Instrumentação

6ª. Aula

2019

Dispositivos de medida

Medida de Movimento

- **A medida de movimento é interessante para inicio dos estudos dos dispositivos de medida porque tem como base a medida de duas grandezas fundamentais:**
  - Comprimento e
  - tempo.
- **E também porque diversas outra grandezas são medidas por transdutores que as transformam em movimento, tais como:**
  - Força
  - Pressão
  - Temperatura

Padrões fundamentais

A unidade fundamental de comprimento é o metro (m):

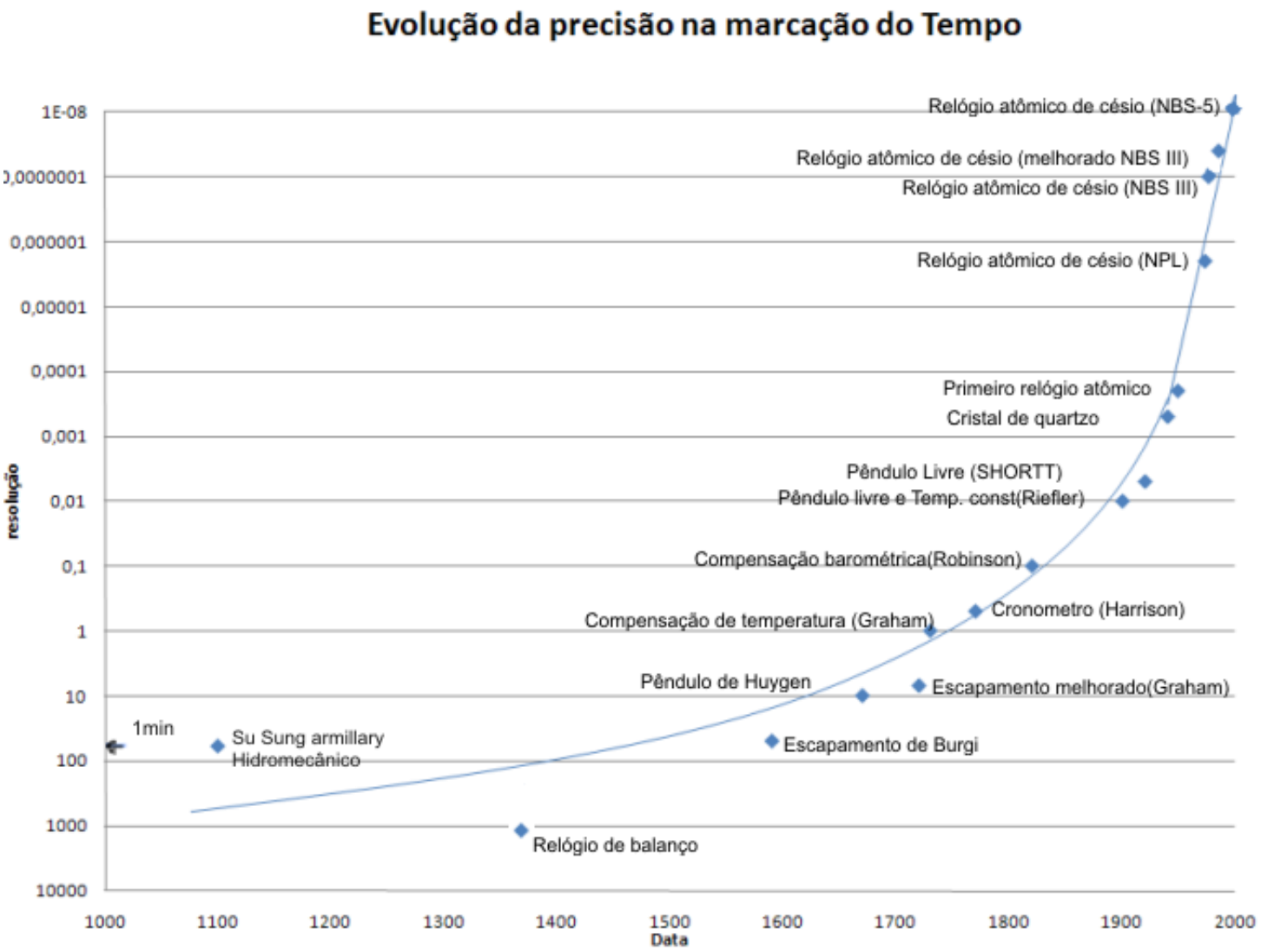
- Metro: é o comprimento igual a 1.650.763,73 comprimentos de onda no vácuo correspondentes à transição entre os níveis de energia $2p_{10}$ e $5d_5$ do átomo kriptônio 86.
  - Este padrão é acreditado ser reproduzível em laboratório com incerteza de 2 em 10^8, e pode ser usado com esse nível de precisão em medidas entre 10^{-9} e 10^{-1} m.

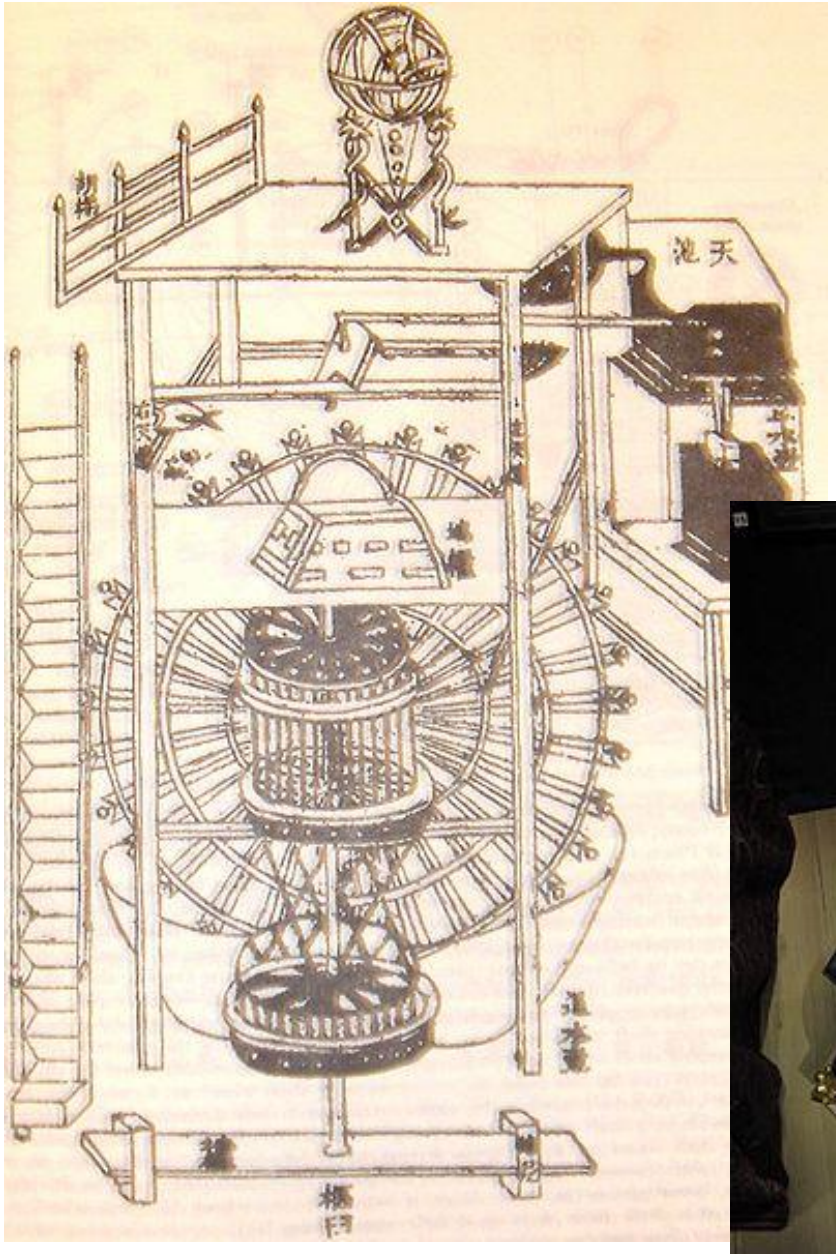
Padrões fundamentais

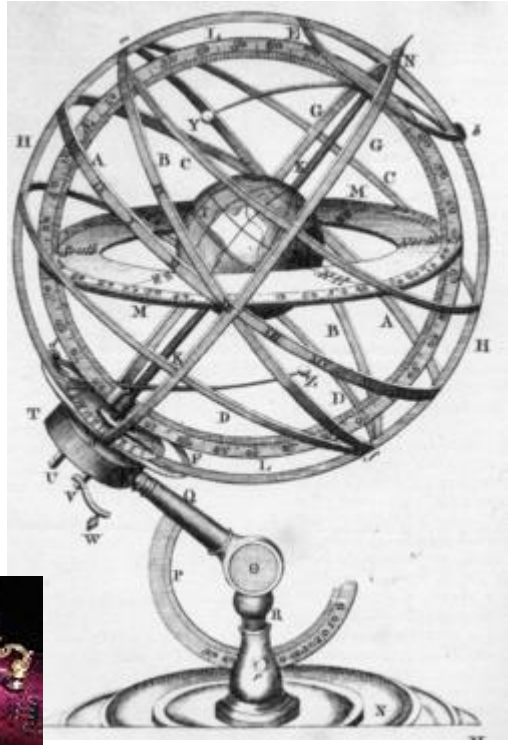
A unidade fundamental de tempo é o **segundo (s)**:

- Segundo (s) é o intervalo de tempo correspondente a 9.192.631.770 ciclos da frequência de ressonância atômica do átomo de Césio 133.
  - A evolução da incerteza na medição do tempo é apresentada no gráfico:

Evolução da medida de tempo (até 1973)

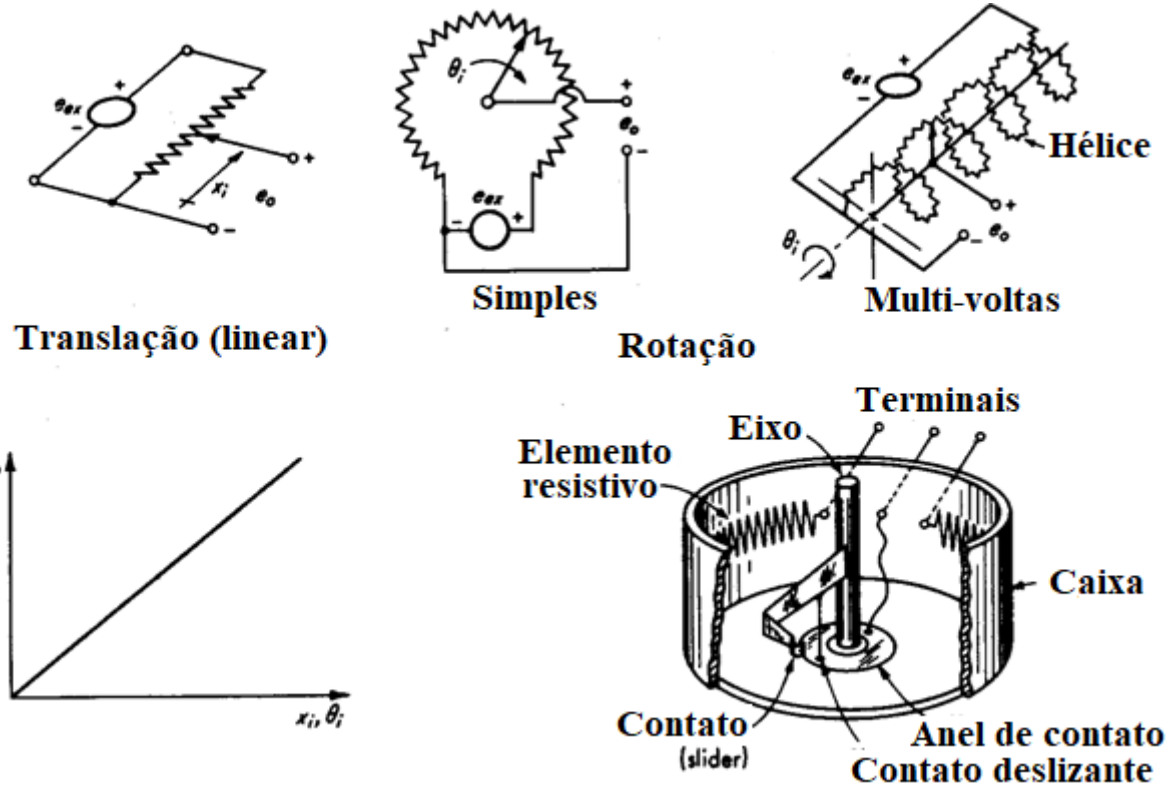




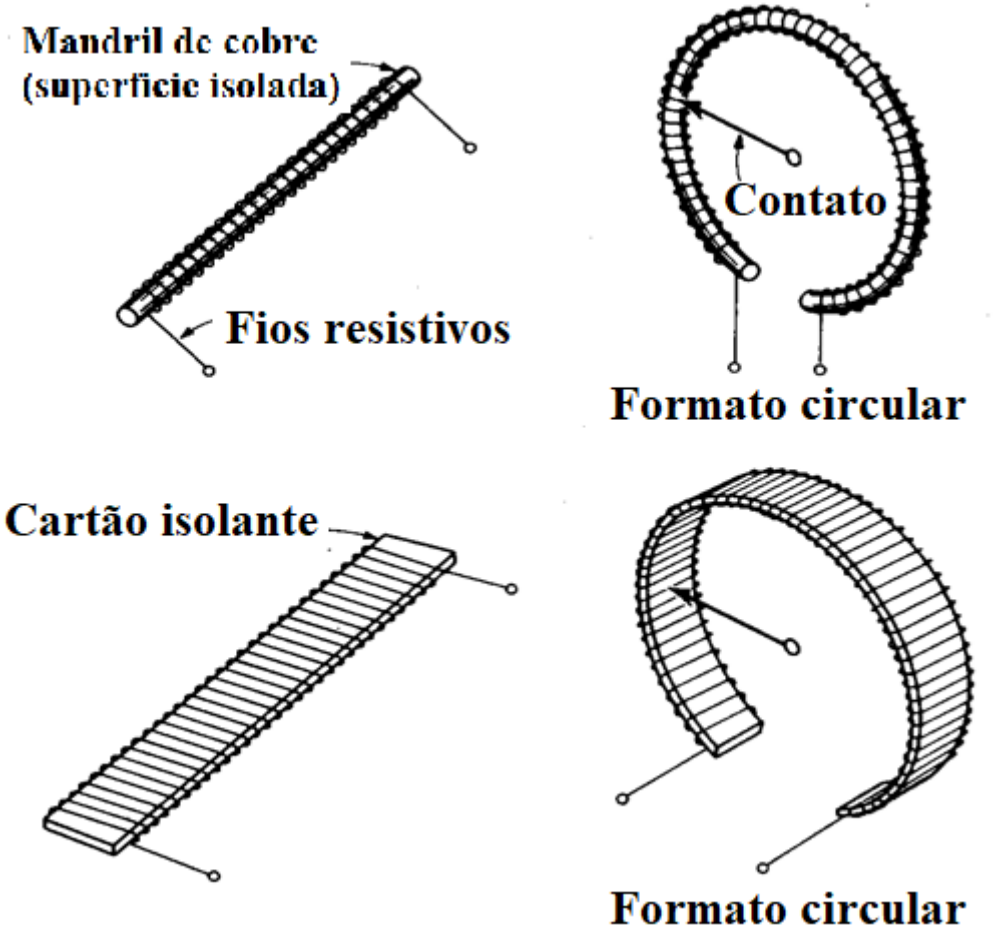


Medida de deslocamento

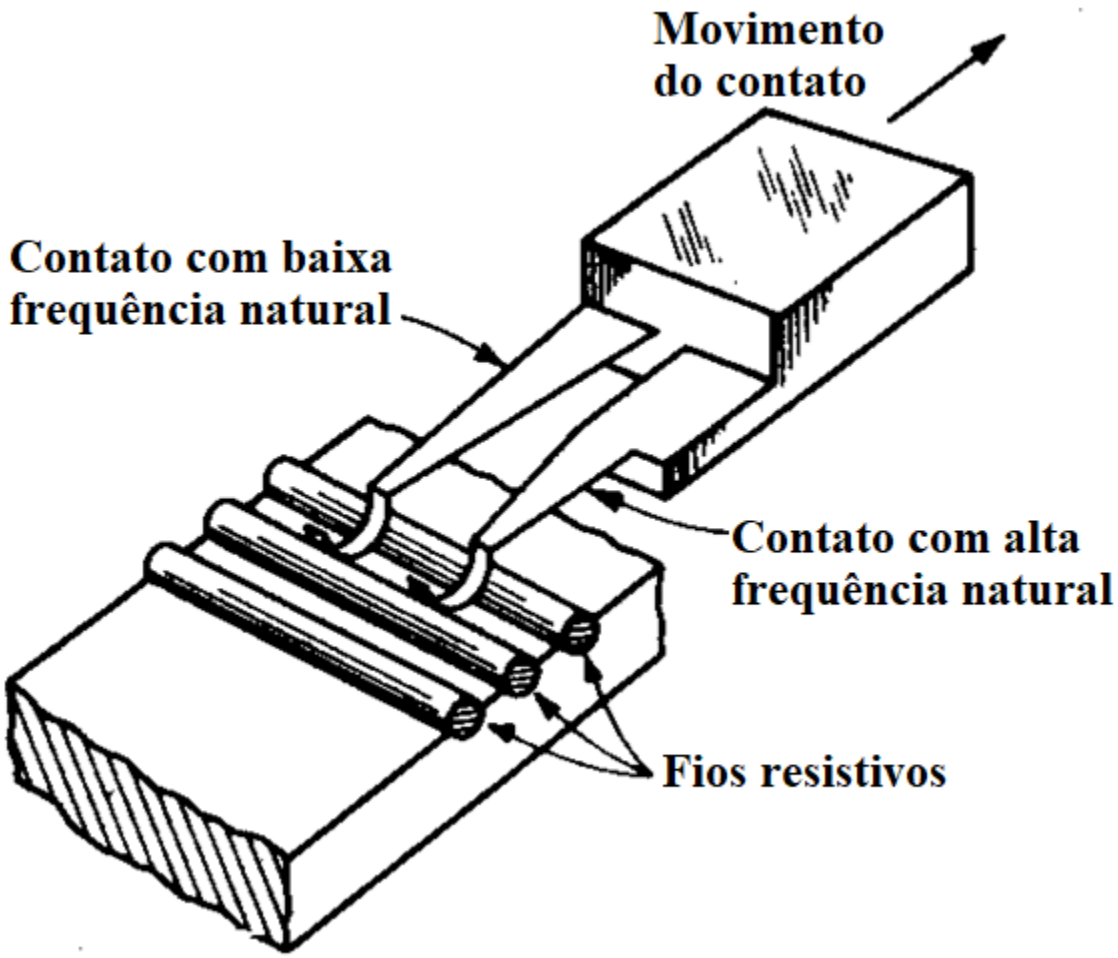
- Potenciômetro resistivo: basicamente um elemento resistivo provido de um contato móvel.



Outras construções de Potenciômetros



Contato de potenciômetro antevibração



Medidas Elétricas

A Eletricidade

- fenômeno físico originado por cargas elétricas estáticas, ou em movimento.
- **Dois tipos de cargas elétricas:**
  - positivas e negativas.
  - Positivas: falta de elétrons
  - Negativa: excesso de elétrons

Exemplo de eletricidade

Conceitos em eletricidade

Potencial elétrico (E)

Capacidade de um campo elétrico de realizar trabalho. No SI (Sistema Internacional de Unidades), é medido em volt (V).

Corrente elétrica (i)

Quantidade de carga que atravessa determinada seção em dado intervalo de tempo. No SI (Sistema Internacional de Unidades), é medido em ampère (A).

Potência elétrica (W)

Quantidade de energia convertida em um dado intervalo de tempo.

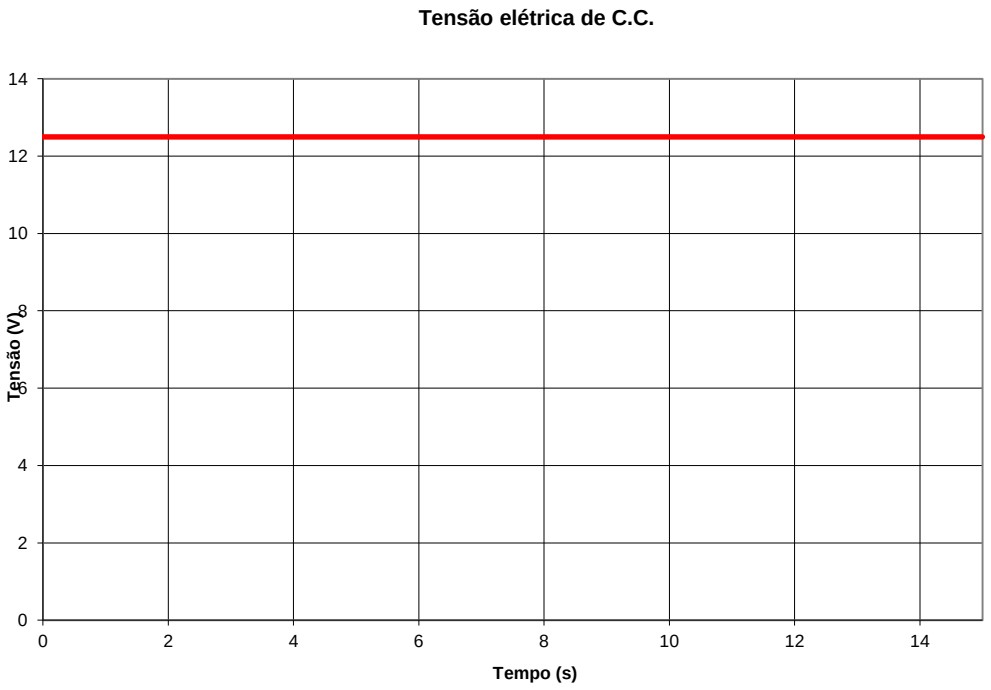
- Pot = E.i
- [Pot] = V.A = W

Tipos de corrente elétrica

Corrente Contínua, CC

Tem o valor da tensão elétrica constante no tempo.

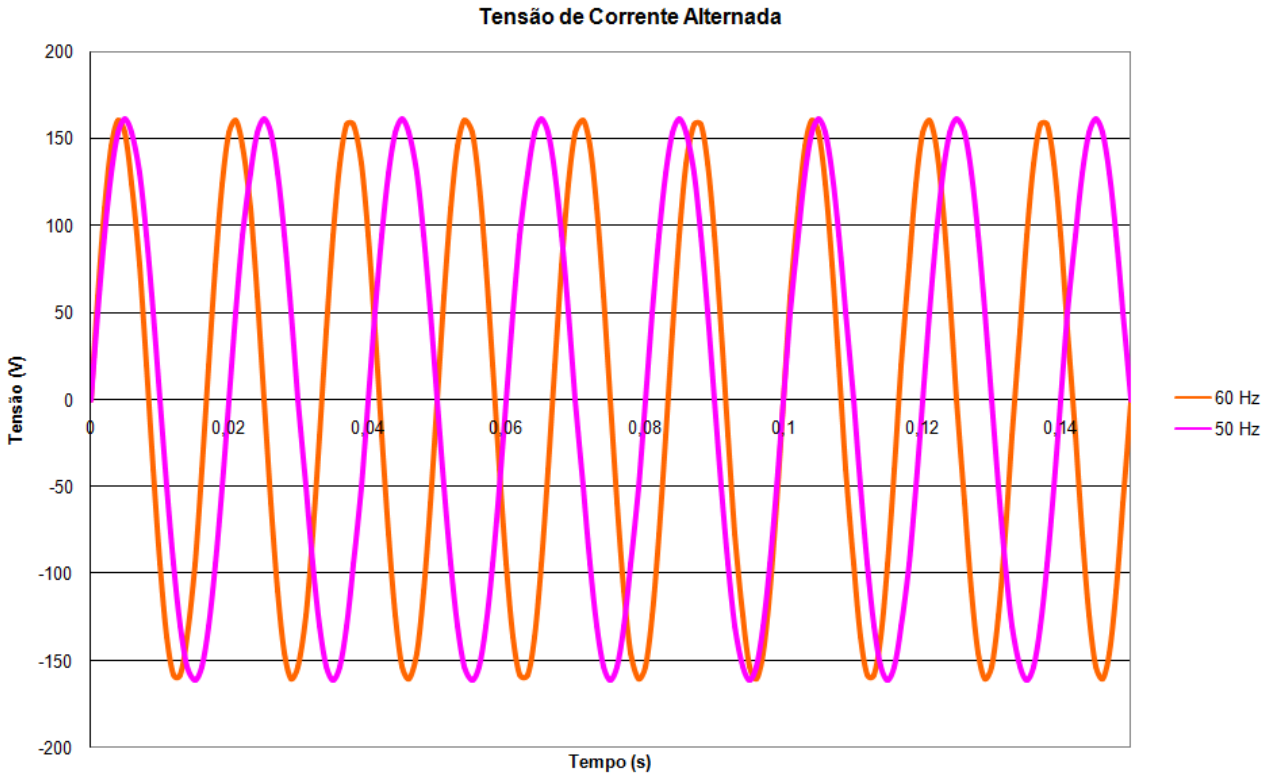
Ex: tensão elétrica de pilhas e baterias



Tipos de corrente elétrica

Corrente Alternada, AC

Tem o valor da tensão elétrica variável no tempo, assumindo uma forma senoidal. Ex: Tensão elétrica fornecida pela CPFL.



Resistência Elétrica

- Propriedade de um corpo de oferecer dificuldade à passagem da corrente elétrica. Depende do material (resistividade ρ) e da forma do corpo (dimensões). Para um fio elétrico a resistência é proporcional à resistividade e ao comprimento e inversamente proporcional à área transversal

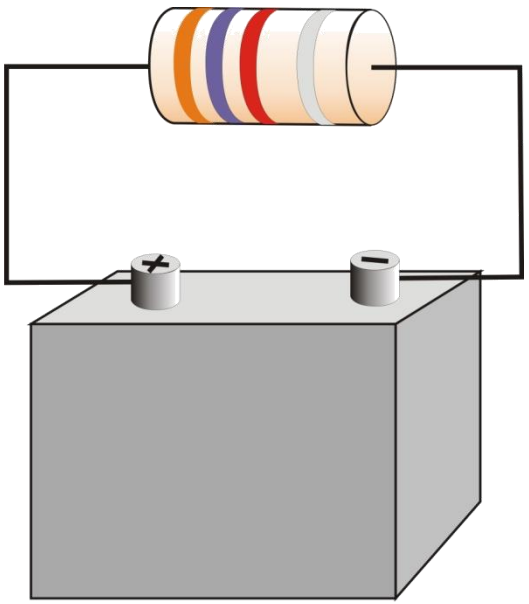
$$R = \rho \frac{L}{A}$$

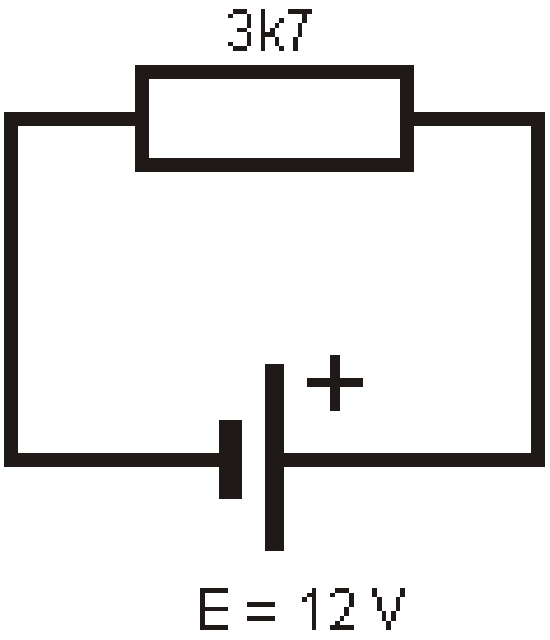
- Lei de Ohm:

$$E = R \times i$$

Circuito de Corrente Contínua

- Composto por fontes de tensão (baterias) e resistências.





Circuito de CC

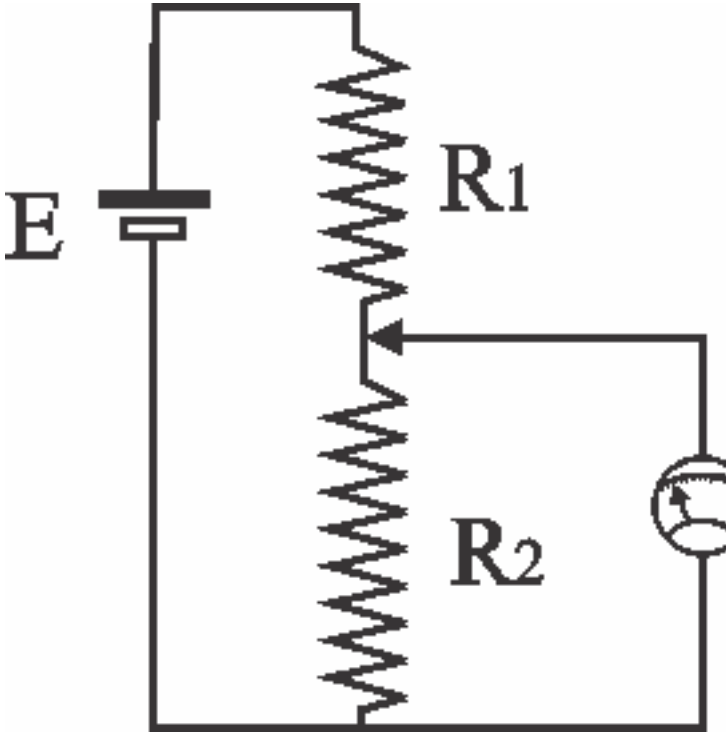
- Da Lei de Ohm

$$i = \frac{E}{R} = \frac{12}{3{,}7.10^{3}} = 3{,}24.10^{-3}\ \text{A}$$

- A potência pode ser calculada:
  - Pot = E.i = $12.3{,}24.10^{-3} = 38{,}88.10^{-3}$ W
- Combinando a equação da potência com a lei de Ohm, temos outras formas de cálculo da potência:
  - Pot = $R.i^2$ e
  - Pot = E^2/R

Circuito de CC

- Divisor de Tensão

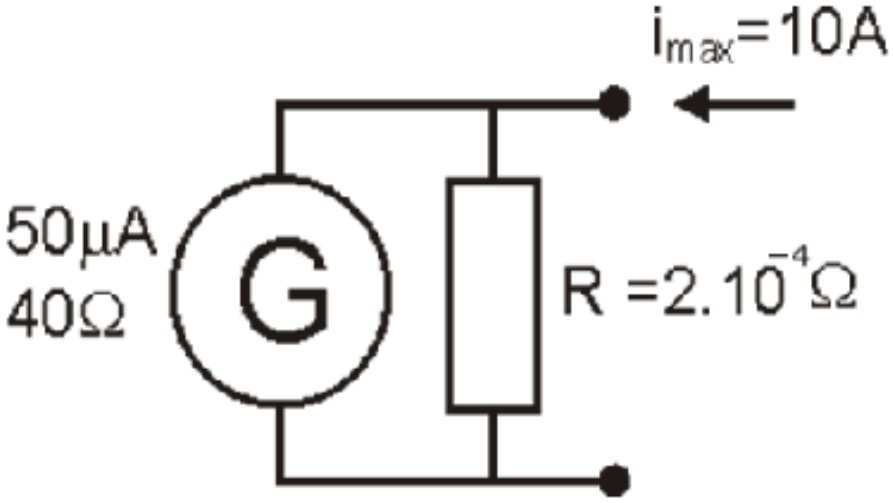


$$E_d = \frac{E}{(R_1 + R_2)} R_2$$

Medidores elétricos

Amperímetro

- Aparelho para medir a corrente elétrica em um condutor.
- É construído a partir de um galvanômetro. Como o galvanômetro é projetado para uma resistência não desprezível, o amperímetro é constituído por um galvanômetro em paralelo com uma resistência muito baixa.

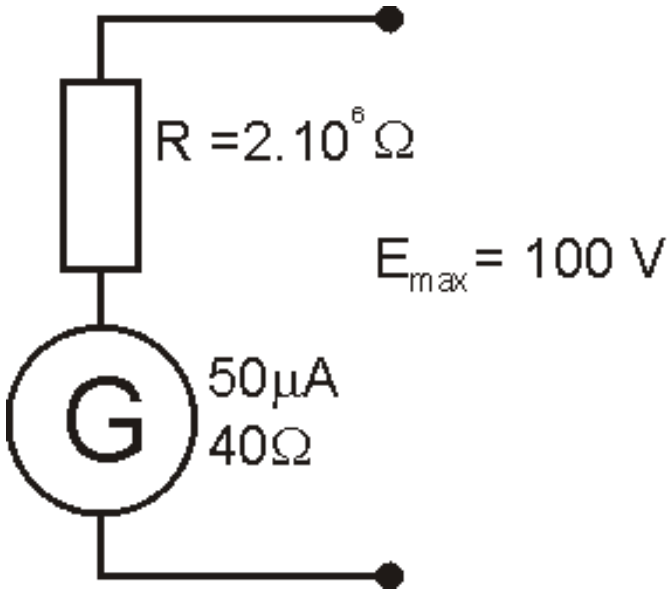


Quanto menor a resistência melhor a qualidade.

Medidores elétricos

Voltímetro

- Aparelho para medir a tensão elétrica entre dois pontos.
- É construído a partir do galvanômetro. Como o Galvanômetro é projetado para uma corrente baixa, o voltímetro é constituído por um galvanômetro em série com uma resistência alta.



Quanto maior a resistência melhor a qualidade.

Medidores elétricos

Wattímetro

- É a combinação de um amperímetro e um voltímetro no mesmo aparelho, que faz a multiplicação entre eles e fornece sinal proporcional a potência em Watt.
- Nas medidas em corrente alternada é comum o uso do Wattímetro associado a transformadores de corrente, para adequá-lo à potência a ser medida.

Circuitos de Corrente alternada

Dois novos componentes importantes em corrente alternada:

Capacitor ou condensador:

Causa defasagem positiva entre a corrente e a tensão.

Indutor ou bobina:

Causa defasagem negativa entre a corrente e a tensão.

Essa defasagem é denominada **fator de potência** ou **cos(ϕ)**.

Circuitos de Corrente alternada

A tensão AC

- A corrente alternada é fornecida em 4 fios:
  - 3 fases e
  - 1 neutro
- O cálculo da potência quando a alimentação usa as três fases inclui um fator igual a raiz de 3:

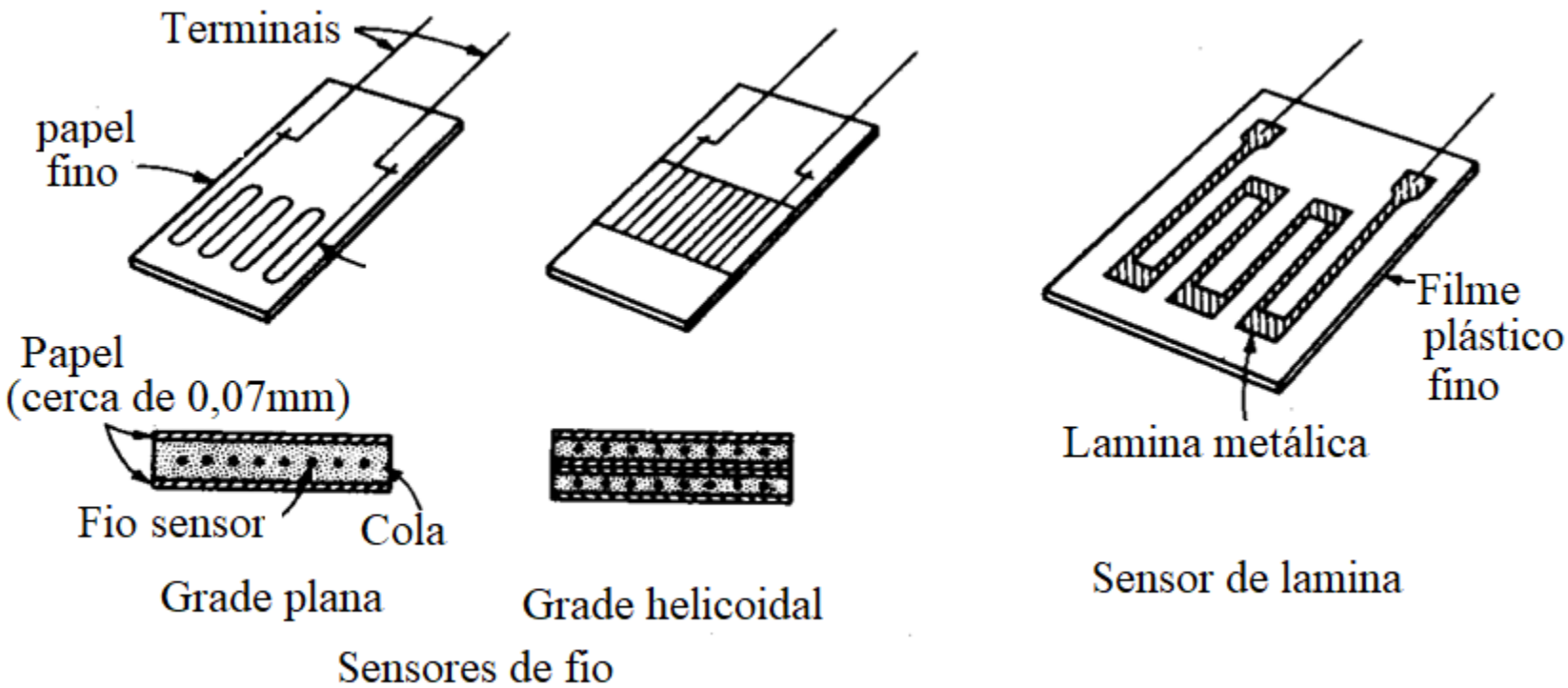
$$Pot = \sqrt{3}.E.i$$

- O cálculo da potência, quando o circuito contêm indutores ou capacitores, deve incluir a defasagem entre a corrente e a tensão:

$$Pot = \sqrt{3}.E.i.\cos(\phi)$$

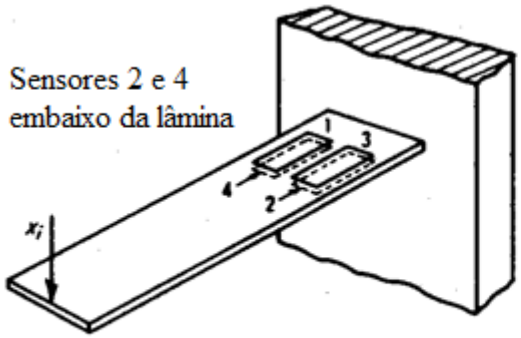
Sensores de Força

Extensômetros elétricos (Strain Gage)

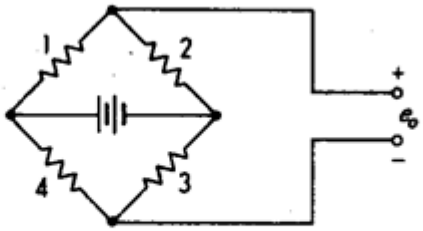


Aplicação de Strain Gage

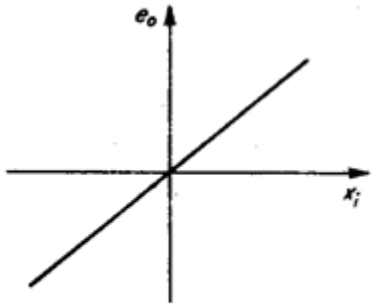
Célula de força



Dispositivo de medida de força

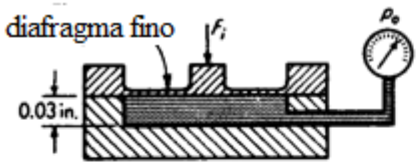


Esquema de ligação dos sensores

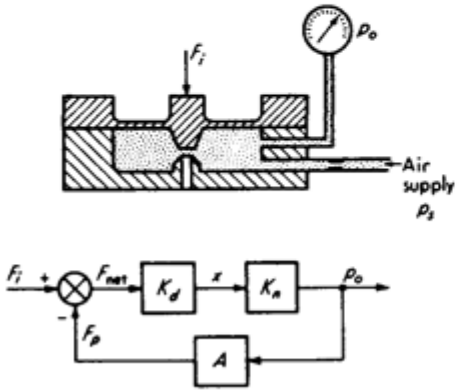


Curva de saída linear

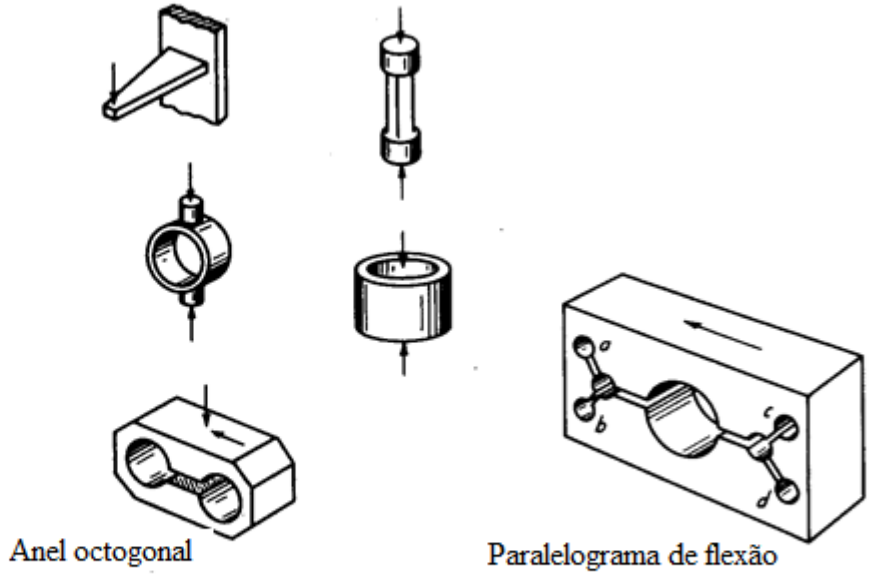
Células de força



Célula de carga hidráulica



Célula de carga pneumática

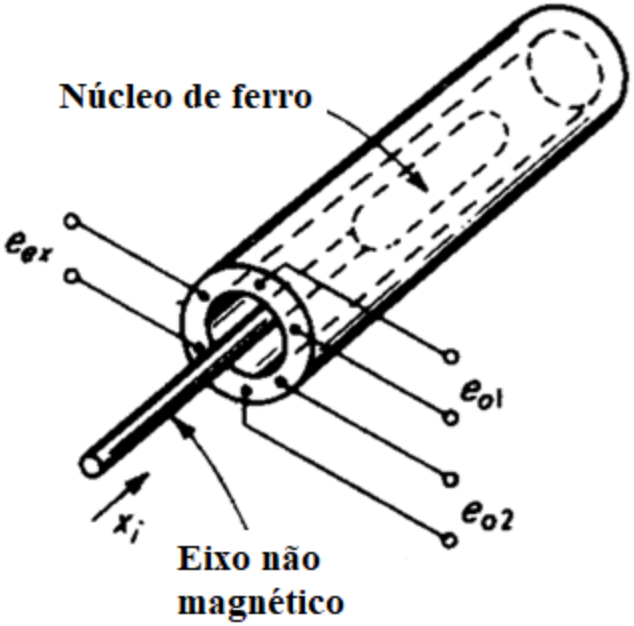


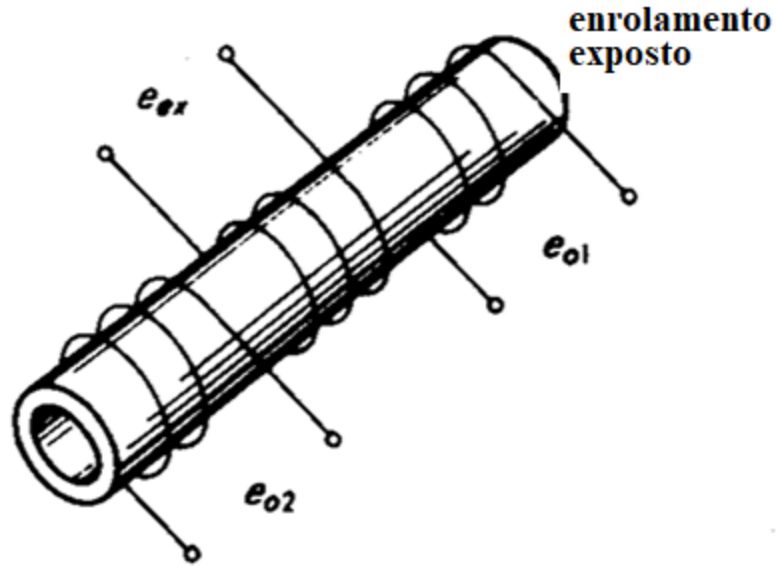
Anel octogonal

Paralelograma de flexão

Célula de carga de deflexão elástica

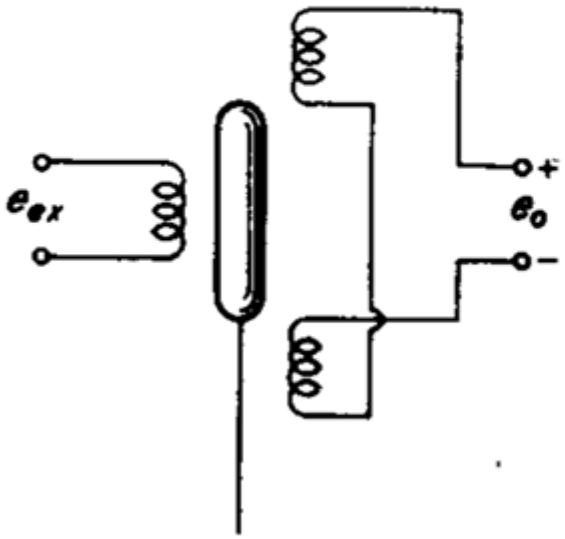
Transformador diferencial

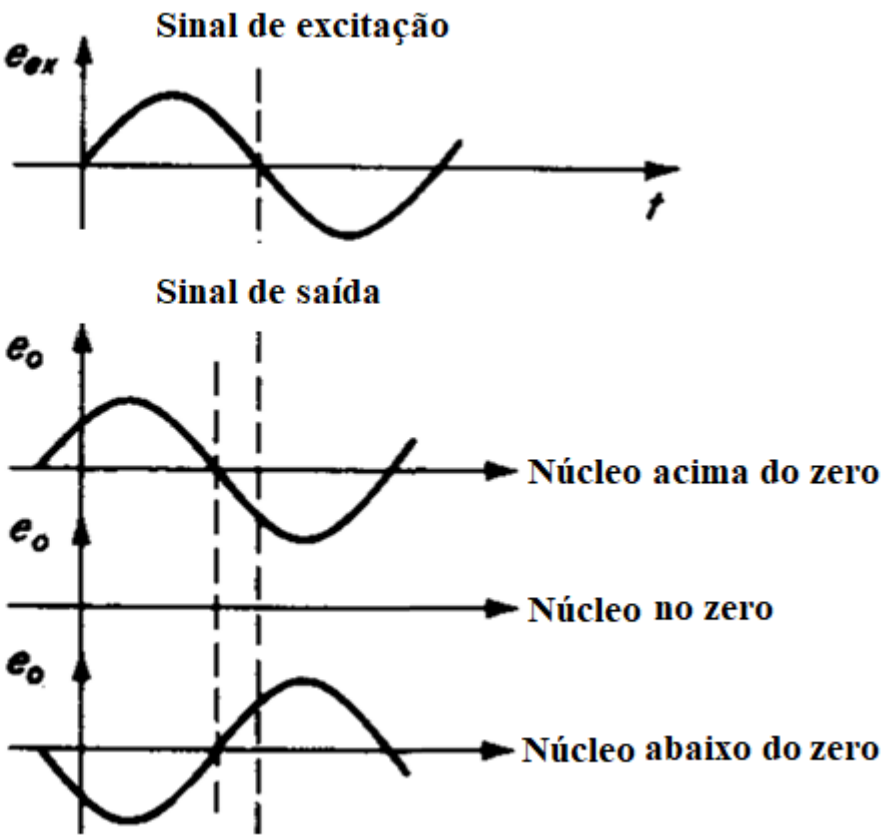




Construção do transformador diferencial

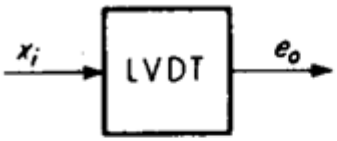
Resposta do transformador diferencial



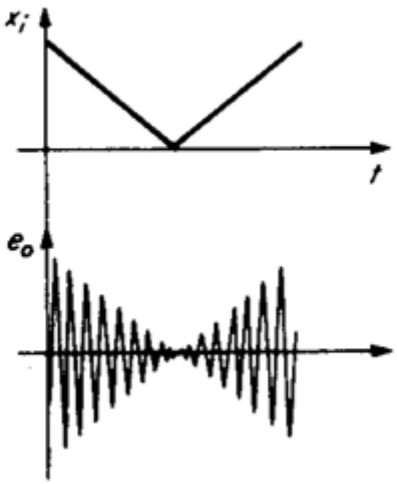


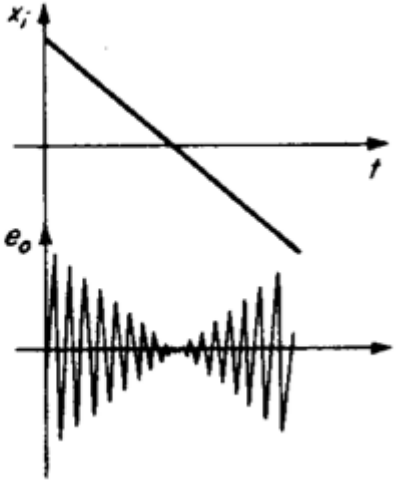
Resposta do transformador diferencial

Sinal de saída.



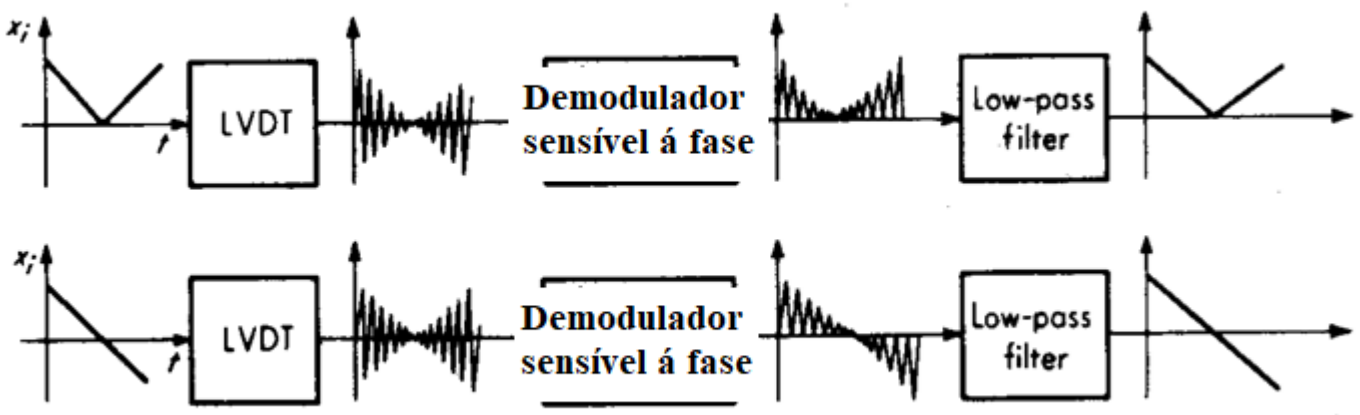
Tensão de saída e_o é visualmente semelhante para deslocamentos x_i diferentes.



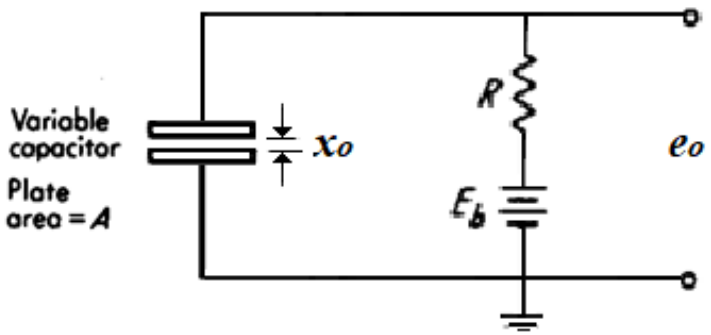


Resposta do transformador diferencial

Tratamento do Sinal de saída.



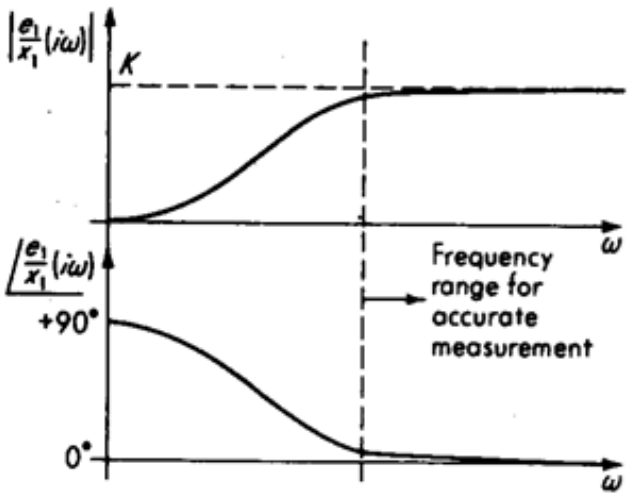
Sensores Capacitivos



$$e_1 \triangleq e_o - E_b$$

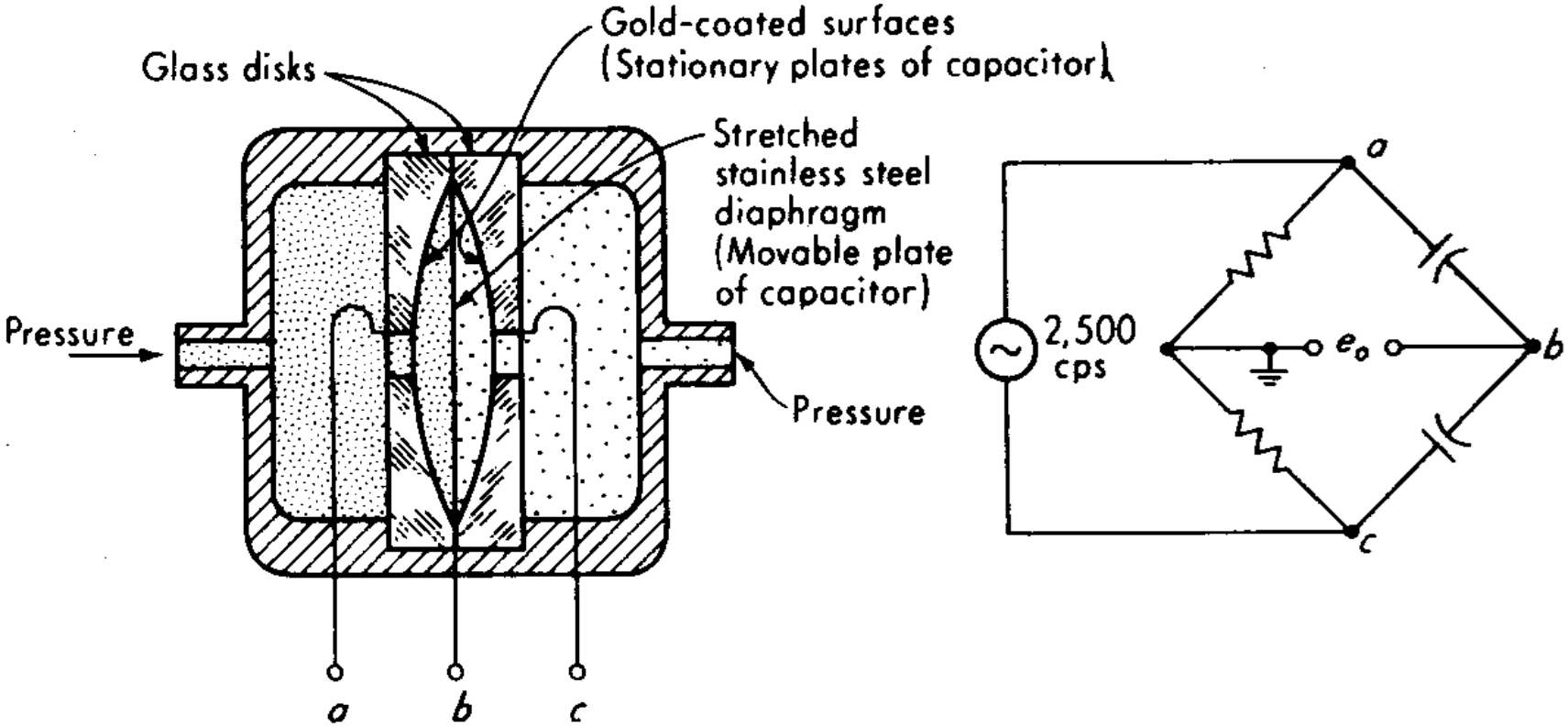
$$x_1 \triangleq x - x_0$$

Small motions, $\frac{x_1}{x_0} < 0.10$

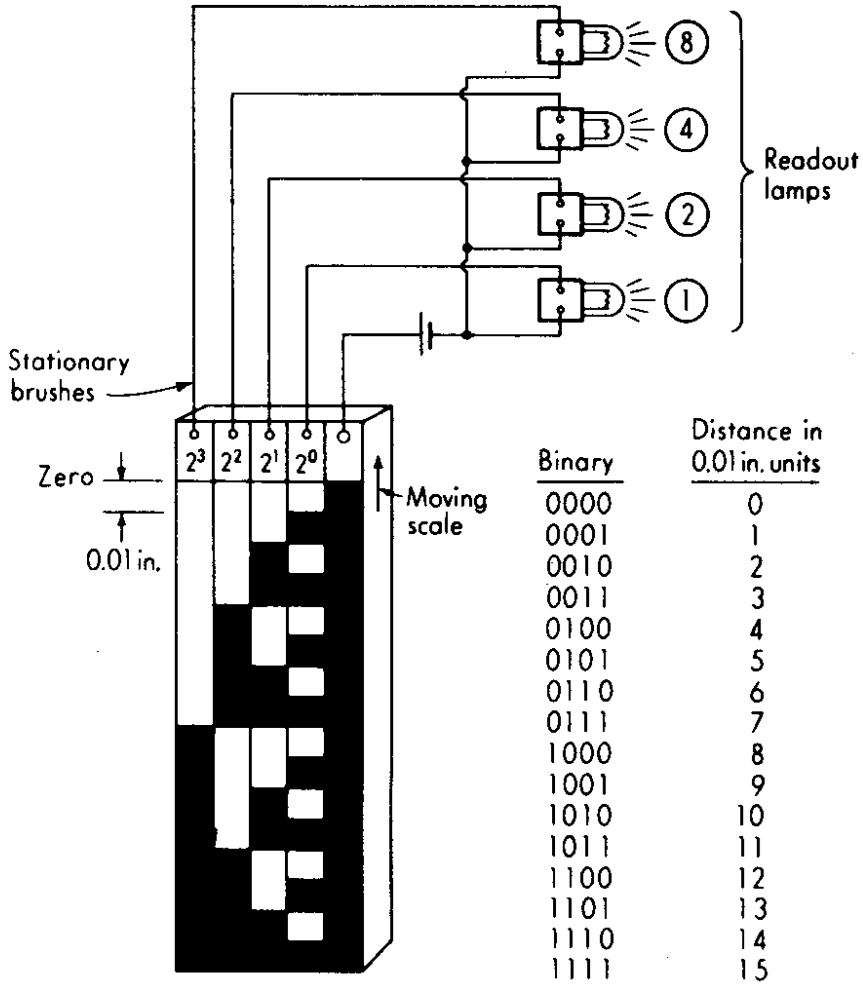


$$\frac{e_1}{x_1}(i\omega) = \frac{Ki\omega\tau}{i\omega\tau + 1}$$

Medidor de pressão capacitivo



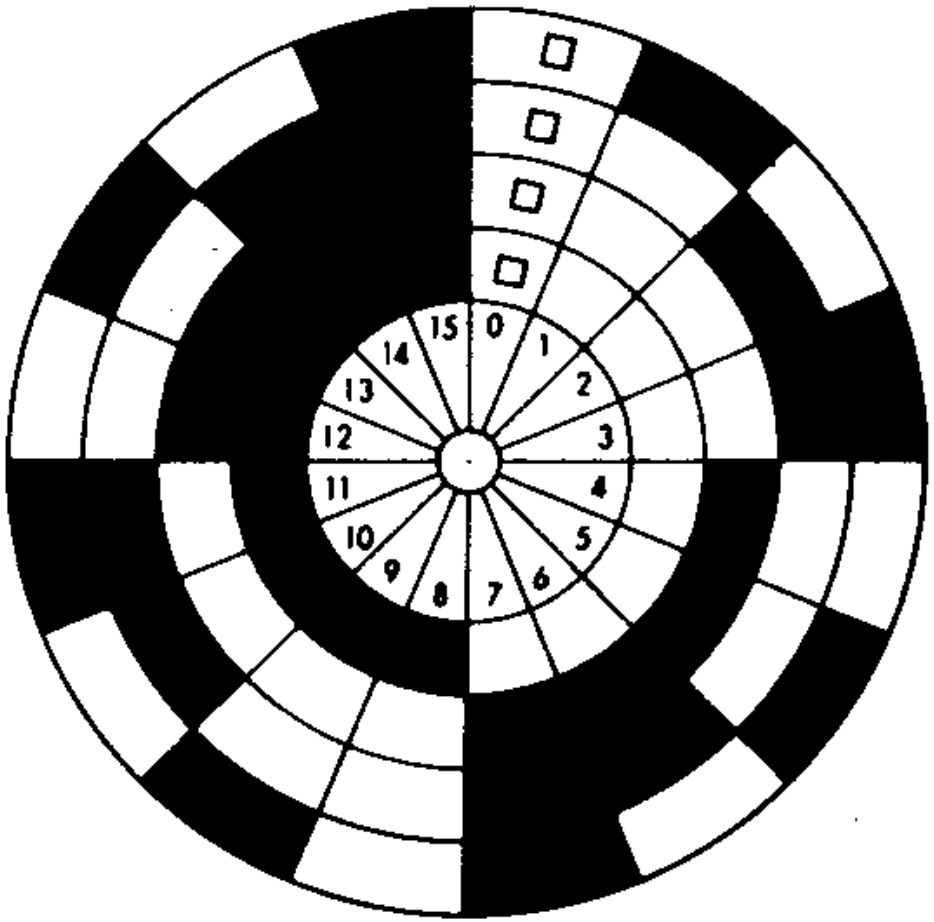
Codificador binário linear



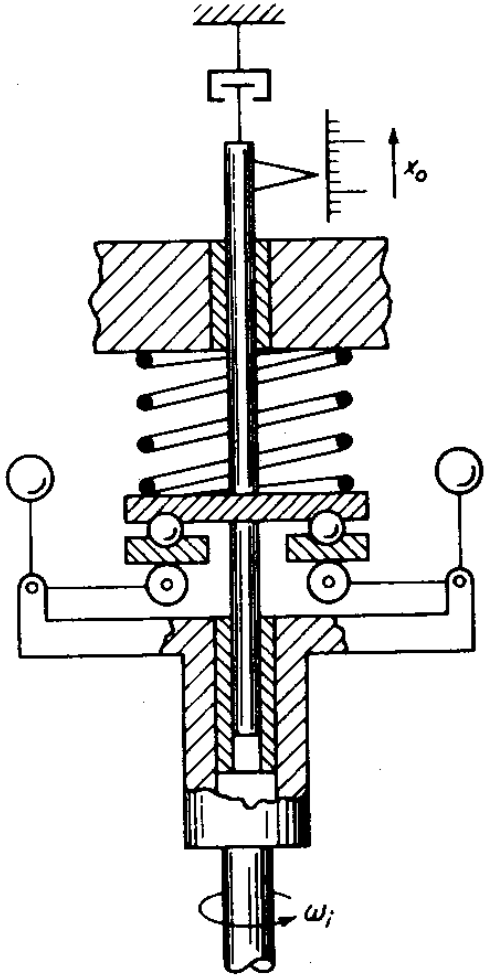
Binary	Distance in 0.01 in. units
0000	0
0001	1
0010	2
0011	3
0100	4
0101	5
0110	6
0111	7
1000	8
1001	9
1010	10
1011	11
1100	12
1101	13
1110	14
1111	15

Black → Common conductor
White → Insulator

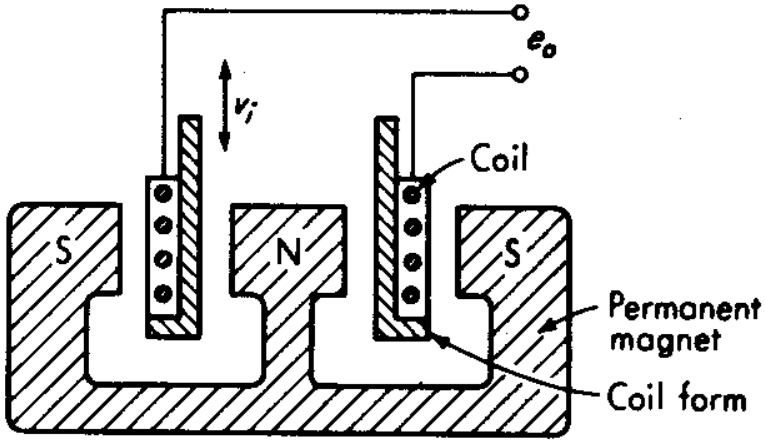
Codificador binário angular

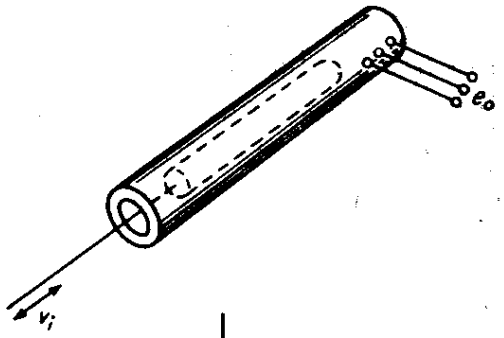


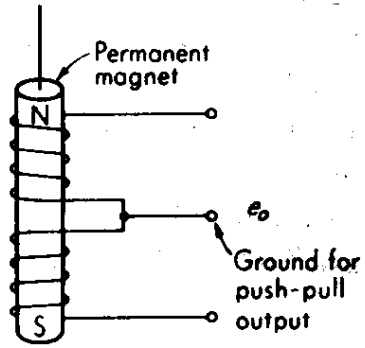
Medidor de rotação por pêndulo de Watt.

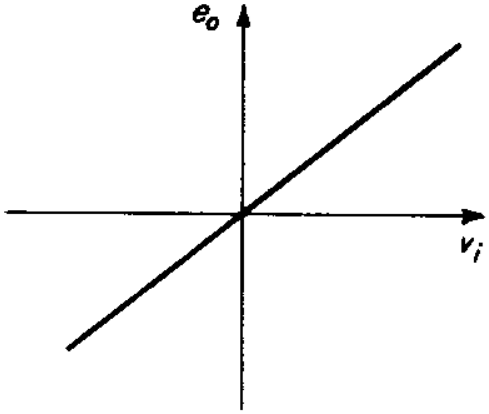


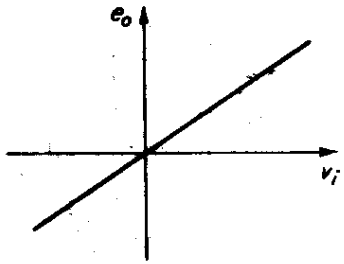
Transdutor magnético



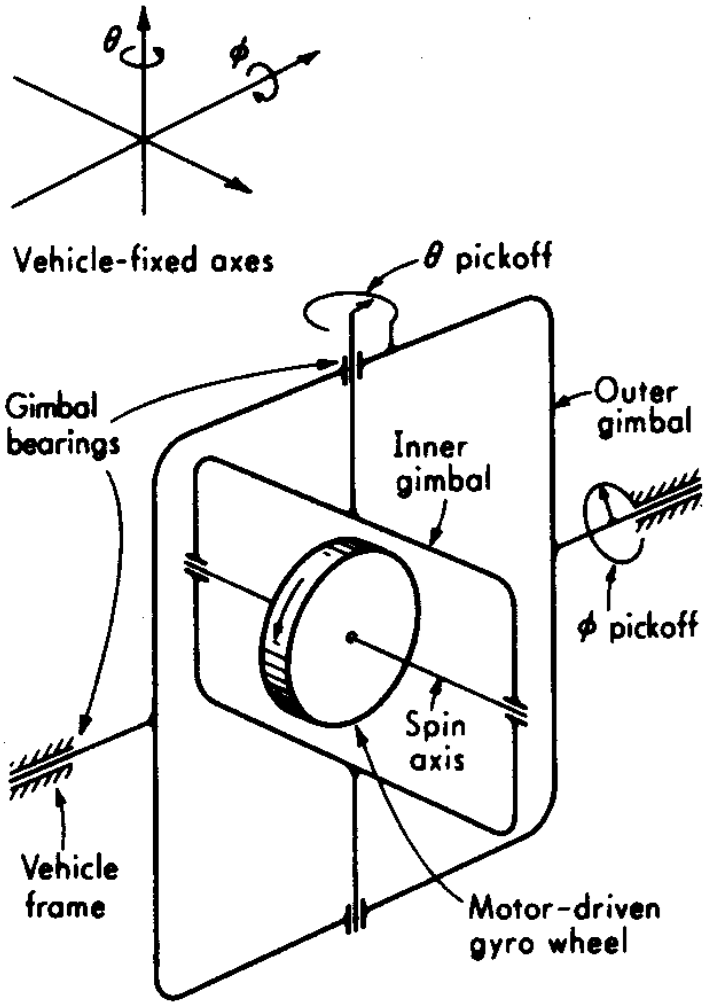




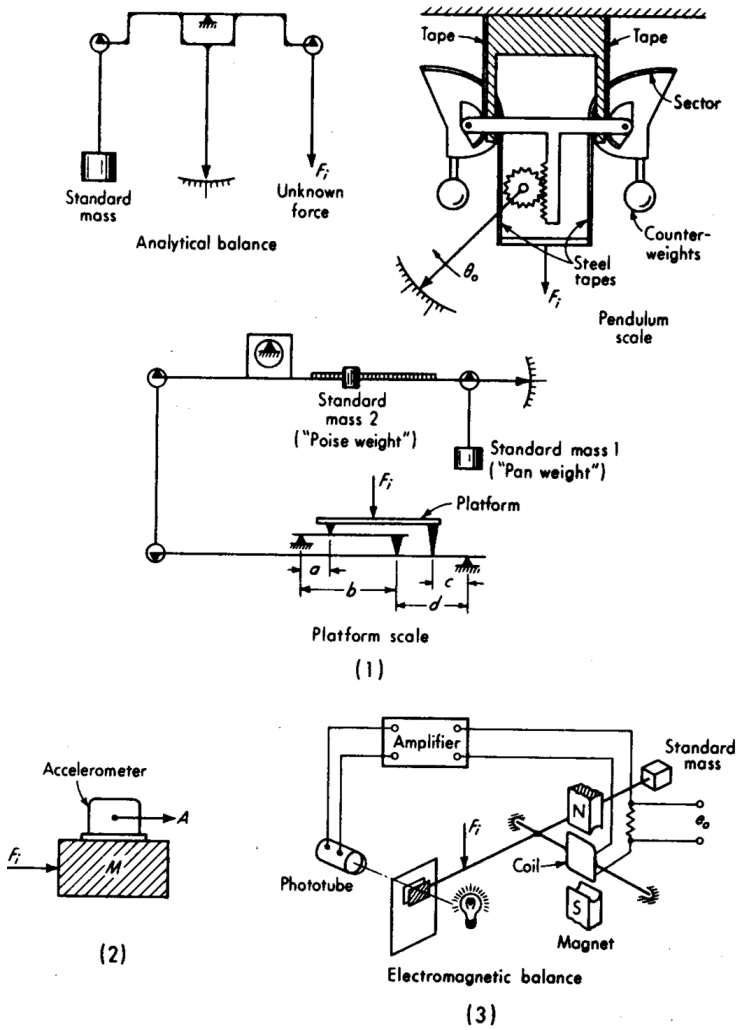




Giroscópio mecânico



Tipos de balanças



Métodos fotográficos

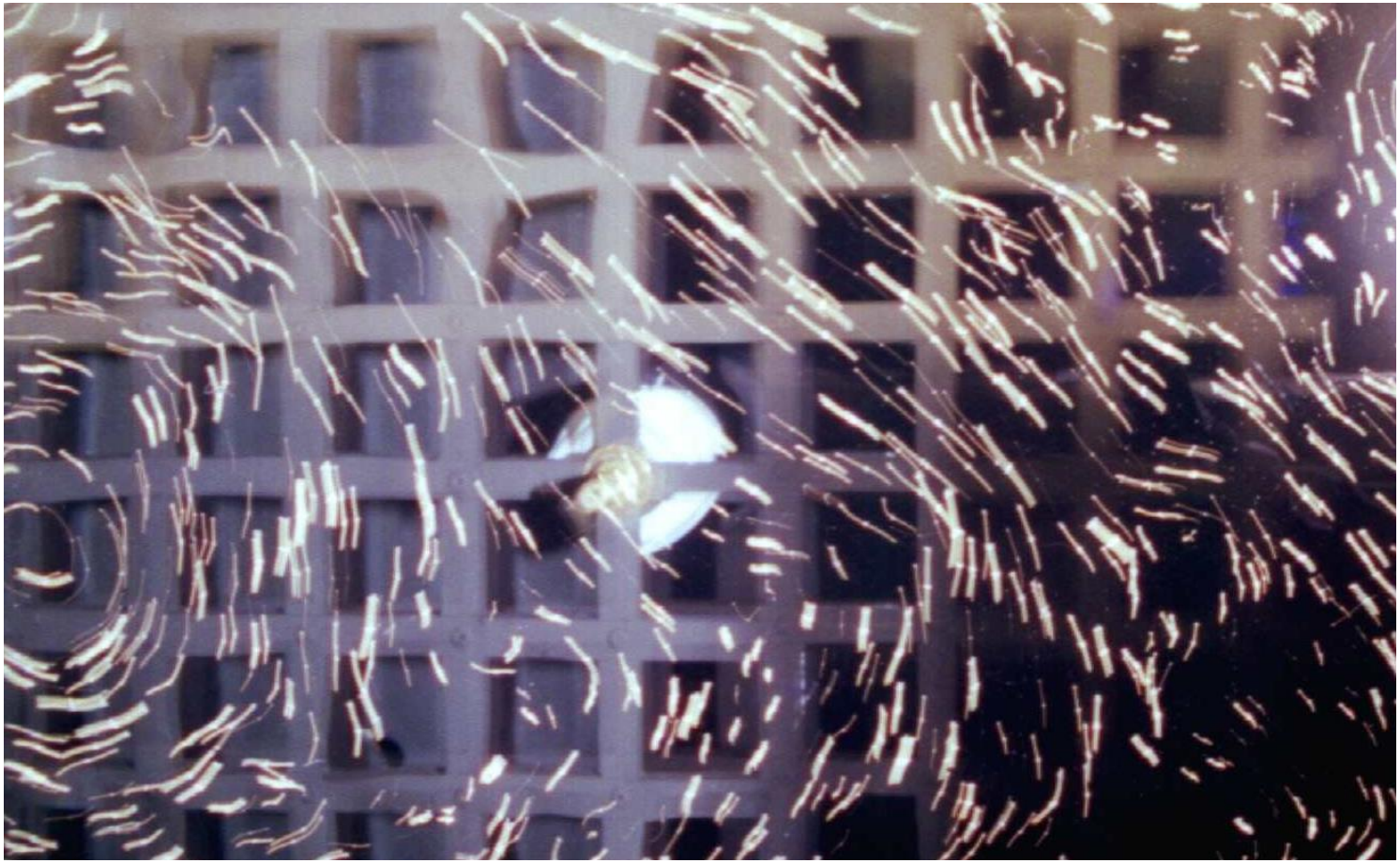
Conhecido como método de acompanhamento de partículas (particle tracking method).

- Consiste em obter fotografia com tempo definido de seção do escoamento. O escoamento necessita de partículas (seeding) e iluminação da seção do escoamento. É usual o disparo de flash na abertura do diafragma da máquina. Como as partículas estão bem iluminadas elas marcam a trajetória no filme durante o tempo de abertura.

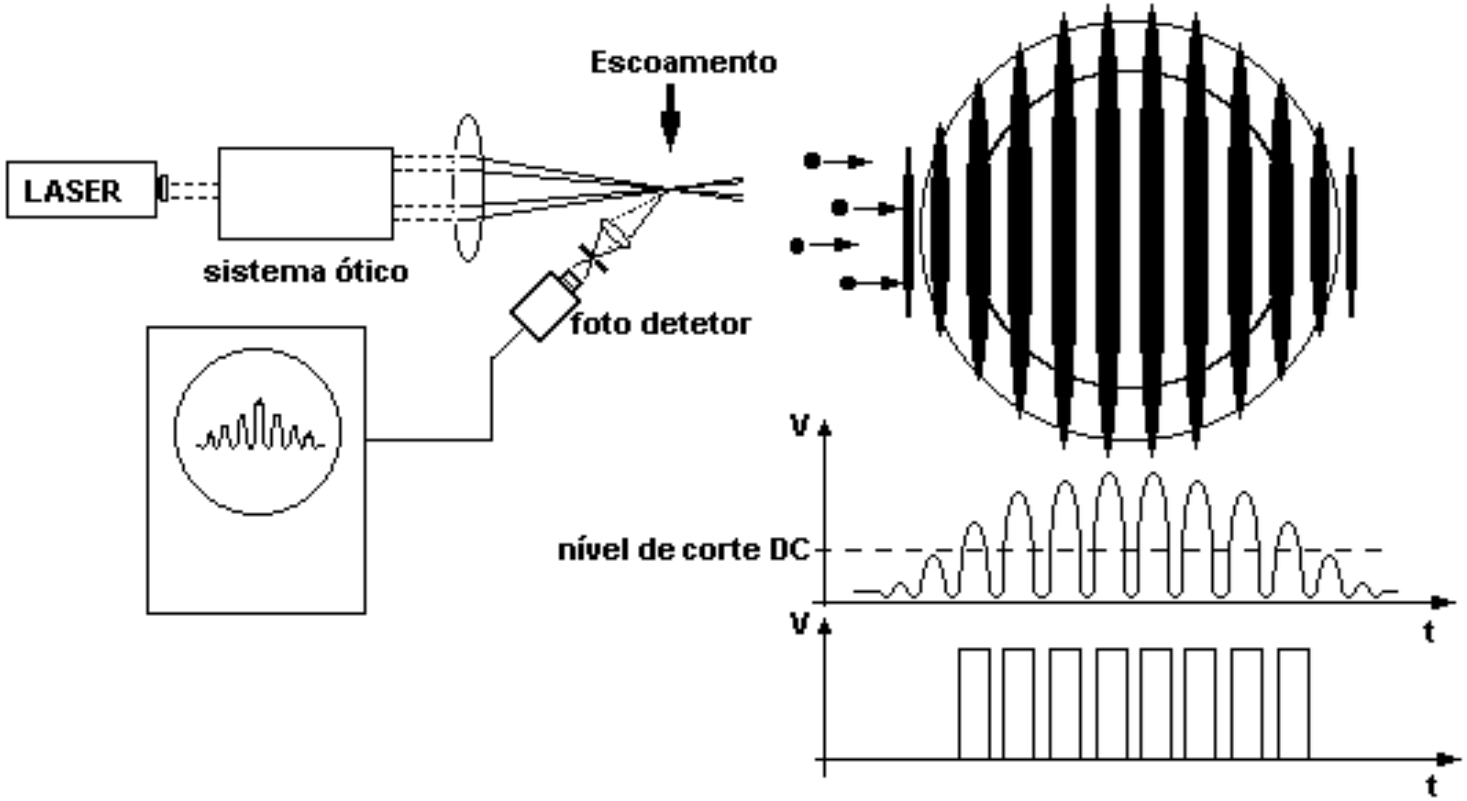
Trilhagem de partículas

- O flash marca o inicio do movimento. A medida do comprimento do traço e conhecido o tempo de abertura calcula a velocidade.
- A foto ilustra uma tomada fotográfica do escoamento de uma superfície turbulenta de água.

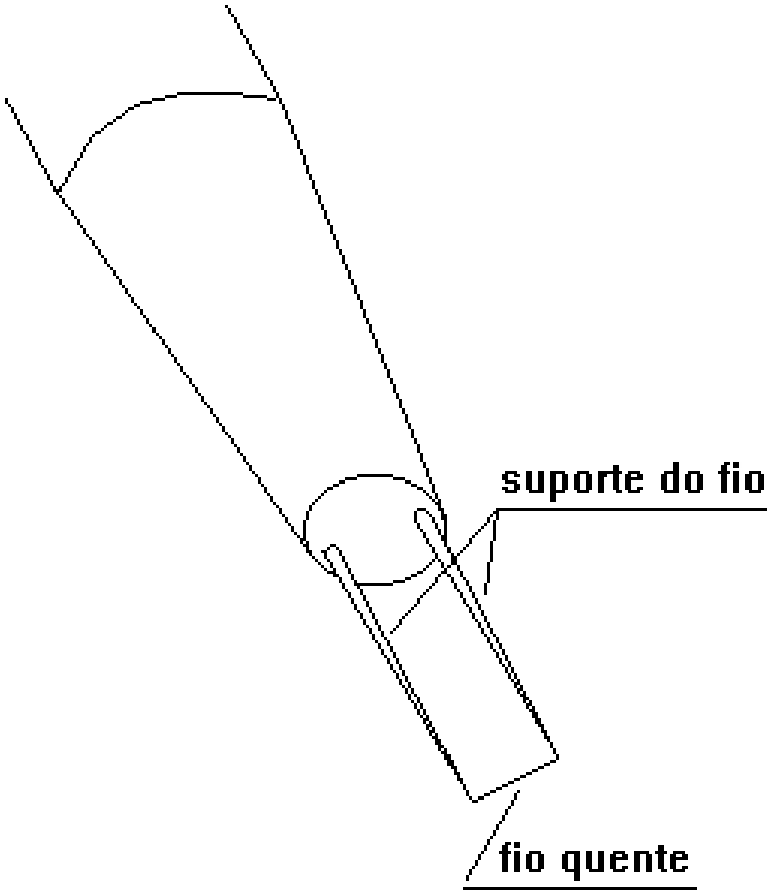
Outro exemplo



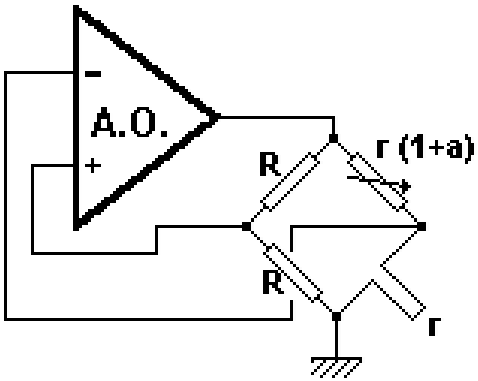
Velocimetria Laser



Anemômetro de fio quente



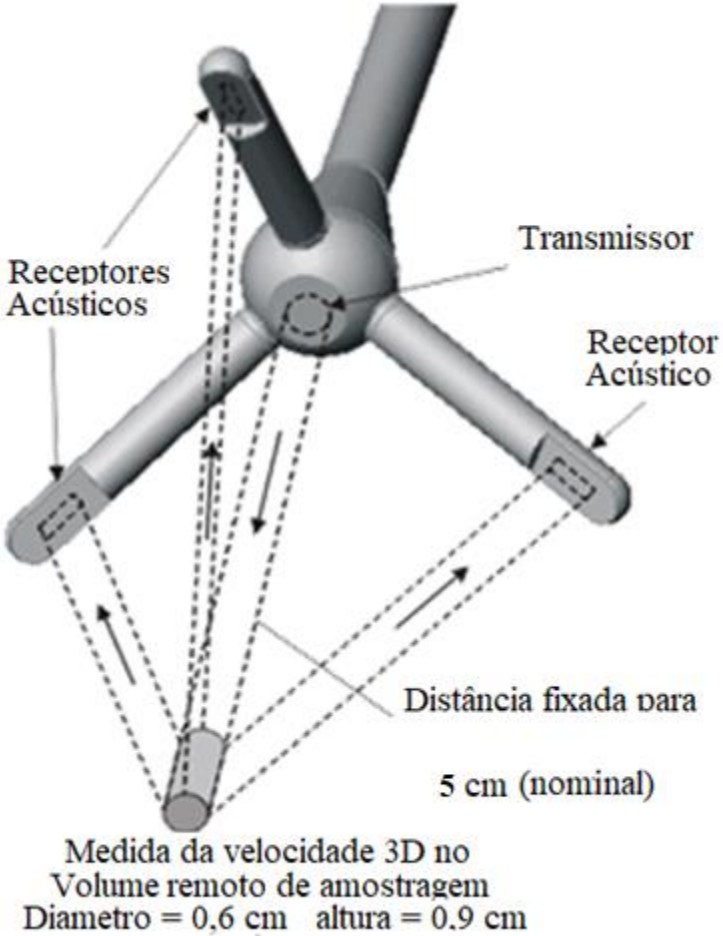
Anemômetro de Temperatura Constante



r- resistência da sonda
a- fator de sobreaquecimento

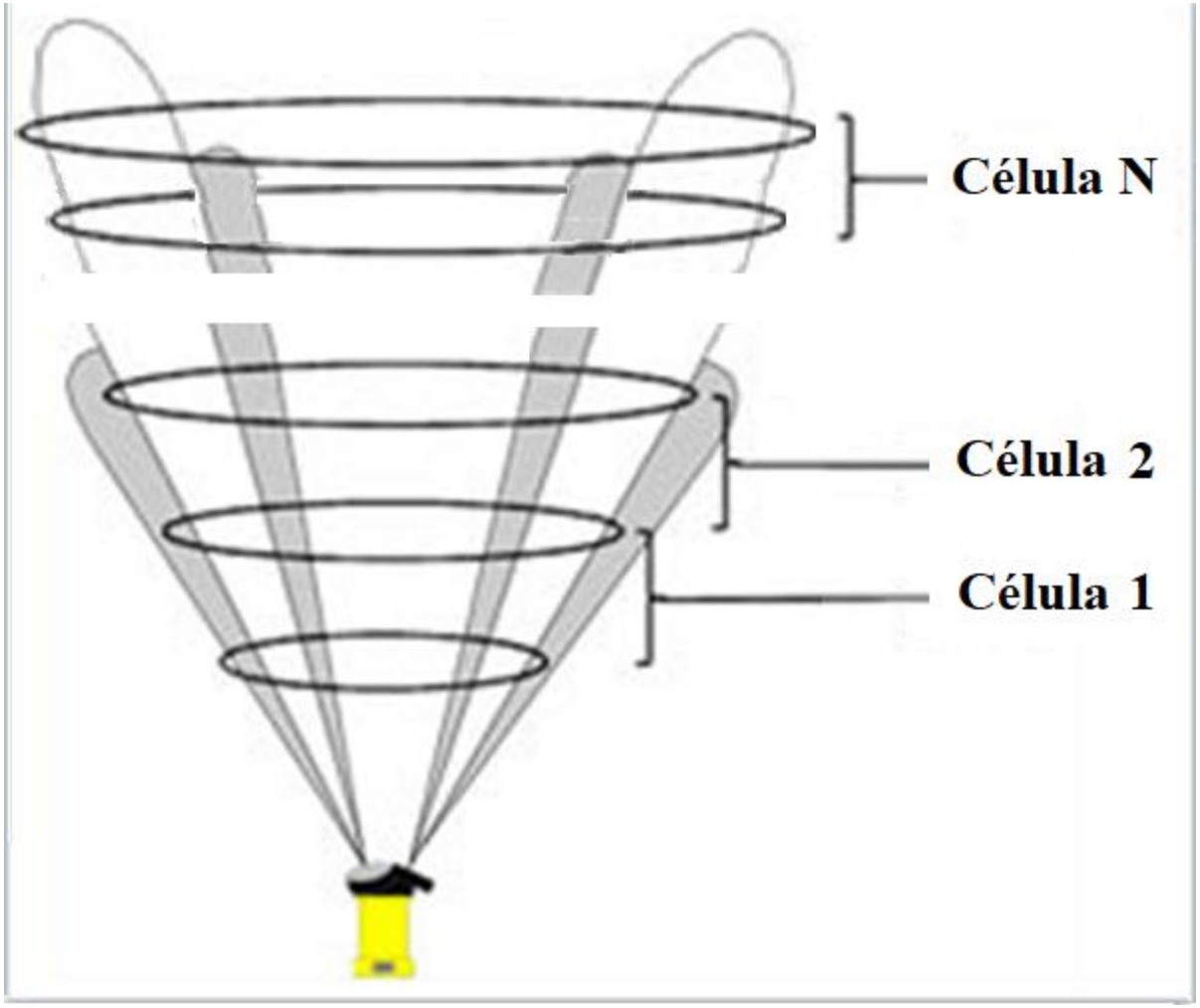
Métodos Sônicos

- Micro adv



Métodos Sônicos

- Perfilador

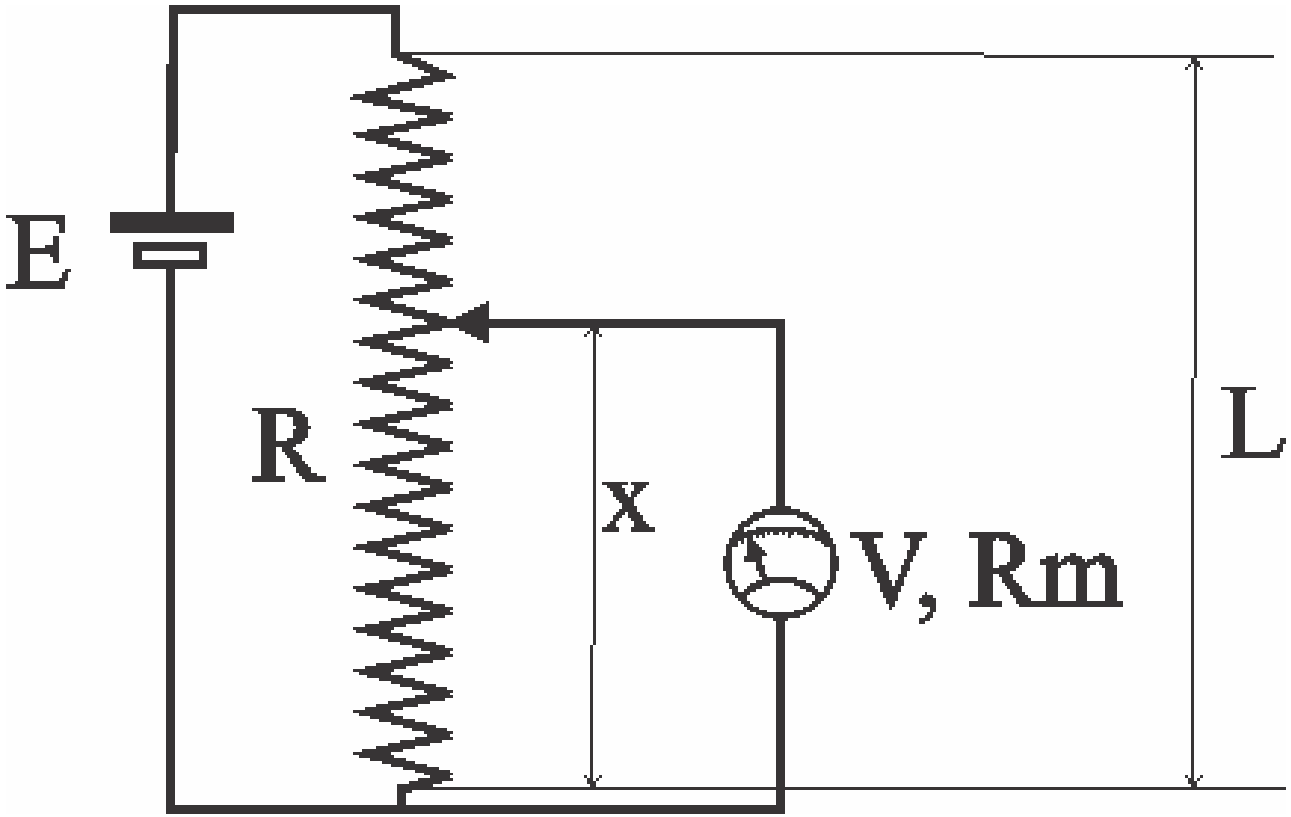


Medida de distância por potenciômetro resistivo

Aula Prática

- Montar de um sistema para medir distância com resistor deslizante linear, e levantar a curva de calibração.
- Utilizar:
  - multímetro digital na função voltímetro,
  - um multímetro analógico e
  - um voltímetro analógico de painel, construído a partir de um miliamperímetro.
- Verificar o efeito da carga devido a impedância do instrumento.

Medida de distância por potenciômetro resistivo

Aula Prática

Esquema do circuito de medida