

Introdução às Medidas Elétricas

Parte I

Conceitos Básicos

Medir é estabelecer uma relação numérica entre uma grandeza e outra, de mesma espécie, tomada como unidade.

Medidas Elétricas só podem ser realizadas com a utilização de instrumentos medidores, que permitem a quantificação de grandezas cujos valores não poderiam ser determinados por meio dos sentidos humanos.

Conceitos Básicos

• **Padrão:** é a grandeza que serve de base ou referência para a avaliação da quantidade ou da qualidade da medida. Deve apresentar as seguintes características:

✓ **Permanência:** o padrão não pode se alterar com o passar do tempo nem com a modificação das condições atmosféricas;

✓ **Reprodutibilidade:** a capacidade de obter uma cópia fiel do padrão.

Conceitos Básicos

O **erro** é empregado para indicar a diferença entre o valor verdadeiro e o resultado de uma medição.

Erros **são inerentes** a todo o tipo de medidas e podem ser minimizados, porém dificilmente eliminados completamente.

Resultado da medição = valor verdadeiro + erro

Conceitos Básicos

Costuma-se considerar 3 categorias de erros:

1. Erros Grosseiros
2. Erros Sistemáticos
3. Erros Aleatórios

Conceitos Básicos

1. Erros Grosseiros

- Causados pela negligência e/ou falta de atenção do operador.
- Exemplos: ligação incorreta do instrumento, transcrição equivocada do valor de observação, erro de paralaxe.
- Esses erros podem ser minimizados pela repetição atenta das medidas, seja pelo mesmo observador ou por outros.

Conceitos Básicos

2. Erros Sistemáticos

- Devem-se às deficiências do instrumento ou do método empregado e às condições em que a medida é realizada.
- Podem ser classificados em **Instrumentais** e **Ambientais**.

Conceitos Básicos

2. Erros Sistemáticos

- **Instrumentais:** erros inerentes aos equipamentos de medição.
- Exemplos: escalas mal graduadas, oxidação de contatos, desgaste de peças, descalibração, erros causados pelas resistências internas de voltímetros e amperímetros.
- Podem ser minimizados usando-se instrumentos de boa qualidade de fazendo-se sua manutenção e calibração adequadas.

Conceitos Básicos

2. Erros Sistemáticos

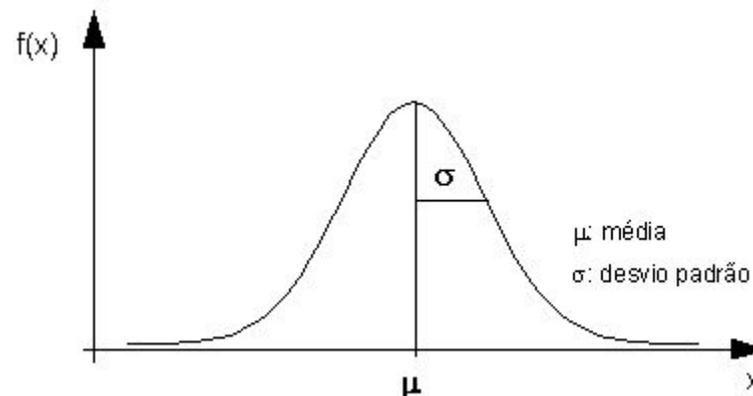
- **Ambientais:** referem-se às condições do ambiente externo ao instrumento, incluindo pressão, temperatura, umidade, campos eletromagnéticos.
- Podem ser minimizados trabalhando-se em ambientes climatizados e providenciar a blindagem dos equipamentos em relação a campos magnéticos.

Os erros sistemáticos normalmente têm valor e sinal constantes, portanto isso pode ser considerado para corrigir o resultado medido.

Conceitos Básicos

3. Erros Aleatórios ou Acidentais

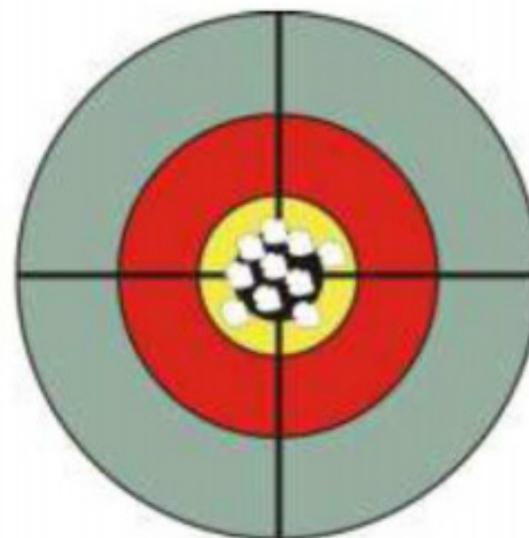
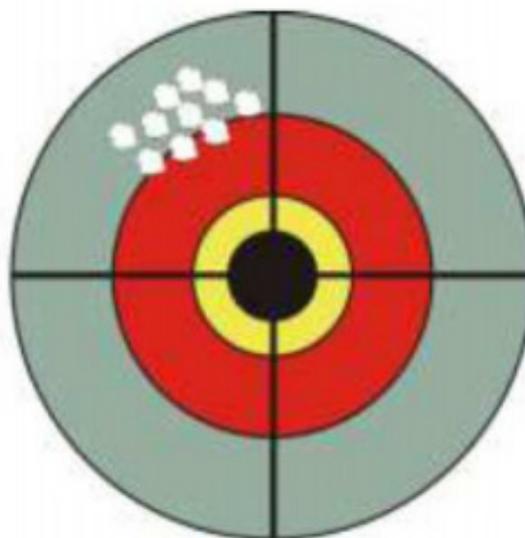
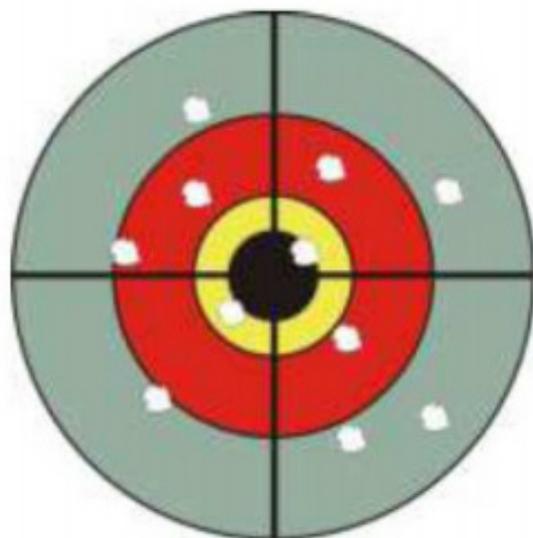
- Devem-se a fatores imponderáveis (incertezas), tal como a ocorrência de transitórios no circuito elétrico e ruídos provenientes de sinais espúrios.
- Como não podem ser previstos, sua limitação é muito difícil. Quando o número de medidas é elevada, eles tendem a ser minimizados. Dessa forma, as medidas possuem uma distribuição de frequência que muito se aproxima de uma distribuição normal.



Conceitos Básicos

- No tratamento de erros os termos **EXATIDÃO** e **PRECISÃO**, embora sejam muitas vezes usados como sinônimos, têm significado diferentes.
- **Exatidão**: é a propriedade que exprime o afastamento que existe entre o valor lido no instrumento e o valor verdadeiro da grandeza que se está medindo.
- **Precisão**: característica de um instrumento de medição, determinada através de um processo estatístico de medições, que exprime o afastamento mútuo entre diversas medidas em relação à média aritmética dessas medidas (Norma P-NB-278/73, da ABNT).
- A **precisão** é, portanto, uma qualidade relacionada com a repetibilidade das medidas, isto é, indica o grau de espalhamento de uma série de medidas em torno de um ponto.

Conceitos Básicos



Classificação dos Instrumentos de Medidas Elétricas

- **Quanto à grandeza a ser medida:**
 - Amperímetro: corrente
 - Voltímetro: tensão
 - Wattímetro: potência ativa
 - Varímetro: potência reativa
 - Fasímetro ou Cosifímetro: defasagem entre tensão e corrente
 - Ohmímetro: resistência
 - Capacímetro: capacitância
 - Freqüencímetro: frequência

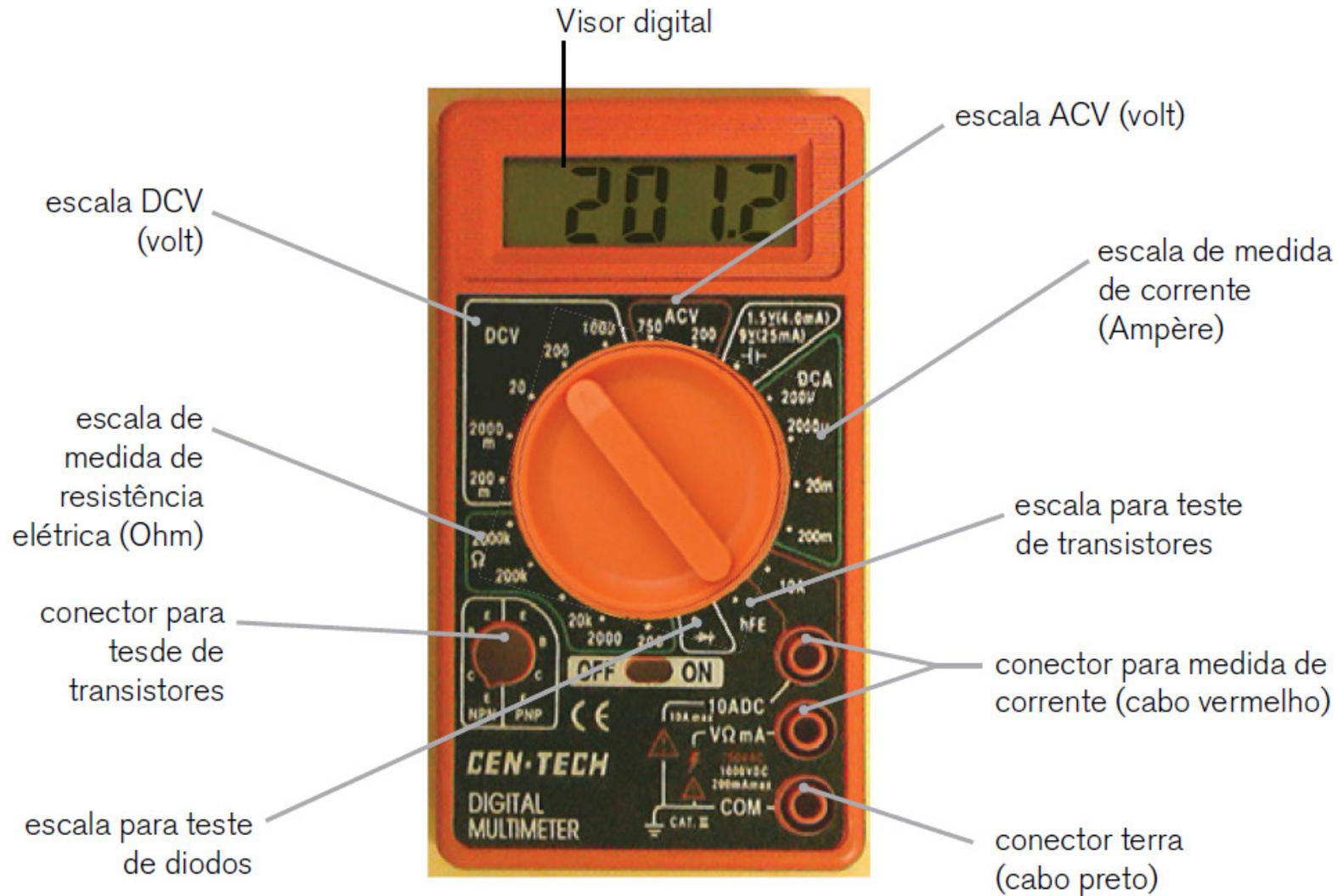
Classificação dos Instrumentos de Medidas Elétricas

- **Quanto à forma de apresentação dos resultados:**
 - Analógicos: a leitura é feita de maneira indireta, usualmente através do posicionamento de um ponteiro sobre uma escala.
 - Digitais: fornecem a leitura diretamente em forma alfanumérica num display

Classificação dos Instrumentos de Medidas Elétricas



Classificação dos Instrumentos de Medidas Elétricas



Classificação dos Instrumentos de Medidas Elétricas

▪ Comparação Digitais *versus* Analógicos

Digitais

- ✓ Comodidade do operador para a leitura
- ✓ Queda dos preços
- ✓ Maior exatidão
- ✓ Redução de erros grosseiros

Analógicos

- ✓ Mais robustos
- ✓ Melhor visualização de variações rápidas da grandeza a ser medida
- ✓ Ainda muito encontrados em oficinas e painéis de controle industriais.

Classificação dos Instrumentos de Medidas Elétricas

- **Quanto à capacidade de armazenamento das leituras:**
 - Indicadores: capazes de fornecer somente o valor da medida no instante em que a mesma é realizada.



Classificação dos Instrumentos de Medidas Elétricas

- **Quanto à capacidade de armazenamento das leituras:**
 - Registradores: capazes de armazenar um certo número de leituras.



Classificação dos Instrumentos de Medidas Elétricas

- Quanto à capacidade de armazenamento das leituras:
 - Totalizadores: apresentam o valor acumulado da grandeza medida.



Classificação dos Instrumentos de Medidas Elétricas

- **Quanto ao princípio físico utilizado para a medida:**
 - **Analógicos:** ferro móvel, bobina móvel, indução, ressonância etc
 - **Digitais:** Circuitos eletrônicos

Classificação dos Instrumentos de Medidas Elétricas

- **Quanto à finalidade de utilização:**
 - Laboratórios: instrumentos que primam pela exatidão e precisão.
 - Industriais: primam pela robustez; apropriados para o trabalho diário sob condições diversas.

- **Quanto à portabilidade**
 - Fixos ou de bancada
 - Portáteis
 - De painel

Instrumentos Analógicos

- O instrumento analógico tem como fundamentação básica a medida de corrente (amperímetro).
- Adaptações feitas neste medidor permitem que seja usado para a medida de outras grandezas, como tensão e resistências

Instrumentos Analógicos

- **Características Construtivas.**
 - Mecanismo de Suspensão:
 - Parte mais delicada do instrumento analógico
 - Fixação da parte móvel (ponteiro)
 - Movimento com baixo atrito

Instrumentos Analógicos

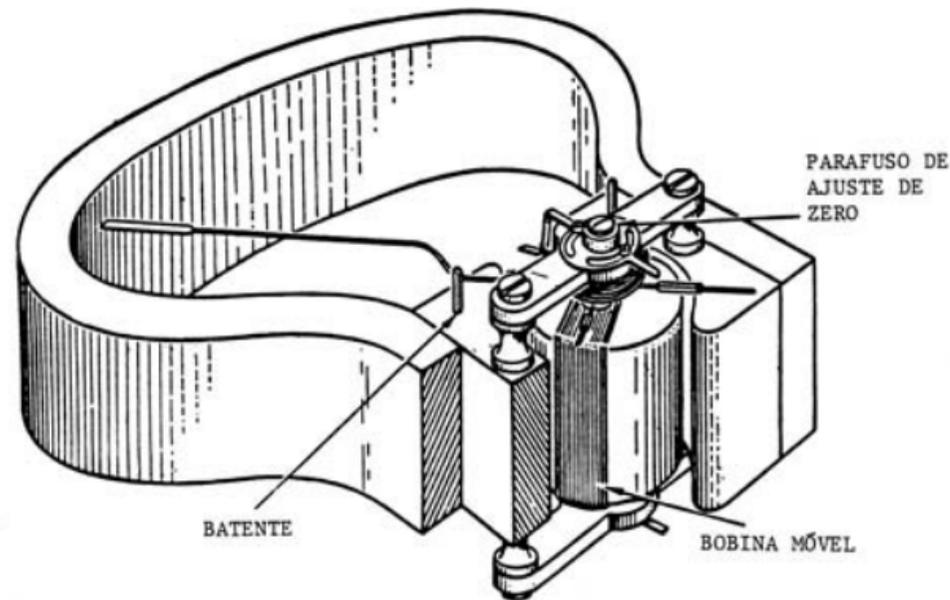
- **Características Construtivas.**
 - Tipos de Suspensão:
 - **Por fio:** instrumentos de precisão
 - **Por pivô (mecanismo de d'Arsonval):** eixo de aço apoiado em mancais de rubi ou safira sintéticos
 - **Por suspensão magnética:** atração ou repulsão entre pequenos ímãs

Instrumentos Analógicos

- **Características Construtivas.**

- Tipos de Suspensão:

- **Exemplo de suspensão por pivô:**



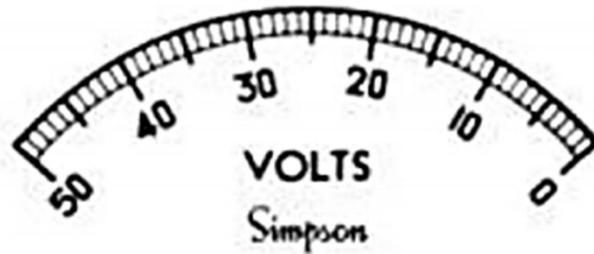
Instrumentos Analógicos

- **Características Construtivas.**
 - Escala:
 - **Fundo de escala ou calibre:** o máximo valor que determinado instrumento é capaz de medir sem correr o risco de danos.
 - **Posição do zero:** a posição de repouso do ponteiro, quando o instrumento não está efetuando medidas.

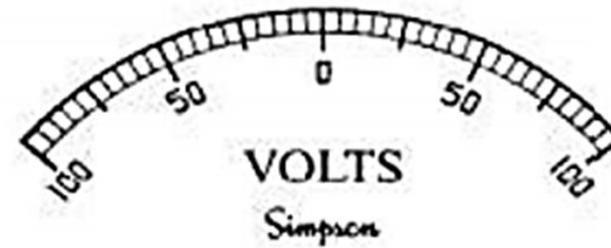
Instrumentos Analógicos

- **Características Construtivas.**

- Escala:



(a)



(b)



(c)

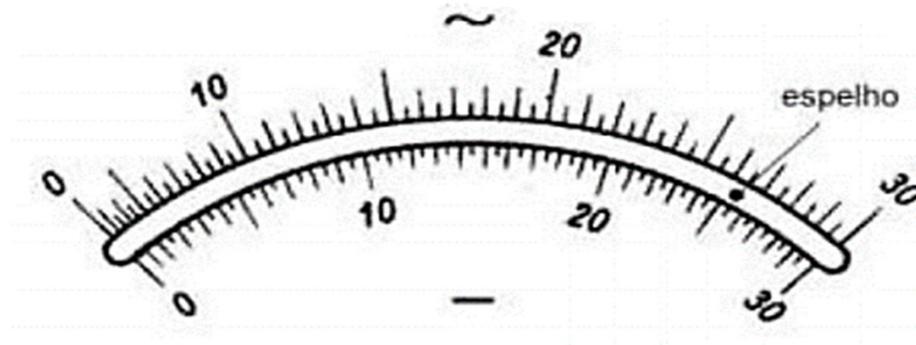


(d)

(a) Zero à direita; (b) Zero central;
(c) Zero suprimido; (d) Zero deslocado

Instrumentos Analógicos

- **Características Construtivas.**
 - Escala:
 - **Correção do efeito de paralaxe:** a medida deverá ser feita quando a posição do observador é tal que o ponteiro e sua imagem no espelho coincidam.



Instrumentos Analógicos

- **Características Construtivas.**
 - Escala:
 - **Linear ou Homogênea:** quando a valores iguais correspondem divisões iguais.
 - **Não-linear:** caso contrário.

Instrumentos Analógicos

- **Principais Características Operacionais.**

- Sensibilidade:

- Grandeza que se relaciona à resistência interna dos instrumentos

$$S = \frac{1}{I_{MAX}}$$

- I_{MAX} é a corrente necessária para produzir a máxima deflexão no ponteiro.

Instrumentos Analógicos

- **Principais Características Operacionais.**

- Valor Fiducial:

- Valor de referência para a especificação da classe de exatidão do instrumento.

Tipo de escala	Valor fiducial
Zero à esquerda	Valor de fundo de escala
Zero central ou deslocado	Soma dos valores das duas escalas
Zero suprimido	Valor de fundo de escala

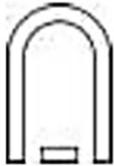
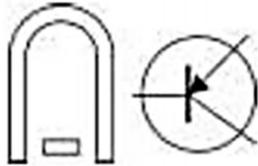
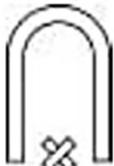
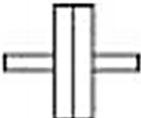
Instrumentos Analógicos

- **Principais Características Operacionais.**
 - Resolução:
 - Determina a capacidade que tem um instrumento de diferenciar grandezas com valores próximos entre si.
 - Em instrumentos analógicos, a diferença entre esses valores é dada por duas divisões adjacentes na escala.

Instrumentos Analógicos

- **Simbologia.**

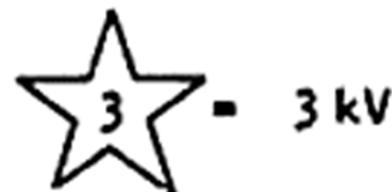
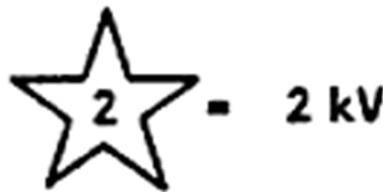
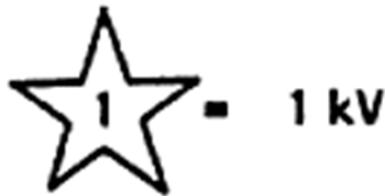
- Tipo de Instrumento:

Bobina móvel				
				
Geral	Com retificador	Com par termelétrico	Com circuito eletrônico	Com medidor de quociente
Ferro móvel		Eletrodinâmico		
				
Geral	Com lâmina bimetálica	Geral	Com núcleo de ferro	Com medidor de quociente

Instrumentos Analógicos

- **Simbologia.**

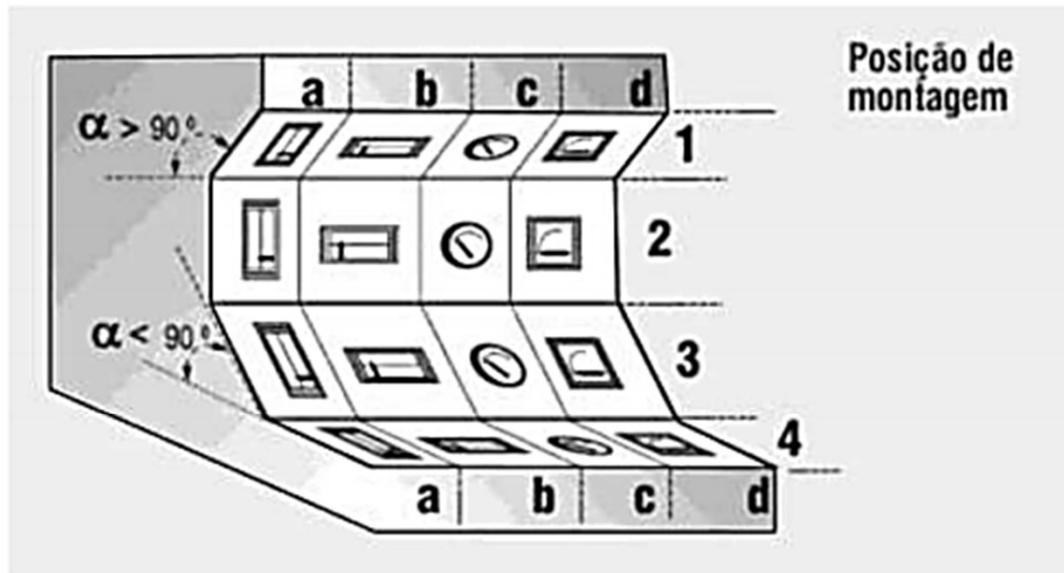
- Tensão de isolamento ou tensão de prova: valor máximo de tensão que um instrumento pode receber entre sua parte interna (de material condutor) e sua parte externa (de material isolante).



Instrumentos Analógicos

- **Simbologia.**

- Posição:



Posição	Simbolo	Ângulo de Montagem
1	⊥	$\alpha > 90^\circ$
2	┌	$\alpha = 90^\circ$
3	∠	$\alpha < 90^\circ$
4	└	$\alpha = 0^\circ$

	Instrumento utilizado na posição vertical
	Instrumento utilizado na posição horizontal
	Instrumento utilizado na posição inclinada - o número dá a inclinação (neste exemplo, 60°)

Instrumentos Analógicos

- **Simbologia.**

- Classe de Exatidão: a classe de exatidão de um instrumento fornece o erro admissível em porcentagem entre o valor indicado pelo instrumento e o fiducial, levando-se em consideração o valor do fundo de escala.
- Por exemplo, se um amperímetro de classe 0,5 tem amplitude de escala de 0 a 200 mA, seu erro máximo admissível em qualquer ponto da escala é:

$$\varepsilon = \frac{0,5 \times 200}{100} = 1 \text{ mA}$$

Instrumentos Analógicos

- **Simbologia.**
 - Classe de Exatidão:

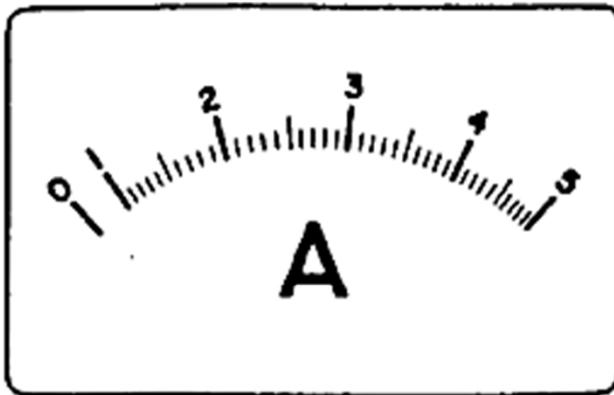
Classes de exatidão de instrumentos de medidas elétricas

Classe	Instrumentos de alta precisão			Instrumentos para fins normais			
	0,1	0,2	0,5	1,0	1,5	2,5	5,0
Erro em percentagem do valor, no final da escala	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$	$\pm 1,5$	$\pm 2,5$	$\pm 5,0$

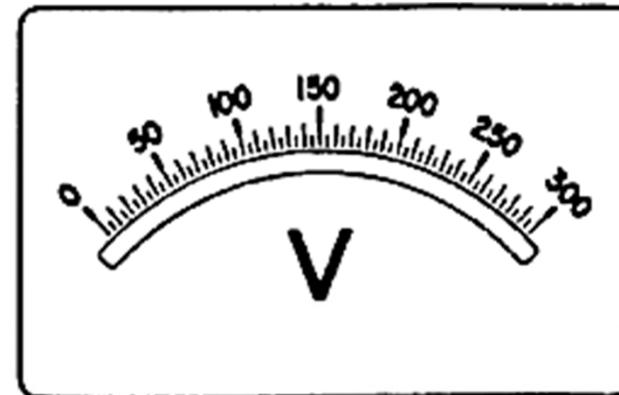
Instrumentos Analógicos

- **Simbologia.**

- Unidade de medida:



A = Ampères
Amperímetro

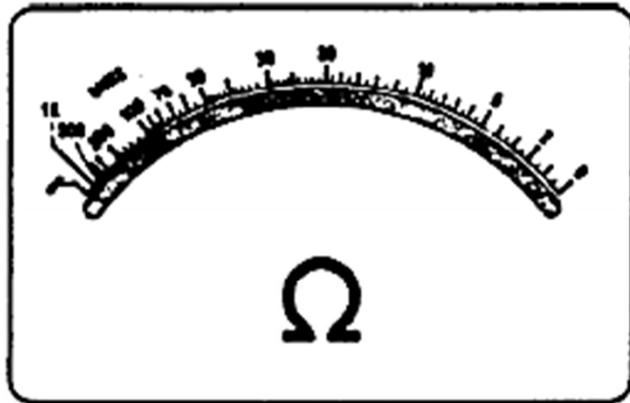


V = Volts
Voltímetro

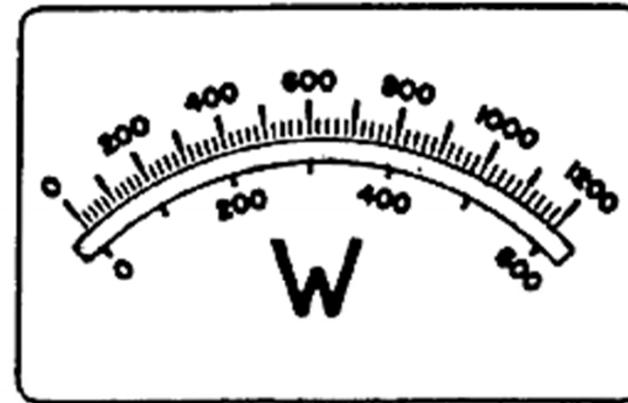
Instrumentos Analógicos

- **Simbologia.**

- Unidade de medida:



Ω = Ohm
Ohmímetro

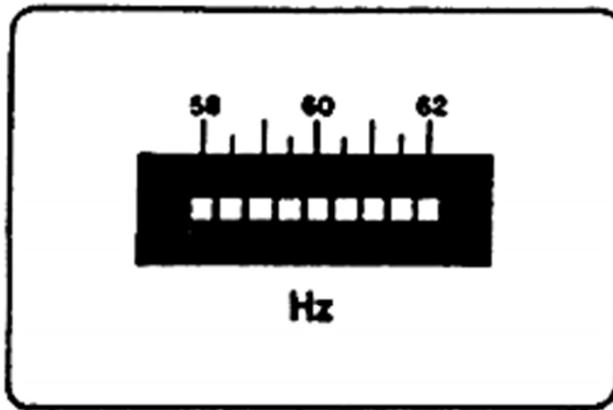


W = Watts
Wattímetro

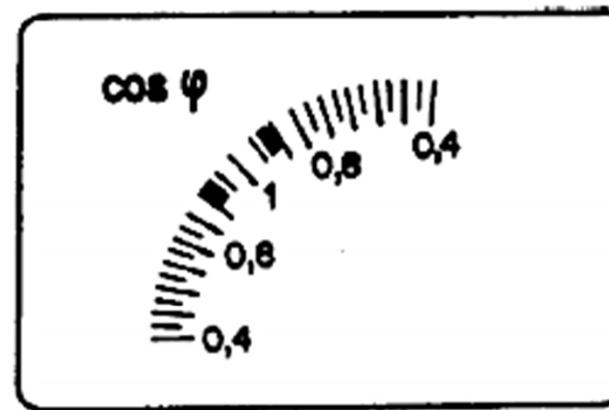
Instrumentos Analógicos

- **Simbologia.**

- Unidade de medida:



f ou Hz = frequência
Freqüencímetro



cos φ ou φ = fator de potência
Fasímetro

Instrumentos Analógicos

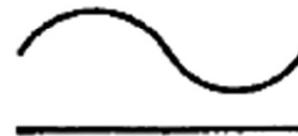
- **Simbologia.**

- Tipo de corrente:

Somente Corrente Contínua



Ambas as Correntes - Contínua e Alternada



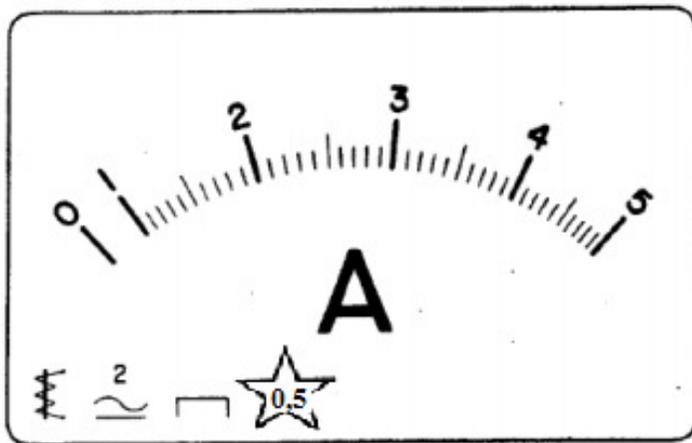
Somente Corrente Alternada



Instrumentos Analógicos

▪ Simbologia.

▪ Exemplo:



- ✓ Amperímetro analógico de ferro móvel
- ✓ Escala não linear
- ✓ Medição de correntes contínua ou alternada
- ✓ Classe de exatidão 2
- ✓ Medição na posição horizontal
- ✓ Classe de isolamento de 500 V

Agradecimentos

- Professores Fábio Bertequini Leão e Sergio Kurokawa da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira da UNESP
- Prof. Rogério Andrade Flauzino (EESC-USP)