

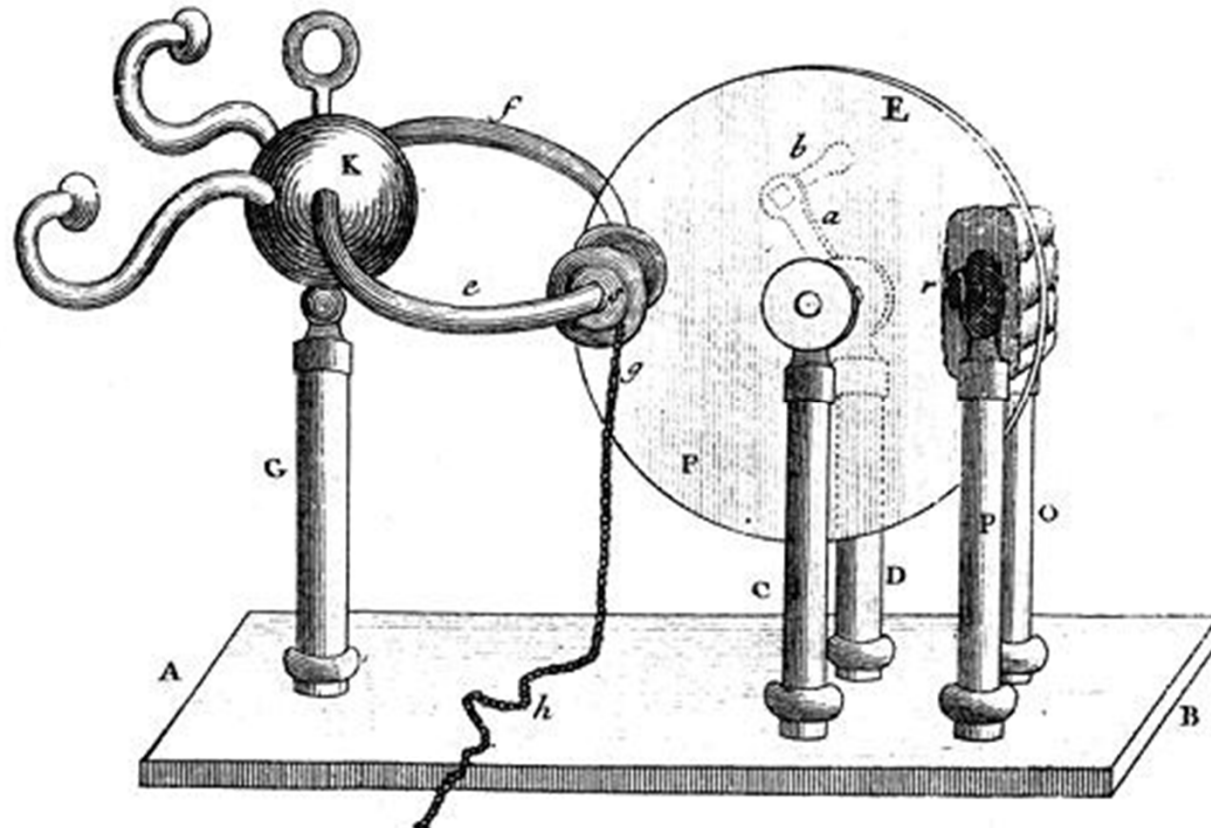
UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA – UFV  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS – CCE  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA - DEL

# **Medidas Elétricas e Magnéticas**

## **ELT210**

**AULA 06 – Instrumentos Eletrostáticos, de  
Ferro Móvel e Eletrodinâmicos**

**Prof. Tarcísio Pizziolo**



# 1. Instrumentos Eletrostáticos

# 1. Instrumentos Eletrostáticos

## Características do Conjugado Motor:

- é o resultado da ação de um campo elétrico, criado pela tensão a medir, entre duas armaduras planas condutoras.
- uma das armaduras é fixa e a outra é móvel.
- a interação entre as duas tenderá a aumentar a capacitância do capacitor variável assim constituído.
- o dielétrico é o próprio ar.

## Tipos de instrumentos eletrostáticos:

- de atração
- de quadrante.

**Nota: a capacitância é diretamente proporcional à área e inversamente proporcional à distância entre as placas.**

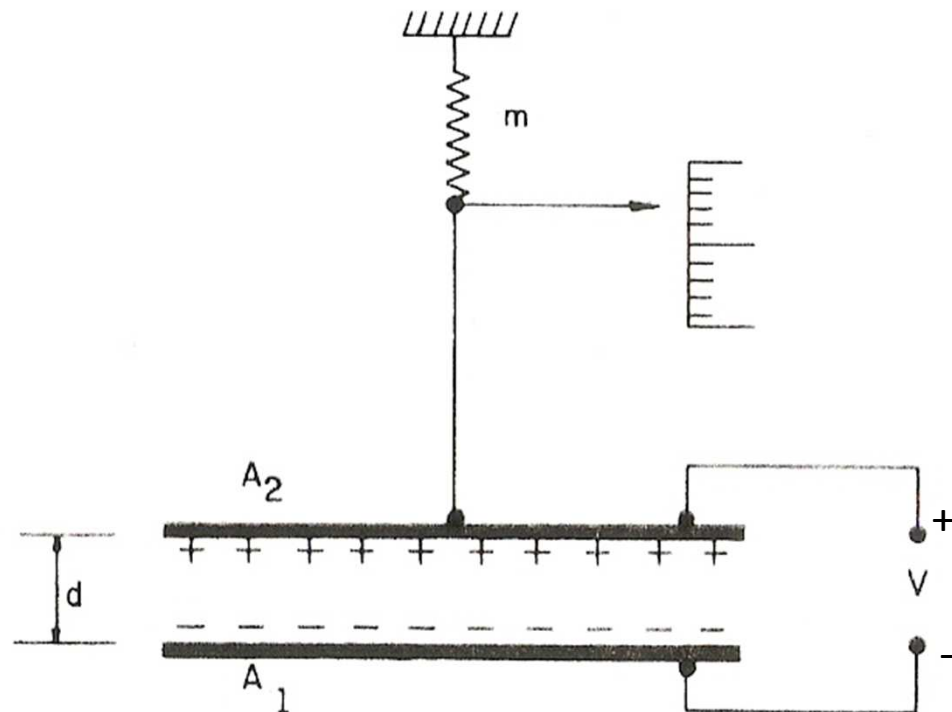
## Aplicações:

- São usados essencialmente como **voltímetros**;
- Pequena perda própria (**não tem bobina**);
- Independe da frequência, podendo ser até  **$10^6$  Hz**;
- Instrumento de precisão, uso quase **exclusivo em laboratórios**.

# 1. Instrumentos Eletrostáticos

## 1.1. Instrumentos de Atração

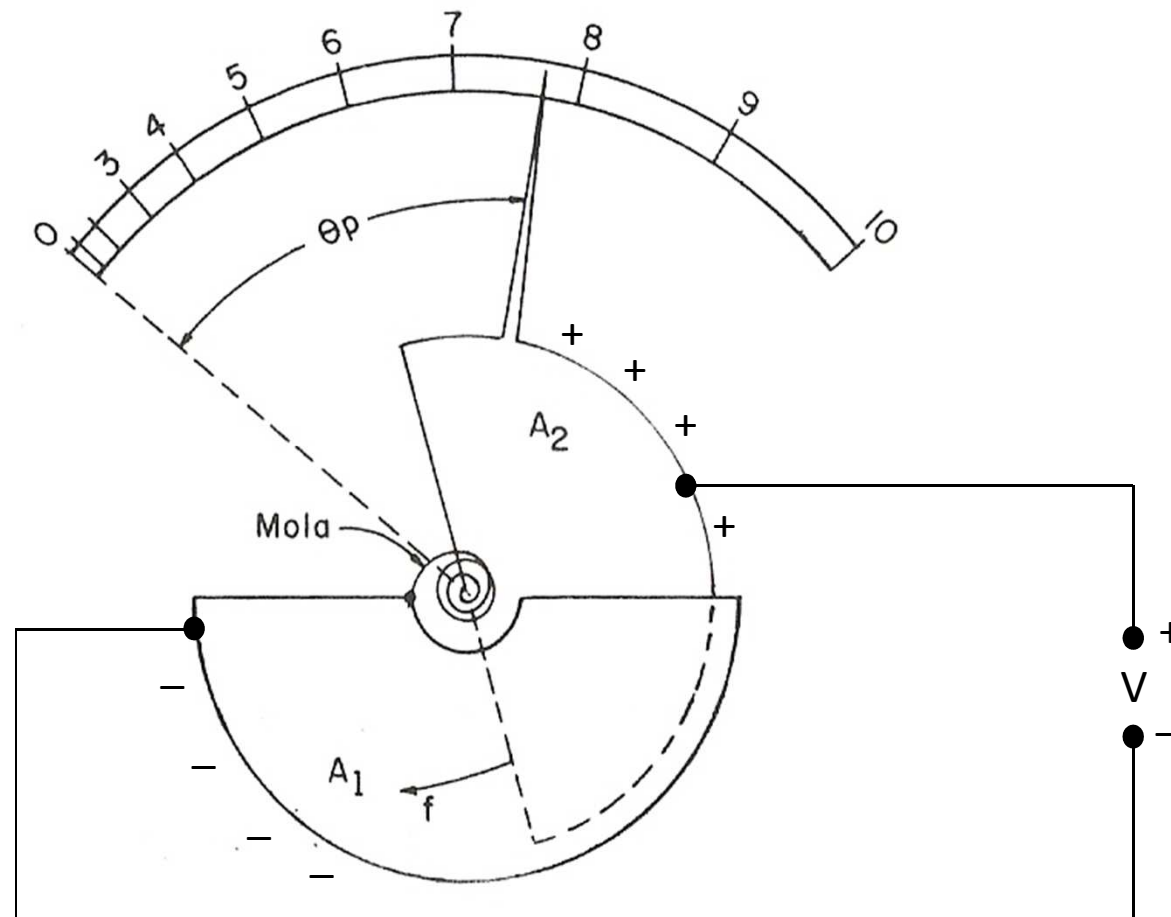
- a placa  $A_1$  é fixa e a placa  $A_2$  é móvel
- a mola gera o conjugado antagonista.
- quando uma tensão é aplicada nas placas elas são carregadas com sinais opostos originando uma força de atração entre elas, com isso a capacitância aumenta devido a redução de “ $d$ ”.



# 1. Instrumentos Eletrostáticos

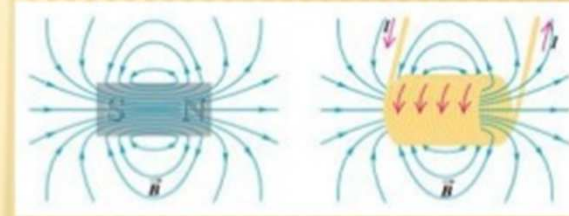
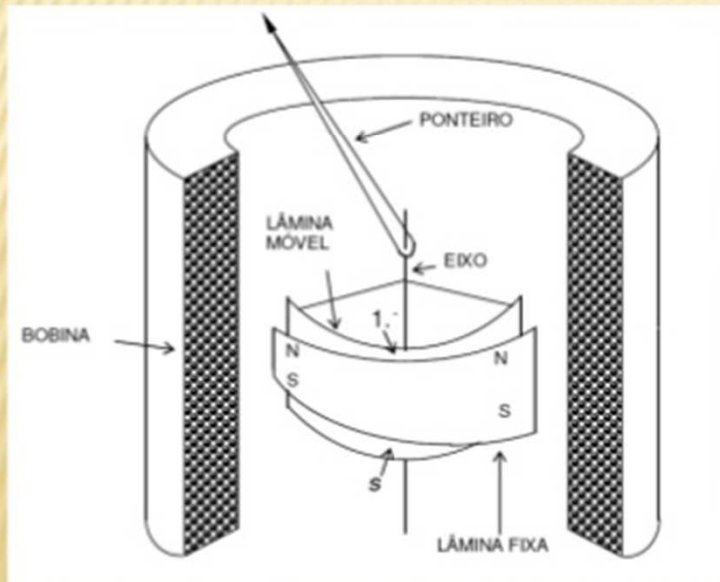
## 1.2. Instrumentos de Quadrante

- de forma similar ao de atração , a placa  $A_1$  é fixa e a  $A_2$  é móvel.
- a força de atração tende a girar a placa  $A_2$  aumentando a área comum às duas placas e consequentemente aumentando a a capacitância.



## INSTRUMENTOS DE FERRO MÓVEL - REPULSÃO DE LÂMINAS CONCÊNTRICAS

• Supor corrente circulando na bobina no sentido anti-horário.



## 2. Instrumentos de Ferro Móvel

## 2. Instrumentos de Ferro Móvel

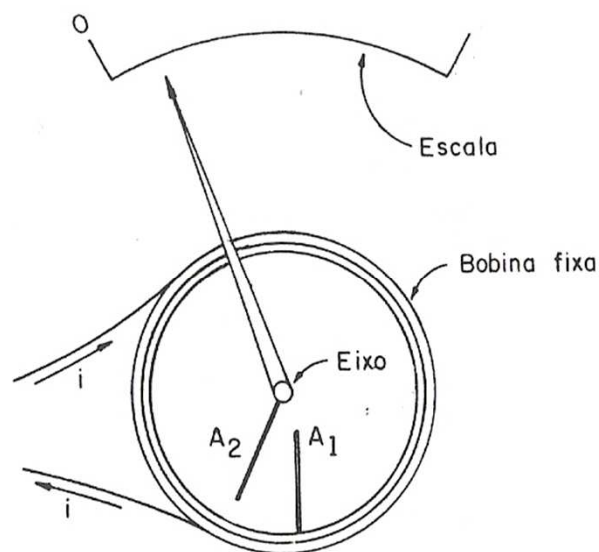
### Princípio de Funcionamento:

- é baseado na ação do campo magnético, criado pela corrente a medir percorrendo uma bobina fixa, sobre uma peça de “ferro doce” móvel.

### Principais Tipos:

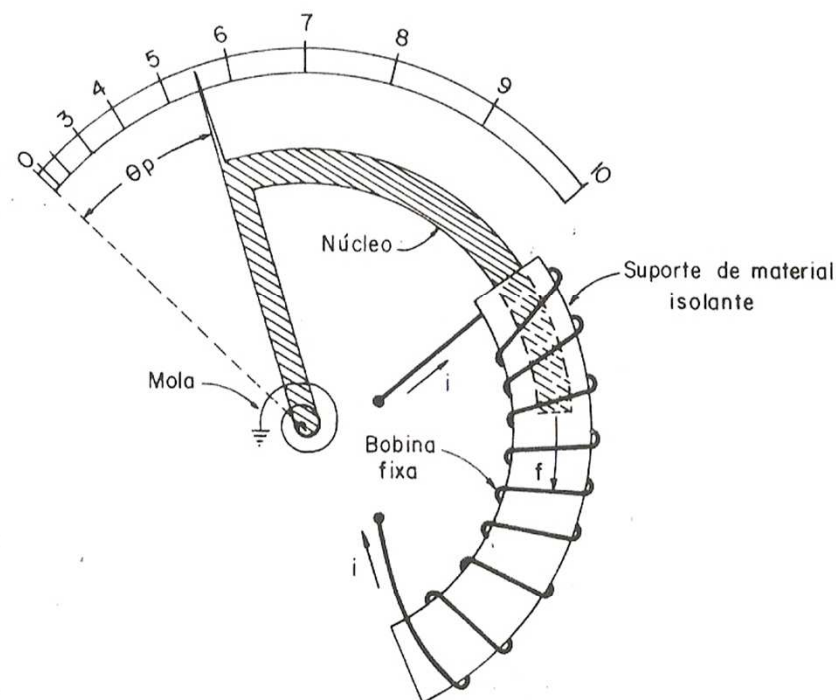
- de atração ou **Núcleo Mergulhador**.

- de repulsão ou **Palheta Móvel**.



### Palheta Móvel

A corrente  $i$  circula na bobina fixa e induz a mesma polaridade nas duas placas gerando força de **repulsão** entre as duas. A placa A<sub>1</sub> é fixa.



### Núcleo Mergulhador

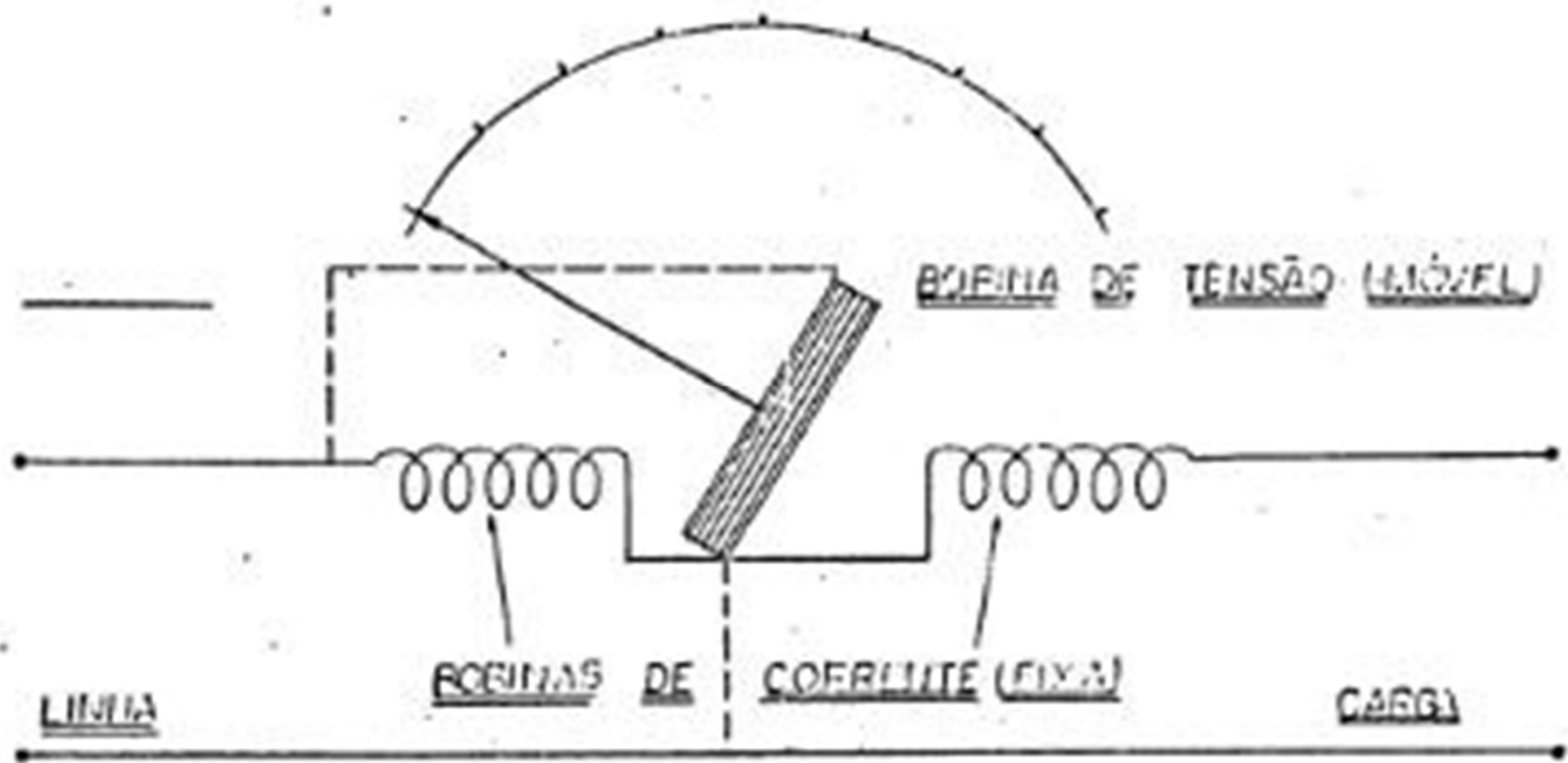
A corrente  $i$ , origina na bobina uma polaridade que **atrai** o núcleo de “ferro doce”.

## 2. Instrumentos de Ferro Móvel

### Aplicações:

- Podem ser usados tanto como **amperímetro** quanto **voltímetro**;
- Perda própria relativamente **alta**;
- Indicações em **corrente alternada** relativamente mais baixa que as de **corrente contínua**, devido a **magnetização** ser mais fraca;
- Uso **limitado a frequências até 200 Hz**, devido as **perdas próprias** e por **corrente de Foucault**.

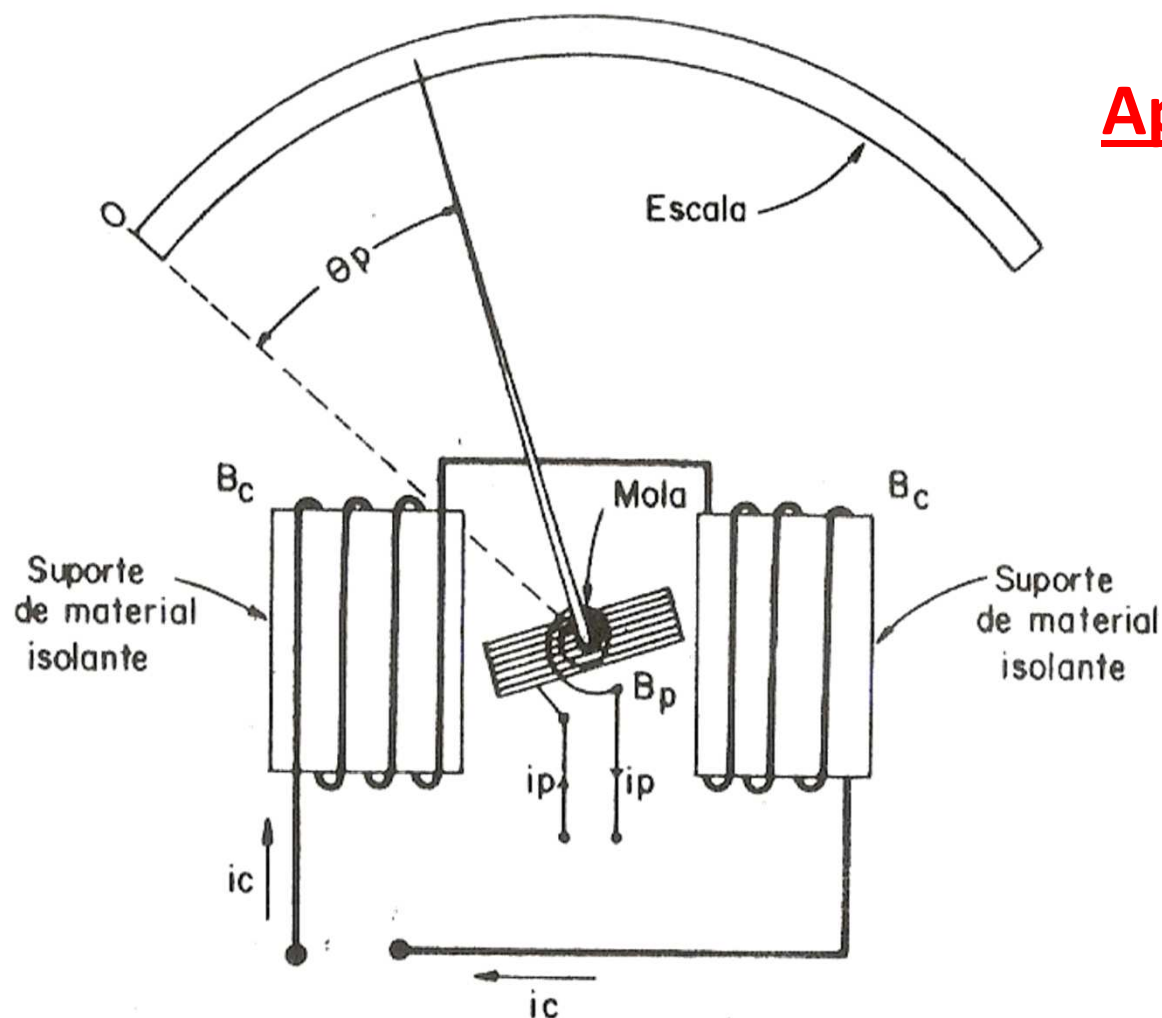




### 3. Instrumentos Eletrodinâmicos

### 3. Instrumentos Eletrodinâmicos

O movimento do conjunto móvel (bobina  $B_p$ ), resulta da interação entre o campo magnético, criado pela corrente  $i_c$ , e a corrente  $i_p$  da bobina  $B_p$ . O seu funcionamento é idêntico ao **instrumento de bobina móvel**, sendo o ímã permanente substituído por  $B_c$  (CA ou CC).



### Aplicação: Wattímetro





## 4. Medição de Potência

### 3. Potência Elétrica

- Motores, transformadores e outros equipamentos **consomem** energia elétrica para a sua operação.
- A relação entre **energia elétrica** e o **tempo de seu consumo** ou fornecimento é denominada **potência elétrica**.

### 3.1. Potências e Fator de Potência

- A **energia total** absorvida por uma máquina é denominada **aparente** e se compõe de duas parcelas distintas, a **ativa** e **reativa**.
- A **energia ativa** é aquela que efetivamente realiza **trabalho** gerando calor, luz, movimento, etc.
- A **energia reativa** gera o **campo magnético** existentes nos motores de indução.

### 3.1. Potências e Fator de Potência

- Surge o conceito de Potência Aparente (S), Ativa (P) e Reativa (Q):

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

- A **relação** entre potência **ativa** e **aparente** é denominada **fator de potência** ( $\cos \varphi$ ):

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

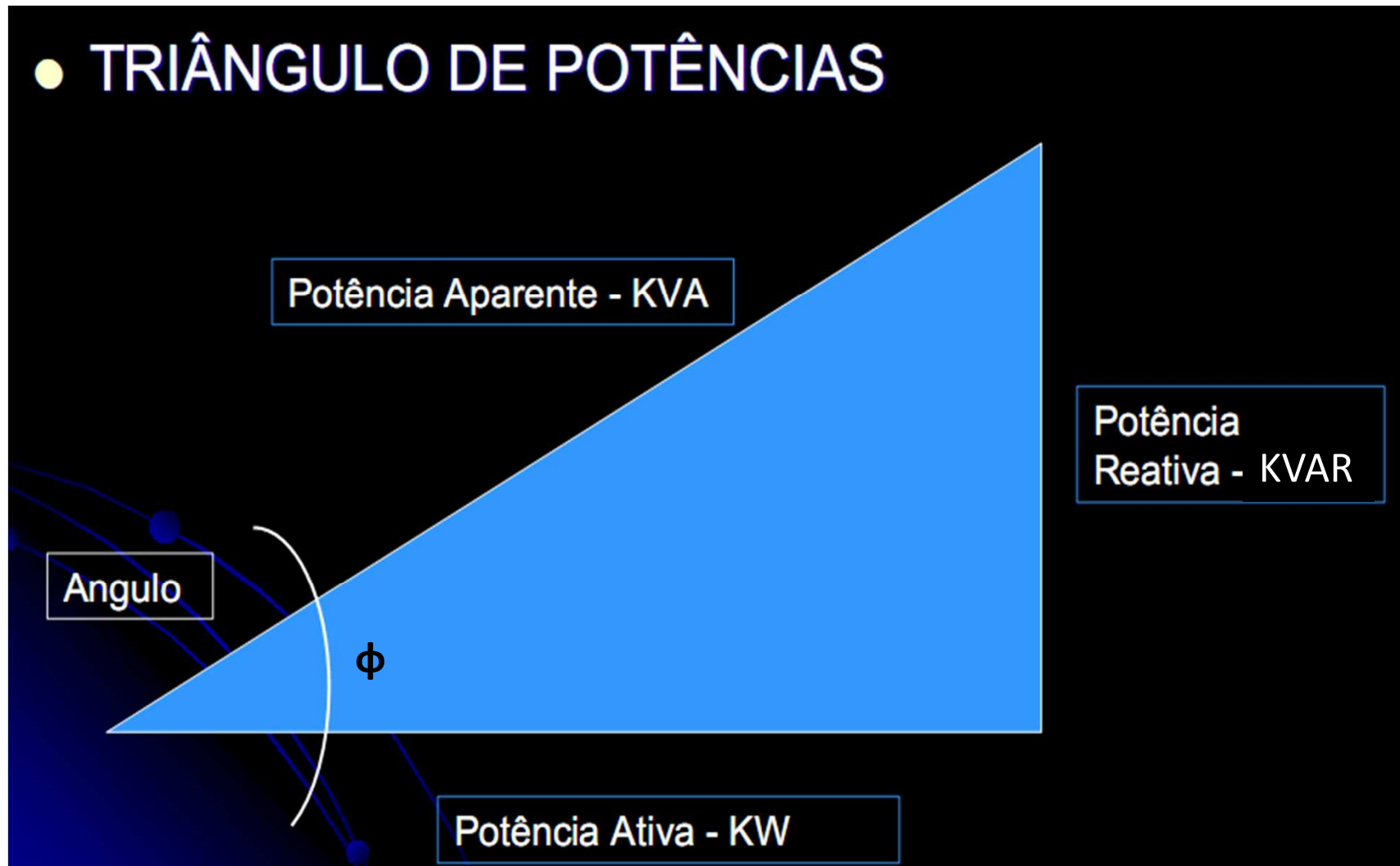
$$P = S \cos \varphi$$

e

$$Q = S \sin \varphi$$

### 3.2. Triângulo das Potências

**POTÊNCIA APARENTE:** é a resultante da soma fasorial das potências ativa e reativa. É medida em **kVA**.



### 3.3. Cálculo da Potência Aparente

- A Potência **aparente** ainda pode ser dada por:

$$S = U.I \text{ , sistema } \textbf{monofásico}$$

$$\boxed{S = \sqrt{3} U I} \text{ sistema } \textbf{trifásico}$$

- Sendo ***U*** a tensão do equipamento ou sistema e ***I*** a sua corrente.



### 3.4. Cálculo das Potências Ativa e Reativa

- Desta forma, as potências ativa e reativa monofásicas são, respectivamente:

$$P = U I \cos \varphi$$

$$Q = U I \sin \varphi \quad (\text{VAr})$$

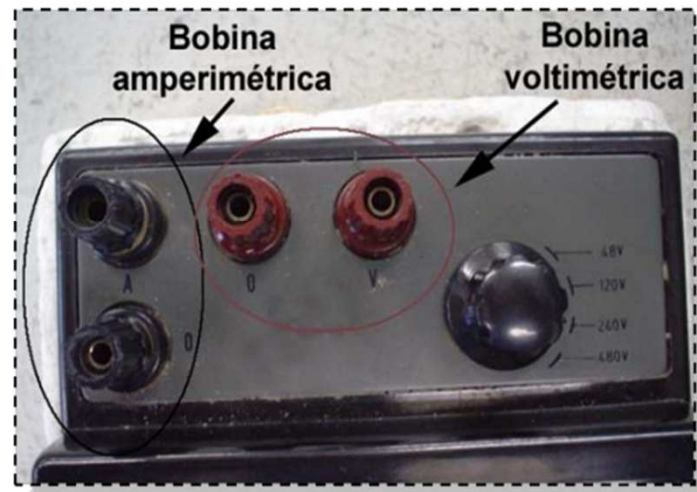
- E trifásicos:

$$P = \sqrt{3} U I \cos \varphi$$

$$Q = \sqrt{3} U I \sin \varphi$$

### 3.5. Medição da Potência Ativa - Wattímetro

- Para se medir potência é necessário medir **tensão** e **corrente**.
- Os wattímetros apresentam uma **bobina** dimensionada para receber corrente (**bobina amperimétrica**)
- Apresentam também uma bobina para ser aplicada a tensão do circuito (**bobina voltimétrica**)



### 3.5. Medição da Potência Ativa - Wattímetro

- É necessário a escolha de um **fundo de escala** conveniente para não queimar a bobina de tensão.



- Existem também os **wattímetros de painel**.



### 3.5. Wattímetro Digital

- Tensão e corrente são inicialmente **convertidas** para o domínio digital através de dois conversores A/D.
- O produto de ambas as saídas é efetuado por um multiplicador digital binário.

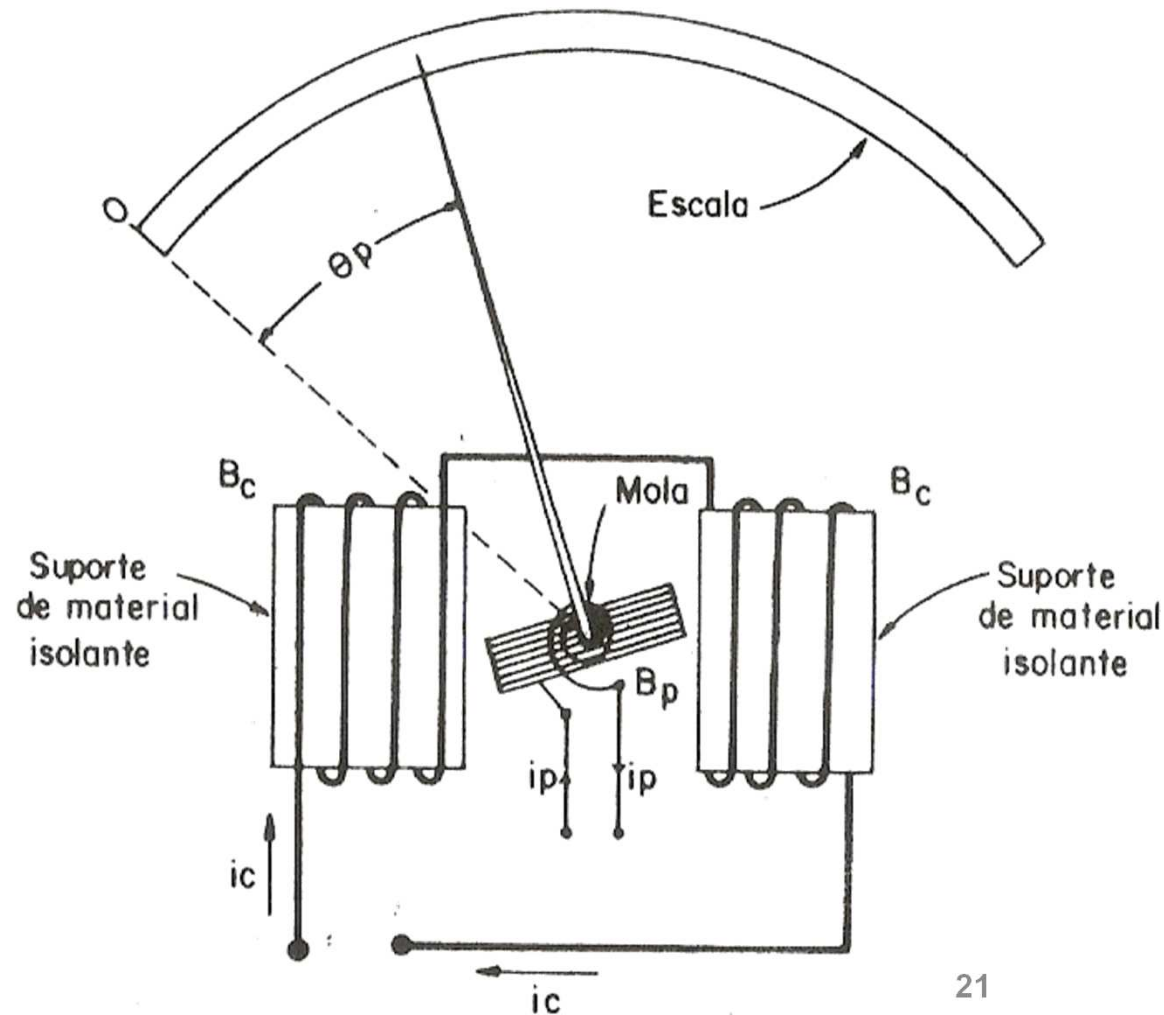


Wattímetros portáteis digitais

### 3.5. Medição da Potência Ativa - Wattímetro

#### Partes Constituintes:

1. Uma bobina fixa  $B_c$  constituída de duas meias bobinas idênticas.
2. Uma bobina móvel  $B_p$  à qual está preso o ponteiro, colocado entre as duas meias bobinas.



### 3.6. Esquema Elétrico do Wattímetro Analógico

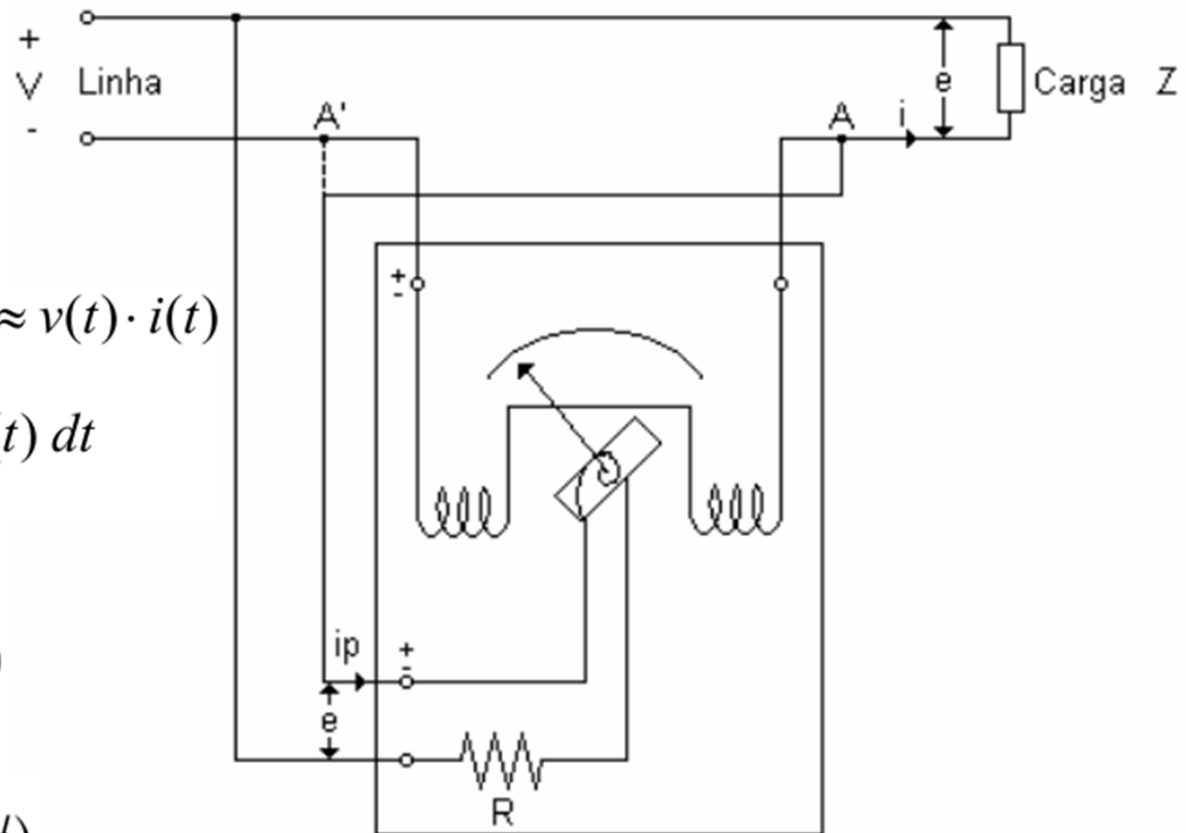
Conjugado motor instantâneo  $\approx v(t) \cdot i(t)$

$$\text{Conjugado médio} = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) \cdot i(t) dt$$

$$v(t) = \sqrt{2} \cdot V_{ef} \cdot \text{sen}(\omega t)$$

$$i(t) = \sqrt{2} \cdot i_{ef} \cdot \text{sen}(\omega t + \phi)$$

$$P_{media} = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) \cdot i(t) = V_{ef} \cdot i_{ef} \cdot \cos(\phi)$$



*Esquema básico de ligação de um wattímetro.*

### 3.7. Cálculo do Conjugado Motor

Em se tratando de um **instrumento eletrodinâmico**,  
o valor instantâneo do **conjugado motor (m)** é dado por:

$$m = k i_p i_c$$

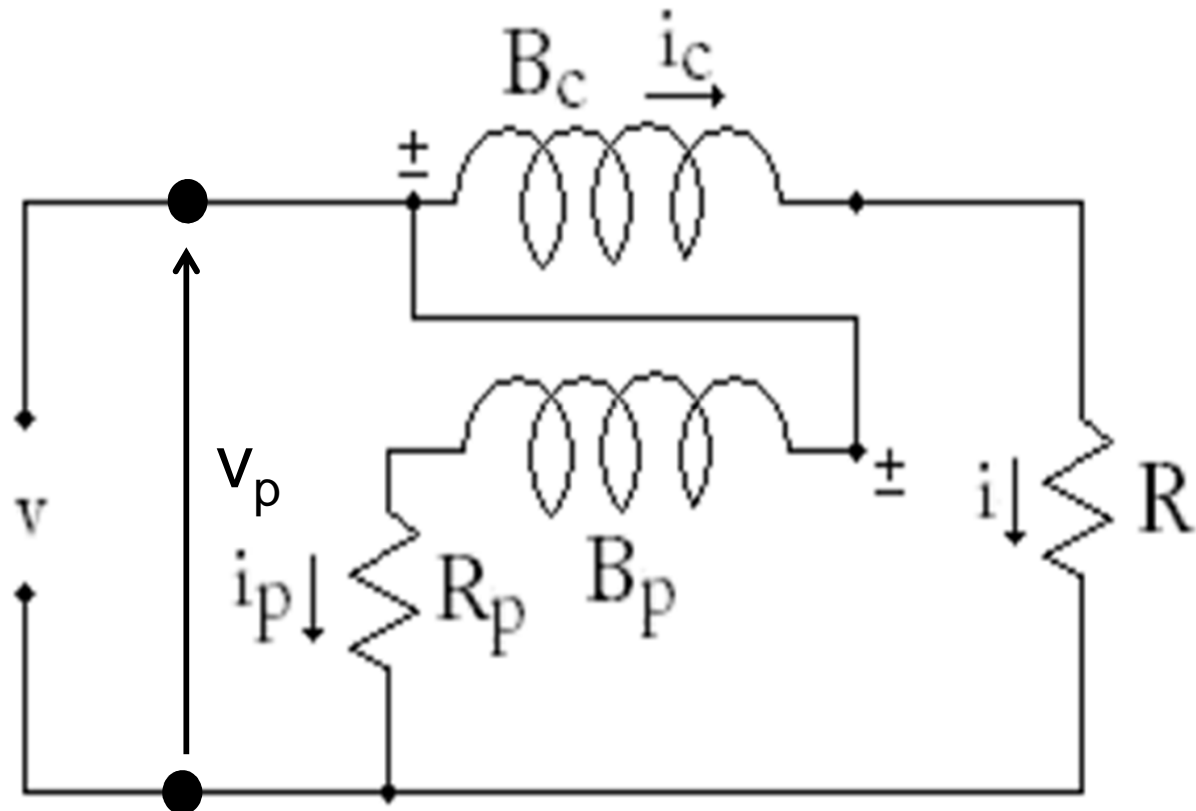
$$i_p = \frac{v_p}{R_p}$$

$$R_p \gg L_p$$

$$m = k \frac{v_p}{R_p} i_c$$

$$m = k_2 v_p i_c$$

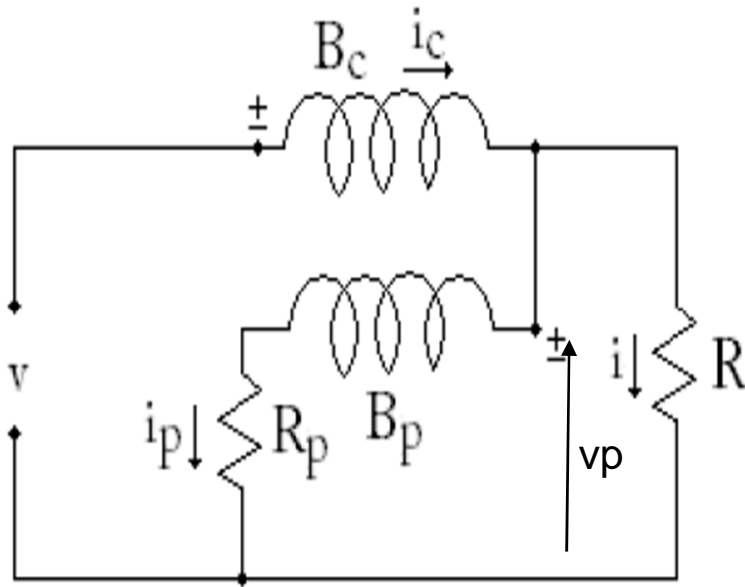
Onde  $K_2$  é uma constante do instrumento!



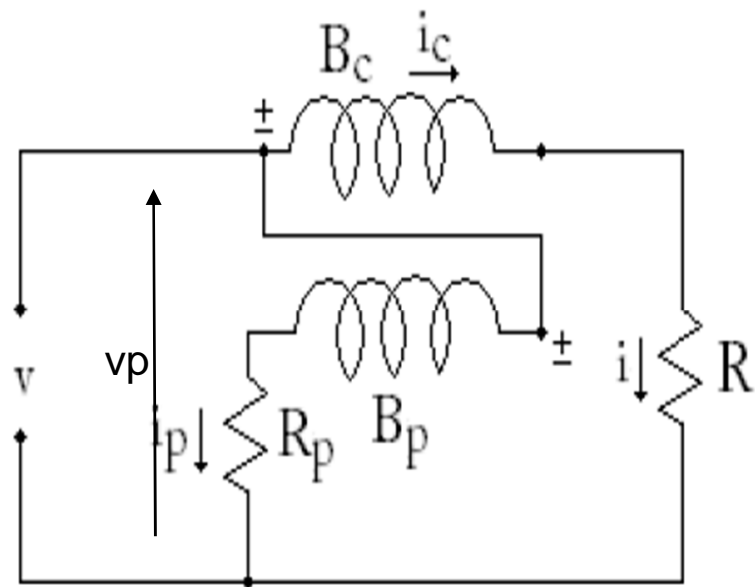


### 3.8. Erro Sistemático na Medição com Wattímetro

- Ou a bobina de corrente influencia na tensão da bobina de potencial, ou a bobina de potencial influencia na corrente da bobina de corrente.



$$i_c = i + i_p \quad v_p = v_R$$

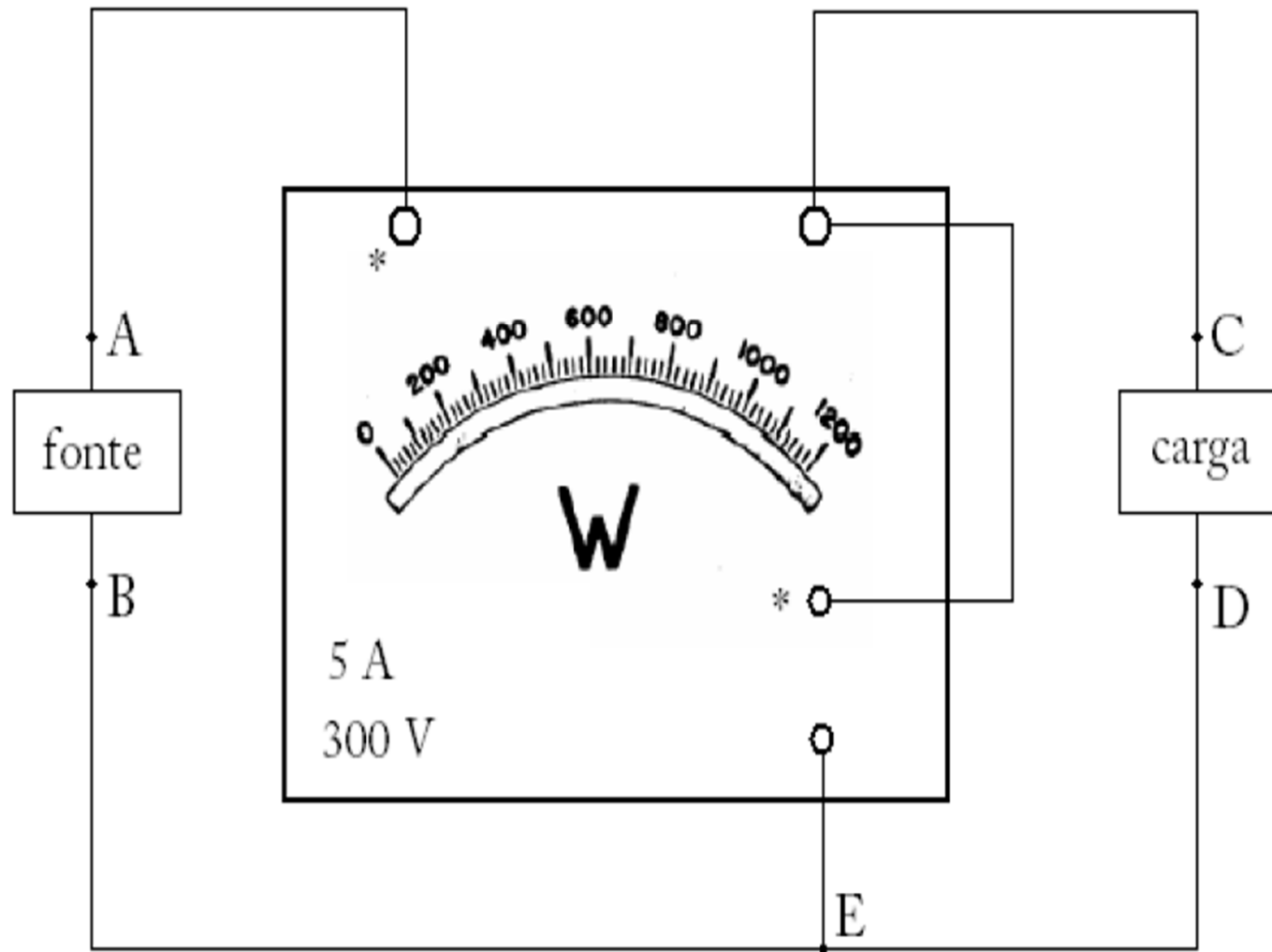


$$i_c = i \quad v_p = v_C + v_R$$

**Conclusão:** A indicação do Wattímetro é superior à potência da carga, havendo portanto um “**erro por excesso**”.



### 3.9. Método de Ligação do Wattímetro

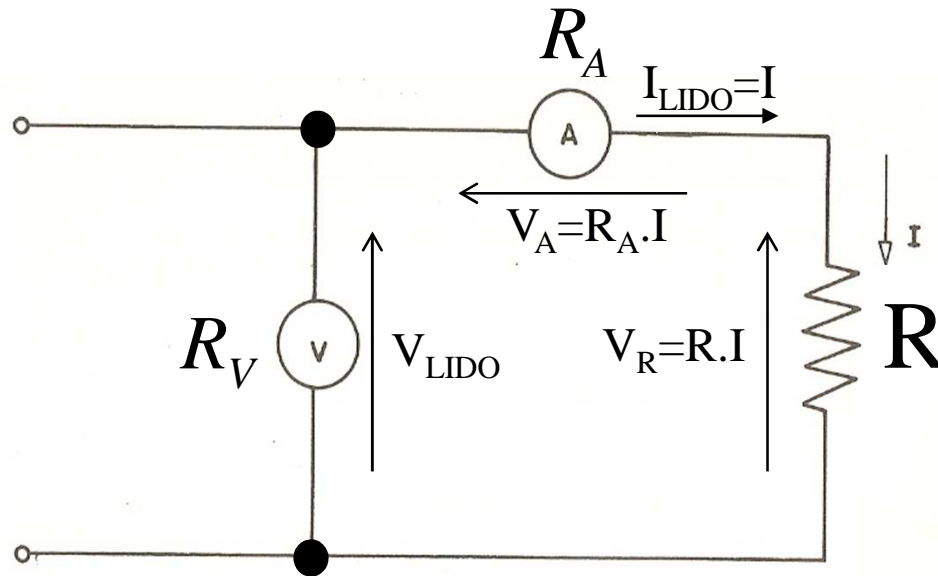


## 4. Medição de Potência em Circuitos CC

### 4.1. Utilizando um Voltímetro e um Amperímetro

$$P = VI$$

**Voltímetro em Longa Derivação (Voltímetro antes do Amperímetro)**



$$P_{LIDO} = V_{LIDO} I_{LIDO}$$

$$V_{LIDO} = R_A I + RI$$

$$I_{LIDO} = I$$

Então:

$$P_{LIDO} = (R_A I + RI) I$$

$$P_{LIDO} = RI^2 + R_A I^2$$

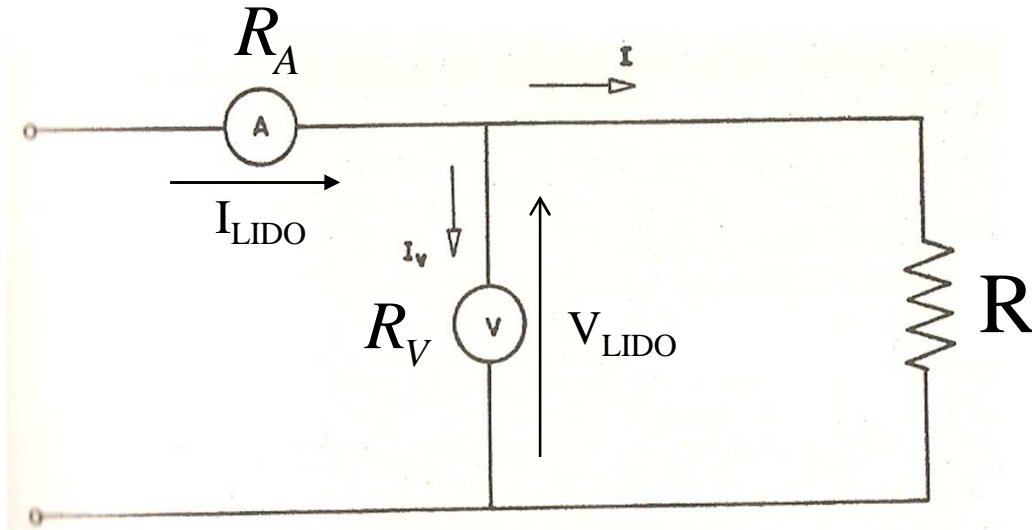
A potência **real** consumida é:

$$P_{real} = RI^2 = VI$$

O erro relativo será:

$$Erro = \left| \frac{P_{real} - P_{LIDO}}{P_{real}} \right| = \frac{R_A I^2}{RI^2} \Rightarrow \boxed{Erro = \frac{R_A}{R}}$$

## Voltímetro em Curta Derivação (Voltímetro depois do Amperímetro)



A potência **real** consumida é:

$$P_{real} = RI^2 = VI$$

O erro relativo será:

$$Erro = \left| \frac{P_{real} - P_{LIDO}}{P_{real}} \right| = \frac{VI_V}{VI}$$

$$Erro = \frac{I_V}{I} = \frac{V}{R_V} \times \frac{R}{V} \Rightarrow \boxed{Erro = \frac{R}{R_V}}$$

$$P_{LIDO} = V_{LIDO} I_{LIDO}$$

$$V_{LIDO} = V$$

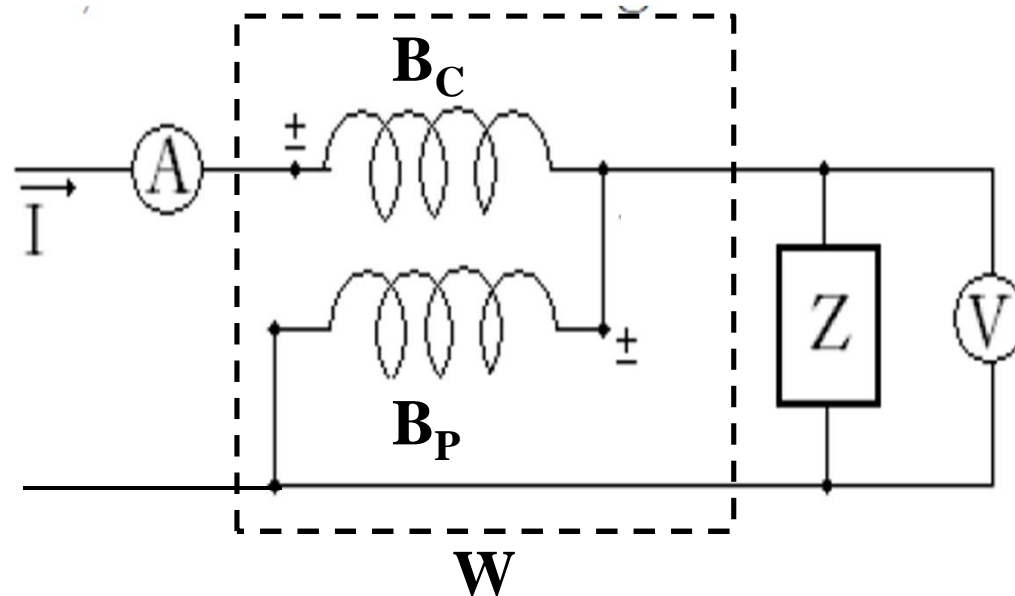
$$I_{LIDO} = I + I_V$$

$$P_{LIDO} = (I + I_V)V$$

$$P_{LIDO} = VI + VI_V$$

## 5. Medição Indireta da Potência Reativa - (W + V + A)

Medição de Potência Reativa em circuitos monofásicos



Fator de Potência:

$$\cos \theta = \frac{P}{VI}$$

Wattímetro

Voltímetro

Amperímetro

Potência Reativa (VARs):

$$Q = VI \cdot \sin \theta$$

**Nota:** Existe o Varímetro para medição direta de  $Q$ .