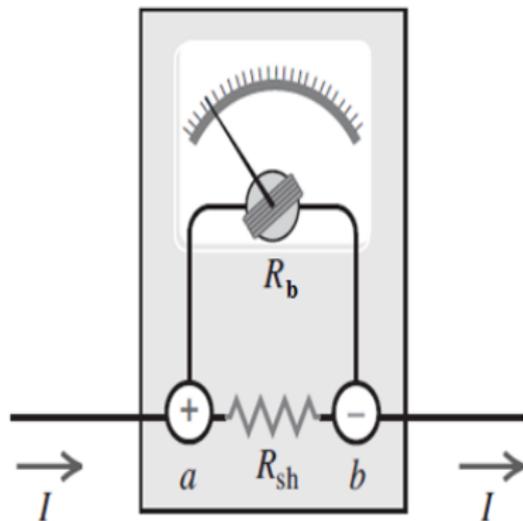
Um amperímetro com bobina móvel



## Amperímetros.

- ▶ Um *amperímetro* sempre mede a corrente que passa através dele.
- ▶ Os amperímetros reais sempre possuem uma resistência finita, contudo é sempre desejável que a resistência do amperímetro seja a menor possível.

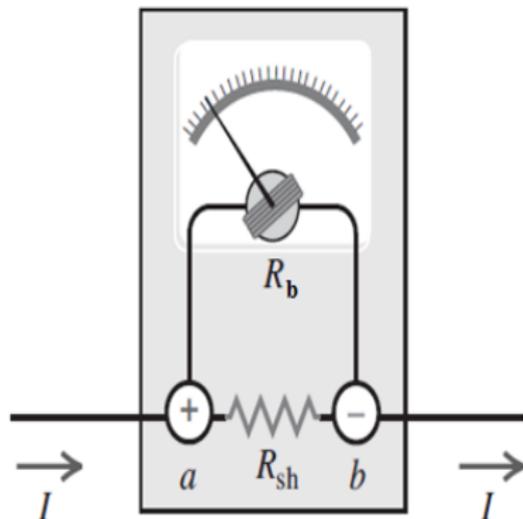
## Um amperímetro com bobina móvel



## Amperímetros.

- ▶ Um *amperímetro* sempre mede a corrente que passa através dele.
- ▶ Os amperímetros reais sempre possuem uma resistência finita, contudo é sempre desejável que a resistência do amperímetro seja a menor possível.
- ▶ Sempre podemos usar um galvanômetro para medir corrente, dado que a deflexão é proporcional a essa grandeza.

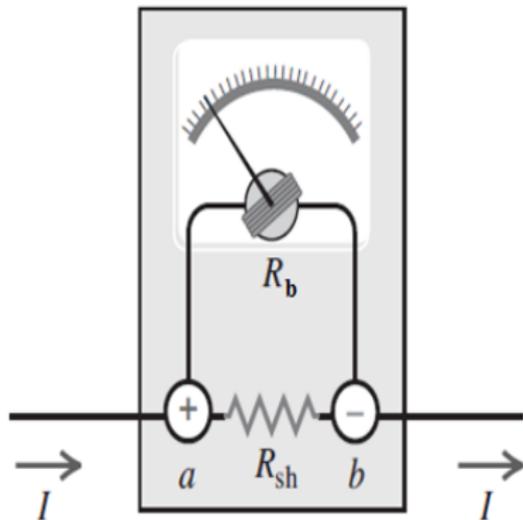
## Um amperímetro com bobina móvel



## Amperímetros.

- ▶ Um *amperímetro* sempre mede a corrente que passa através dele.
- ▶ Os amperímetros reais sempre possuem uma resistência finita, contudo é sempre desejável que a resistência do amperímetro seja a menor possível.
- ▶ Sempre podemos usar um galvanômetro para medir corrente, dado que a deflexão é proporcional a essa grandeza.
- ▶ Podemos mudar a escala, ou seja a corrente de fundo de escala, através de um resistor em paralelo, chamado de *resistor shunt* ( $R_{sh}$ ).

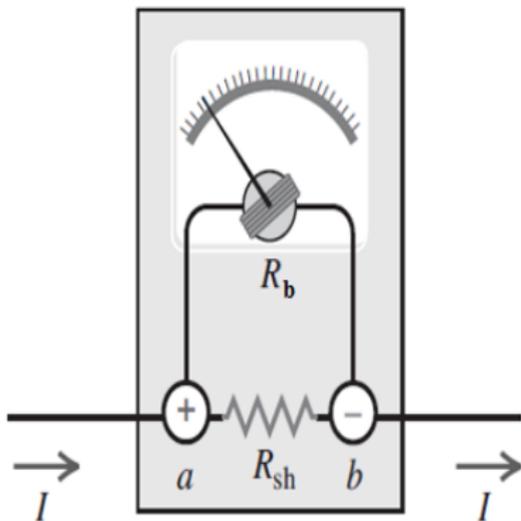
## Um amperímetro com bobina móvel



## Amperímetros.

- ▶ Um *amperímetro* sempre mede a corrente que passa através dele.
- ▶ Os amperímetros reais sempre possuem uma resistência finita, contudo é sempre desejável que a resistência do amperímetro seja a menor possível.
- ▶ Sempre podemos usar um galvanômetro para medir corrente, dado que a deflexão é proporcional a essa grandeza.
- ▶ Podemos mudar a escala, ou seja a corrente de fundo de escala, através de um resistor em paralelo, chamado de *resistor shunt* ( $R_{sh}$ ).
- ▶ Para fazer um galvanômetro de resistência  $R_b$  e corrente  $I_{fe}$  para um amperímetro de corrente máxima  $I_a$  teremos de adicionara a seguinte resistência  $R_b$  dada por:

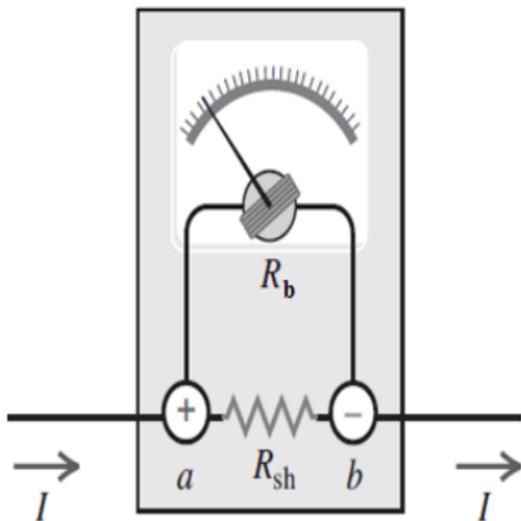
## Um amperímetro com bobina móvel



## Amperímetros.

- ▶ Um *amperímetro* sempre mede a corrente que passa através dele.
- ▶ Os amperímetros reais sempre possuem uma resistência finita, contudo é sempre desejável que a resistência do amperímetro seja a menor possível.
- ▶ Sempre podemos usar um galvanômetro para medir corrente, dado que a deflexão é proporcional a essa grandeza.
- ▶ Podemos mudar a escala, ou seja a corrente de fundo de escala, através de um resistor em paralelo, chamado de *resistor shunt* ( $R_{sh}$ ).
- ▶ Para fazer um galvanômetro de resistência  $R_b$  e corrente  $I_{fe}$  para um amperímetro de corrente máxima  $I_a$  teremos de adicionara a seguinte resistência  $R_b$  dada por:
- ▶  $V_{ab} = I_{fe}R_b = (I_a - I_{fe})R_{sh}$

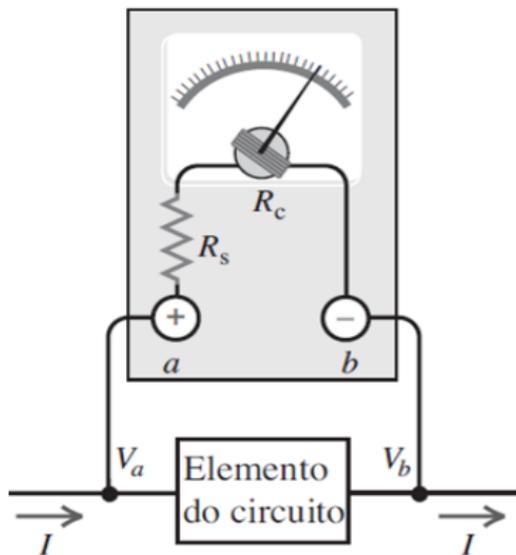
## Um amperímetro com bobina móvel



## Voltímetros.

- ▶ Um *voltímetro* sempre mede a diferença de potencial entre dois pontos.

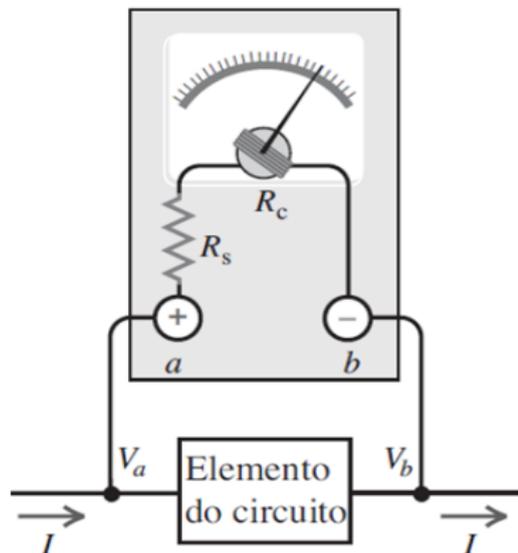
Um voltímetro com bobina móvel



## Voltímetros.

- ▶ Um *voltímetro* sempre mede a diferença de potencial entre dois pontos.
- ▶ Os voltímetros reais sempre possuem uma resistência finita, contudo é sempre desejável que a resistência do voltímetro seja a maior possível.

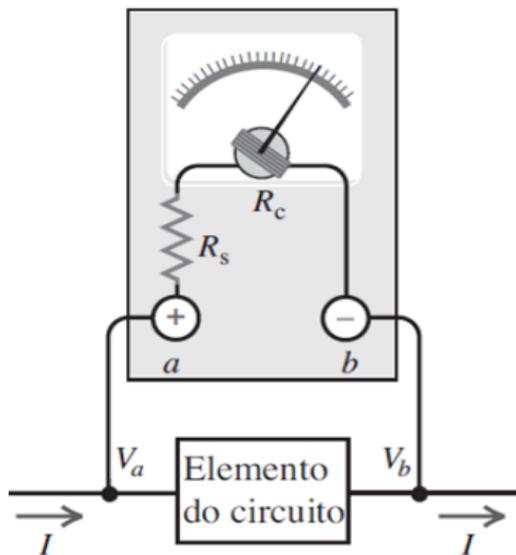
Um voltímetro com bobina móvel



## Voltímetros.

- ▶ Um *voltímetro* sempre mede a diferença de potencial entre dois pontos.
- ▶ Os voltímetros reais sempre possuem uma resistência finita, contudo é sempre desejável que a resistência do voltímetro seja a maior possível.
- ▶ Sempre podemos usar um galvanômetro para medir a diferença de potencial entre dois pontos. Dado que  $V = I_{fe} R_b$ .

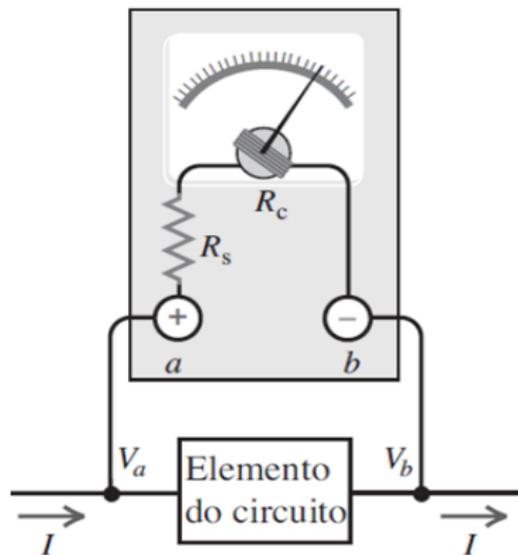
Um voltímetro com bobina móvel



## Voltímetros.

- ▶ Um *voltímetro* sempre mede a diferença de potencial entre dois pontos.
- ▶ Os voltímetros reais sempre possuem uma resistência finita, contudo é sempre desejável que a resistência do voltímetro seja a maior possível.
- ▶ Sempre podemos usar um galvanômetro para medir a diferença de potencial entre dois pontos. Dado que  $V = I_{fe} R_b$ .
- ▶ Podemos mudar a escala, ou seja a corrente de fundo de escala, através de um resistor em série,  $R_s$ .

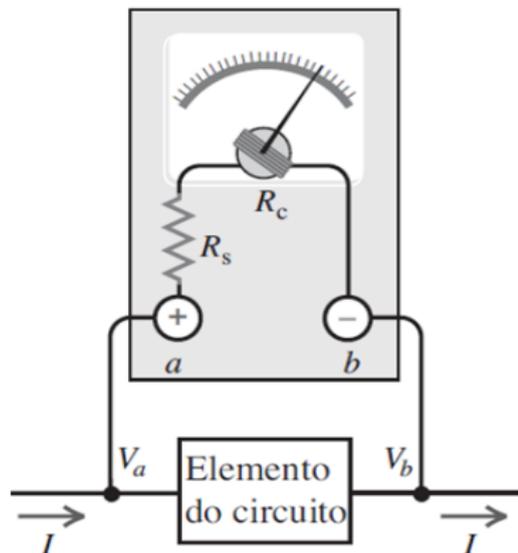
Um voltímetro com bobina móvel



## Voltímetros.

- ▶ Um *voltímetro* sempre mede a diferença de potencial entre dois pontos.
- ▶ Os voltímetros reais sempre possuem uma resistência finita, contudo é sempre desejável que a resistência do voltímetro seja a maior possível.
- ▶ Sempre podemos usar um galvanômetro para medir a diferença de potencial entre dois pontos. Dado que  $V = I_{fe} R_b$ .
- ▶ Podemos mudar a escala, ou seja a corrente de fundo de escala, através de um resistor em série,  $R_s$ .
- ▶ Para fazer um galvanômetro de resistência  $R_b$  e corrente  $I_{fe}$  para um voltímetro de diferença de potencial máxima  $V_v$  teremos de adicionara a seguinte resistência  $R_s$  dada por:

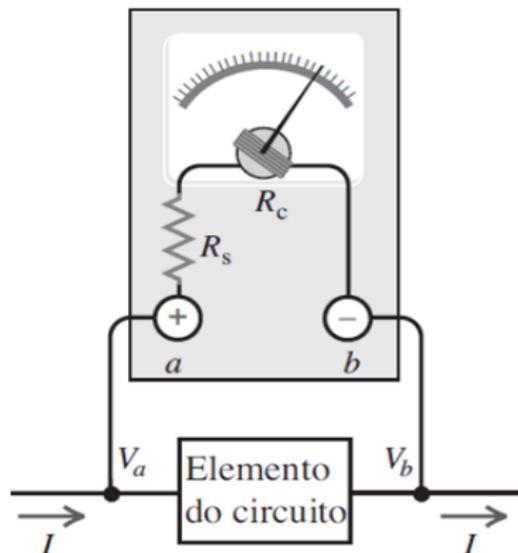
Um voltímetro com bobina móvel



## Voltímetros.

- ▶ Um *voltímetro* sempre mede a diferença de potencial entre dois pontos.
- ▶ Os voltímetros reais sempre possuem uma resistência finita, contudo é sempre desejável que a resistência do voltímetro seja a maior possível.
- ▶ Sempre podemos usar um galvanômetro para medir a diferença de potencial entre dois pontos. Dado que  $V = I_{fe} R_b$ .
- ▶ Podemos mudar a escala, ou seja a corrente de fundo de escala, através de um resistor em série,  $R_s$ .
- ▶ Para fazer um galvanômetro de resistência  $R_b$  e corrente  $I_{fe}$  para um voltímetro de diferença de potencial máxima  $V_v$  teremos de adicionara a seguinte resistência  $R_s$  dada por:
- ▶  $V_v = I_{fe}(R_b + R_s)$ .

Um voltímetro com bobina móvel

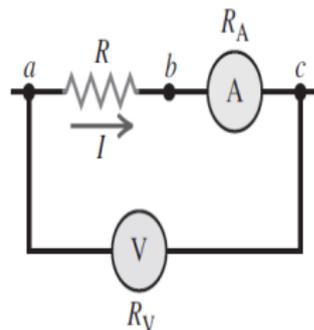


## Combinação de amperímetros e voltímetros.

- ▶ Um amperímetro e um voltímetro podem ser usados juntos para medidas de *resistência e potência*.

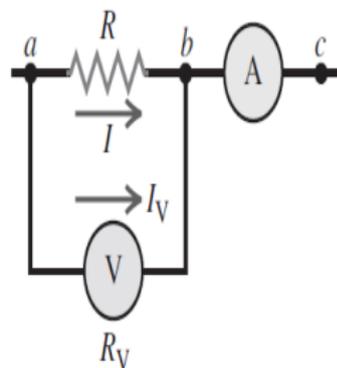
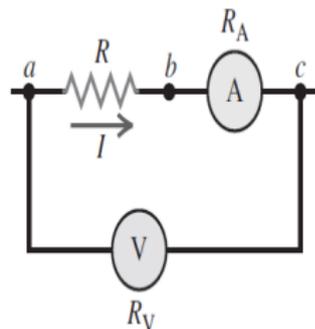
### Combinação de amperímetros e voltímetros.

- ▶ Um amperímetro e um voltímetro podem ser usados juntos para medidas de *resistência* e *potência*.
- ▶ No entanto com amperímetros e voltímetros reais isso não é tão simples.



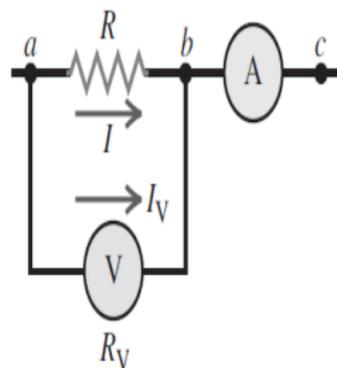
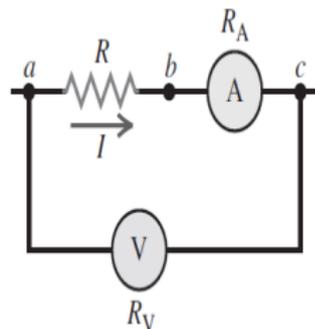
Combinação de amperímetros e voltímetros.

- ▶ Um amperímetro e um voltímetro podem ser usados juntos para medidas de *resistência e potência*.
- ▶ No entanto com amperímetros e voltímetros reais isso não é tão simples.



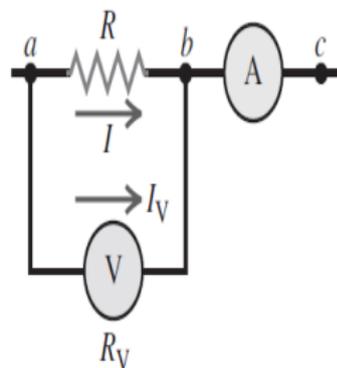
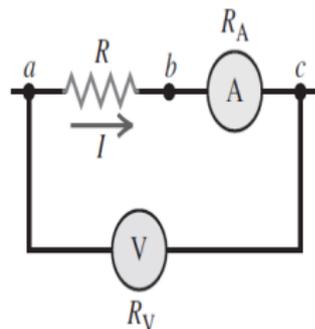
Combinação de amperímetros e voltímetros.

- ▶ Um amperímetro e um voltímetro podem ser usados juntos para medidas de *resistência e potência*.
- ▶ No entanto com amperímetros e voltímetros reais isso não é tão simples.



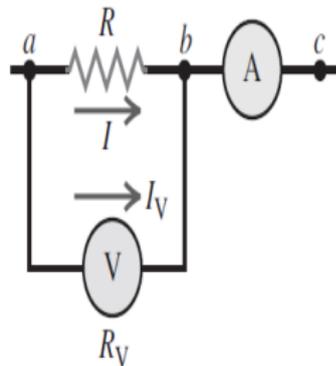
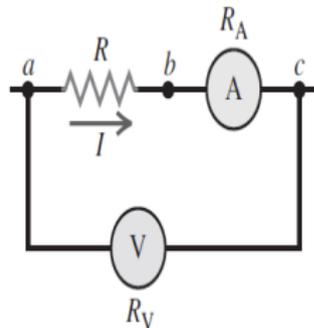
Combinação de amperímetros e voltímetros.

- ▶ Um amperímetro e um voltímetro podem ser usados juntos para medidas de *resistência e potência*.
- ▶ No entanto com amperímetros e voltímetros reais isso não é tão simples.



## Combinação de amperímetros e voltímetros.

- ▶ Um amperímetro e um voltímetro podem ser usados juntos para medidas de *resistência e potência*.
- ▶ No entanto com amperímetros e voltímetros reais isso não é tão simples.

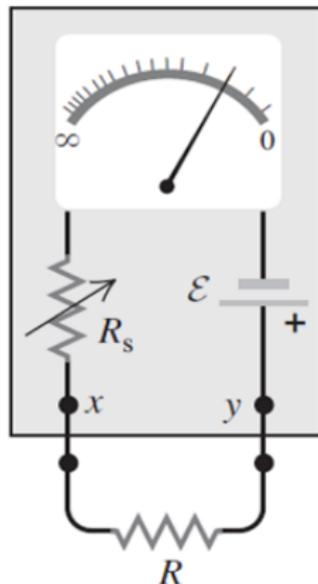


## Ohmímetro.

- ▶ Um *Ohmímetro* trata-se de um galvanômetro ligados em série com um resistor variável e uma fonte de tensão.

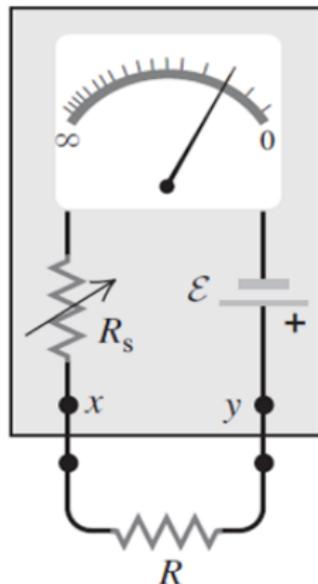
## Ohmímetro.

- ▶ Um *Ohmímetro* trata-se de um galvanômetro ligados em série com um resistor variável e uma fonte de tensão.
- ▶ A resistência  $R_s$  é ajustada de tal forma que o ponto  $x$  forme um curto circuito com o ponto  $y$  (Ou seja,  $R=0$ ).



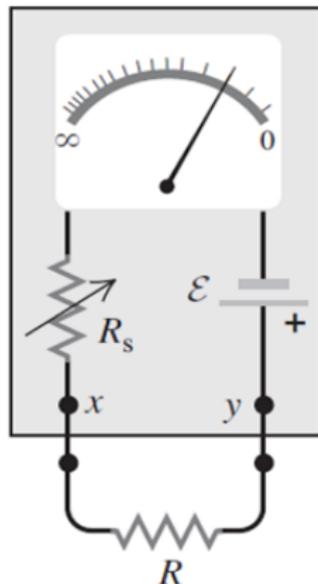
## Ohmímetro.

- ▶ Um *Ohmímetro* trata-se de um galvanômetro ligados em série com um resistor variável e uma fonte de tensão.
- ▶ A resistência  $R_s$  é ajustada de tal forma que o ponto  $x$  forme um curto circuito com o ponto  $y$  (Ou seja,  $R=0$ ).
- ▶ Então o galvanômetro sofre uma deflexão máxima em sua escala.



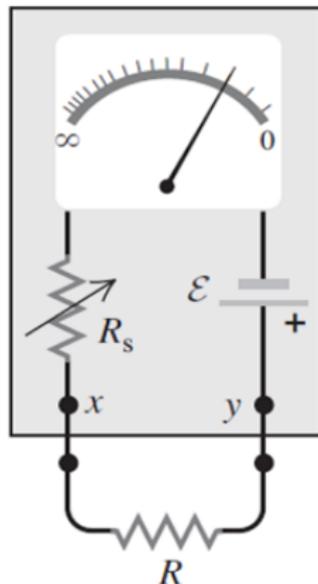
## Ohmímetro.

- ▶ Um *Ohmímetro* trata-se de um galvanômetro ligados em série com um resistor variável e uma fonte de tensão.
- ▶ A resistência  $R_s$  é ajustada de tal forma que o ponto  $x$  forme um curto circuito com o ponto  $y$  (Ou seja,  $R=0$ ).
- ▶ Então o galvanômetro sofre uma deflexão máxima em sua escala.
- ▶ Quando não existe nada conectado,  $R \rightarrow \infty$  e assim não existe deflexão.



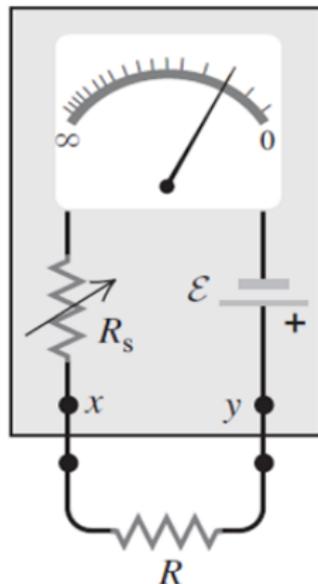
## Ohmímetro.

- ▶ Um *Ohmímetro* trata-se de um galvanômetro ligados em série com um resistor variável e uma fonte de tensão.
- ▶ A resistência  $R_s$  é ajustada de tal forma que o ponto  $x$  forme um curto circuito com o ponto  $y$  (Ou seja,  $R=0$ ).
- ▶ Então o galvanômetro sofre uma deflexão máxima em sua escala.
- ▶ Quando não existe nada conectado,  $R \rightarrow \infty$  e assim não existe deflexão.



## Ohmímetro.

- ▶ Um *Ohmímetro* trata-se de um galvanômetro ligados em série com um resistor variável e uma fonte de tensão.
- ▶ A resistência  $R_s$  é ajustada de tal forma que o ponto  $x$  forme um curto circuito com o ponto  $y$  (Ou seja,  $R=0$ ).
- ▶ Então o galvanômetro sofre uma deflexão máxima em sua escala.
- ▶ Quando não existe nada conectado,  $R \rightarrow \infty$  e assim não existe deflexão.

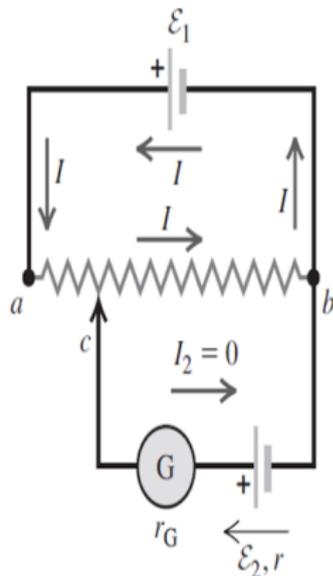


## Potenciômetro.

- ▶ Um *Potenciômetro* trata-se de um instrumento que serve para medir a fem de uma fonte sem consumir nenhuma corrente da fonte.

## Potenciômetro.

- ▶ Um *Potenciômetro* trata-se de um instrumento que serve para medir a fem de uma fonte sem consumir nenhuma corrente da fonte.
- ▶ Mudando o valor da resistência  $R_{cb}$  podemos encontrar um ponto tal que não exista deflexão no galvanômetro.

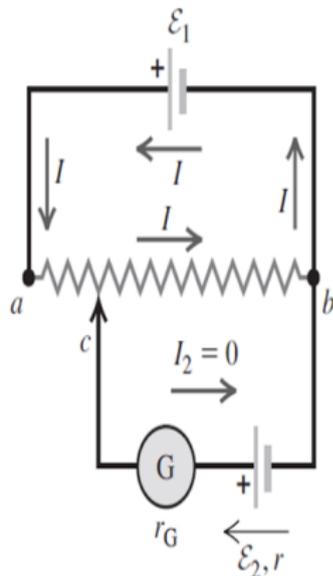




## Potenciômetro.

- ▶ Um *Potenciômetro* trata-se de um instrumento que serve para medir a fem de uma fonte sem consumir nenhuma corrente da fonte.
- ▶ Mudando o valor da resistência  $R_{cb}$  podemos encontrar um ponto tal que não exista deflexão no galvanômetro.
- ▶ Quando isso ocorre,  $I_2 = 0$  e temos que

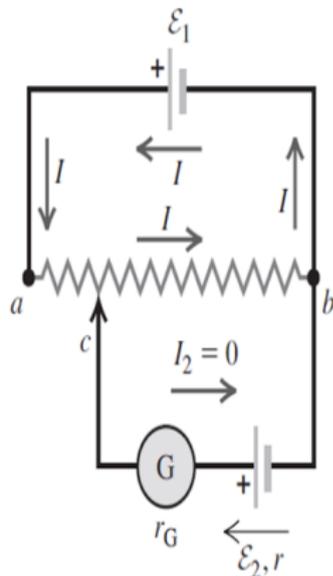
$$\mathcal{E}_2 = IR_{cb} = \frac{\mathcal{E}_1 R_{cb}}{R_{ab}}.$$



## Potenciômetro.

- ▶ Um *Potenciômetro* trata-se de um instrumento que serve para medir a fem de uma fonte sem consumir nenhuma corrente da fonte.
- ▶ Mudando o valor da resistência  $R_{cb}$  podemos encontrar um ponto tal que não exista deflexão no galvanômetro.
- ▶ Quando isso ocorre,  $I_2 = 0$  e temos que

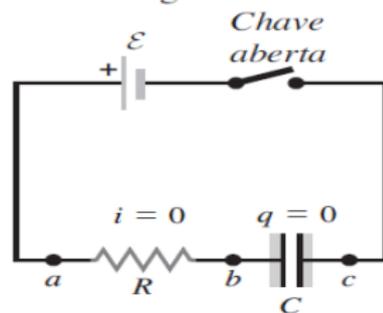
$$\mathcal{E}_2 = IR_{cb} = \frac{\mathcal{E}_1 R_{cb}}{R_{ab}}.$$





Carregamento de um capacitor.

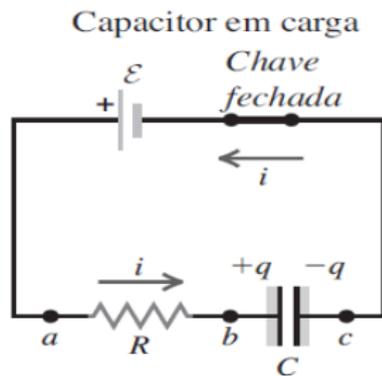
Capacitor inicialmente  
descarregado



Carregamento de um capacitor.

- As voltagens instantâneas  $v_{ab}$  e  $v_{bc}$  são dadas por,

$$v_{ab}(t) = i(t)R ; v_{bc}(t) = \frac{q(t)}{C}$$



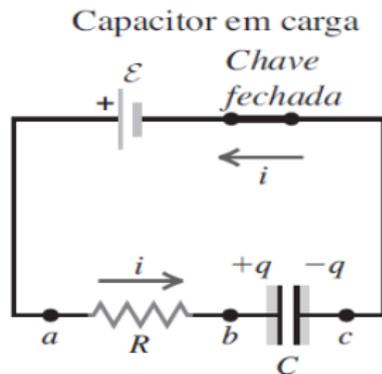
Carregamento de um capacitor.

- ▶ As voltagens instantâneas  $v_{ab}$  e  $v_{bc}$  são dadas por,

$$v_{ab}(t) = i(t)R ; v_{bc}(t) = \frac{q(t)}{C}$$

- ▶ Aplicando as leis das malhas obtemos,

$$\varepsilon - i(t)R - \frac{q(t)}{C} = 0$$



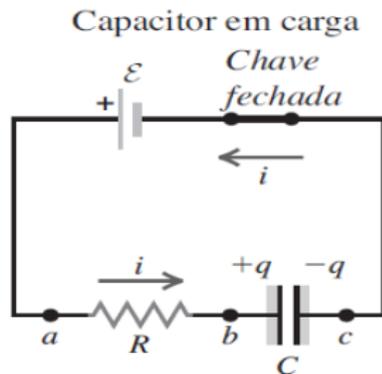
Carregamento de um capacitor.

- ▶ As voltagens instantâneas  $v_{ab}$  e  $v_{bc}$  são dadas por,

$$v_{ab}(t) = i(t)R ; v_{bc}(t) = \frac{q(t)}{C}$$

- ▶ Aplicando as leis das malhas obtemos,

$$\varepsilon - i(t)R - \frac{q(t)}{C} = 0$$



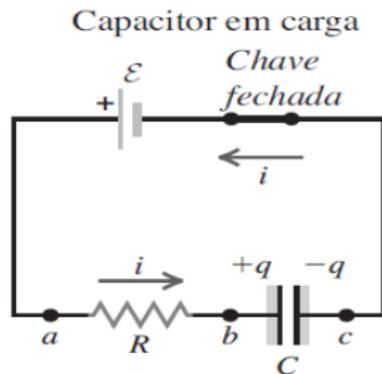
Carregamento de um capacitor.

- ▶ As voltagens instantâneas  $v_{ab}$  e  $v_{bc}$  são dadas por,

$$v_{ab}(t) = i(t)R ; v_{bc}(t) = \frac{q(t)}{C}$$

- ▶ Aplicando as leis das malhas obtemos,

$$\varepsilon - i(t)R - \frac{q(t)}{C} = 0$$



Descarregando um capacitor.

Sobrecargas do circuito e curtos-circuitos.

Fiação doméstica e automotiva.