

# Instrumentos Elétricos de Medição

## Parte I

# Programa da aula

- Generalidades sobre os Instrumentos
  - Funcionamento
- Amortecimento do Conjunto Móvel
- Suspensão do Conjunto Móvel
- Processos de Leitura
- Dados Característicos
  - Calibre, Classe de Exatidão, Simbologia, etc.
- Bibliografia

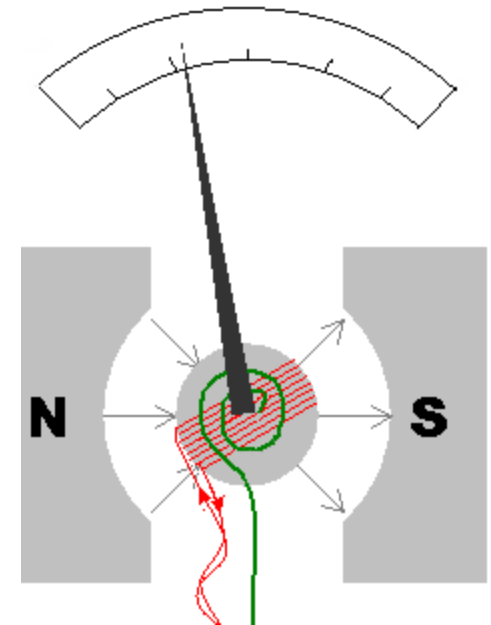
# Generalidades sobre os Instrumentos

- Introdução

- Possuem um conjunto móvel que aproveita um dos efeitos da corrente elétrica: efeito térmico, efeito magnético, efeito dinâmico, etc.
- Preso ao conjunto móvel está um ponteiro que se desloca na frente de uma escala graduada da grandeza a que se destina o instrumento medir.

# Generalidades sobre os Instrumentos

- Funcionamento
  - Corrente  $I$  percorrer a bobina  $b$  dentro do campo magnético do ímã permanente;
  - A interação produz forças  $F$  que resulta num conjugado em relação ao eixo de rotação, fazendo a bobina girar;
  - Este conjugado é chamado de “conjugado motor”;

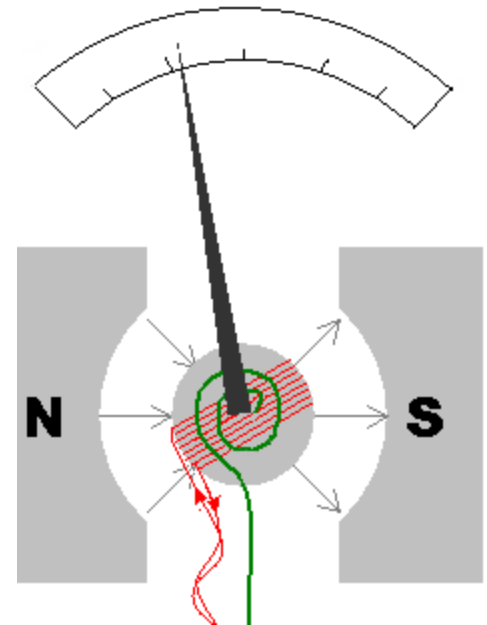


- Fio transportando a corrente a ser medida

- Mola de retorno

# Generalidades sobre os Instrumentos

- Funcionamento (cont.)
  - Mola  $m$  com uma extremidade presa ao eixo da bobina e a outra à carcaça do instrumento produzem tensão mecânica;
  - Opõe-se ao movimento de rotação da bobina, originando um “conjugado antagonista”;

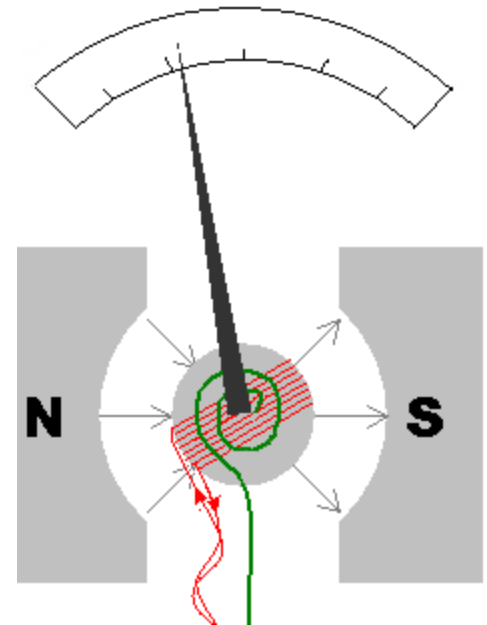


- Fio transportando a corrente a ser medida

- Mola de retorno

# Generalidades sobre os Instrumentos

- Funcionamento (cont.)
  - Para evitar oscilações do conjunto móvel em torno da posição de equilíbrio, cria-se um “conjugado de amortecimento” por meio de artifícios externos ao sistema;

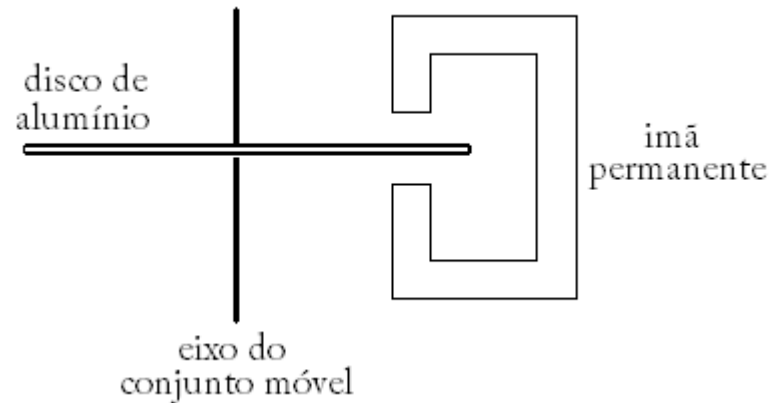


- Fio transportando a corrente a ser medida

- Mola de retorno

# Amortecimento do Movimento do Conjunto Móvel

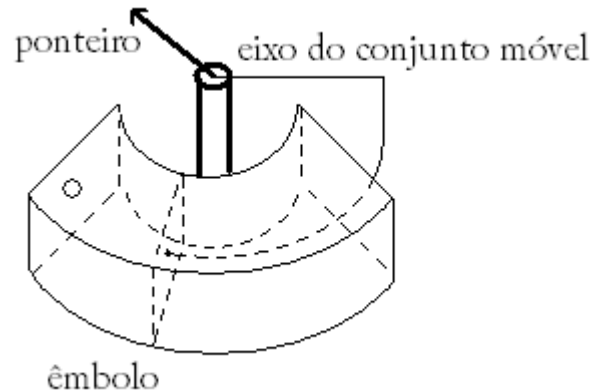
- Amortecimento por correntes de Foucault



- Disco solidário ao eixo do conjunto móvel;
- Ao mover-se: indução de correntes de Foucault;
- Originando uma força que se opõem ao movimento do disco.

# Amortecimento do Movimento do Conjunto Móvel

- Amortecimento por atrito sobre o ar

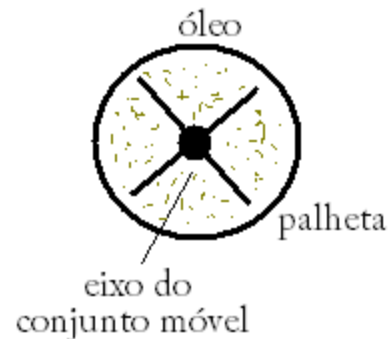


- Provocado pela reação do ar sobre uma fina palheta presa ao eixo do conjunto móvel.



# Amortecimento do Movimento do Conjunto Móvel

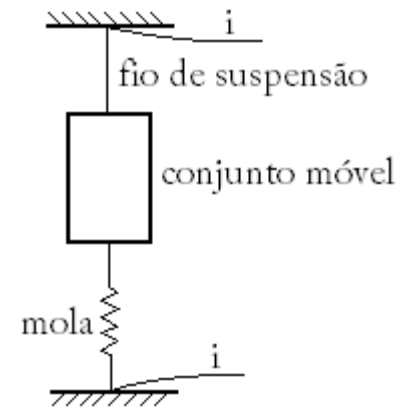
- Amortecimento por atrito sobre o líquido



- Utiliza óleo mineral;
- A viscosidade do óleo é escolhida de acordo com o mais intenso ou menos intenso amortecimento que se queira dar ao movimento do conjunto móvel.

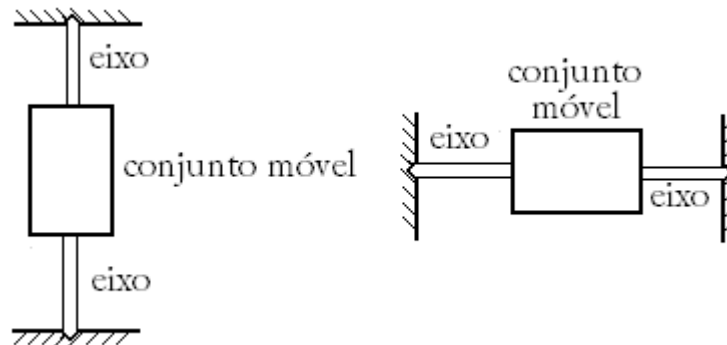
# Suspensão do Conjunto Móvel

- Suspensão por fio
  - Para instrumentos de alta sensibilidade
  - Finalidades do fio:
    - suportar o conjunto móvel;
    - fornecer o conjugado antagonista;
    - levar a corrente elétrica até a bobina.
  - Extremidade superior do fio é presa à carcaça
  - Porção inferior feita em forma de mola:
    - regulagem da tensão mecânica do fio
    - permitir a centralização do conjunto móvel.



# Suspensão do Conjunto Móvel

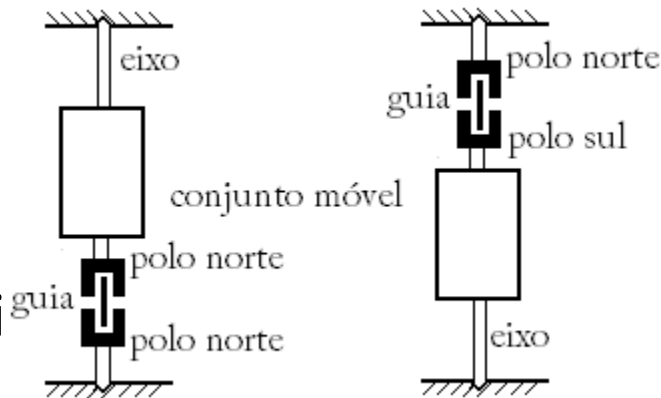
- Suspensão por eixo
  - Eixo feito de aço com extremidades pontudas;



- O eixo pode ser
- Atentar para a posição correta indicada pelo fabricante, no mostrador.

# Suspensão do Conjunto Móvel

- Suspensão magnética
  - Utilizada em instrumentos de eixo vertical



- Emprega dois ímãs, um fixo e outro à carcaça do conjunto móvel e
- A suspensão pode ser por repulsão ou atrativa

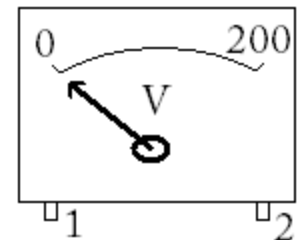
# Dados Característicos

- Natureza do Instrumento
  - Indica o tipo de grandeza mensurável pelo mesmo. Ex: amperímetro, voltímetro, etc.
- Natureza do Conjugado Motor
  - Caracteriza o princípio de funcionamento
    - Eletrodinâmico – efeito de corrente elétrica sobre corrente elétrica;
    - Ferro-móvel – efeito do campo magnético da corrente elétrica sobre peça de material ferromagnético;
    - Térmico, etc.

# Dados Característicos

- Calibre do Instrumento

- É o valor máximo, da grandeza mensurável, que o instrumento é capaz de medir. Ex: um voltímetro que pode medir no máximo 200 volts, diz-se que o seu calibre é de 200 volts
  - Instrumento de um só calibre: o valor do calibre corresponde, normalmente, ao valor marcado no fim da escala. Ex: a figura abaixo representa um voltímetro de calibre único, 200 volts



# Dados Característicos

- Calibre do Instrumento (cont.)

- Instrumento de múltiplo calibre: os valores dos calibres vêm indicados nas posições da chave de comutação. Permite utilizar apenas uma escala graduada. O valor será obtido pela relação:

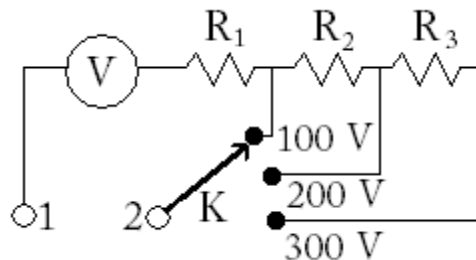
$$\text{Valor da grandeza} = \frac{\text{Calibre utilizado}}{\text{Valor marcado no fim da escala}} \cdot \text{Leitura}$$

# Dados Característicos

- Calibre do Instrumento (cont.)

- Ex: A figura abaixo representa um multivoltímetro, sendo a sua escala graduada em divisões, de 0 a 200. Com a chave K na posição de 300V foi obtida a leitura de 148 divisões. Qual a tensão medida?
- Solução:

$$V = \frac{300}{200} \times 148 = 222V$$





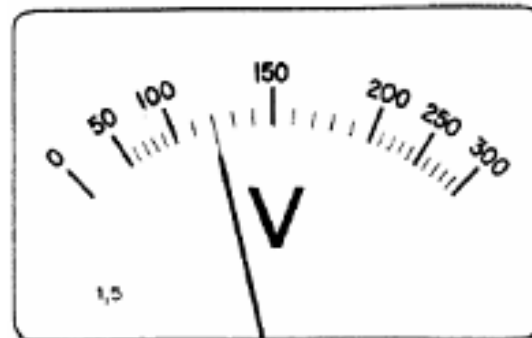
# Dados Característicos

- Classe de exatidão do instrumento
  - Representa o limite de erro, garantido pelo fabricante do instrumento, que se pode cometer em qualquer medida efetuada com este instrumento
  - Estes números são conhecidos como “índice de classe” (IC) e podem ser calculados pela seguinte equação:

$$\text{Classe} = \frac{\text{sa máxima}}{\text{Valor de fim de escala}} \times 100$$

# Dados Característicos

- Classe de exatidão do instrumento (cont.)
  - Ex: considere a medição de tensão indicada em 120 V por um voltímetro de classe de precisão 1,5 e cuja escala graduada seja de 0 a 300V. Para tanto está sendo solicitado que você calcule o erro absoluto máximo.



# Dados Característicos

- Classe de exatidão do instrumento (cont.)

$$\text{Classe} = \frac{\text{ea maximo}}{\text{Valor de ftn de escala}} \times 100$$

$$1,5 = \frac{\text{ea maximo}}{300} \times 100$$

- Este resul  $\text{ea maximo} = 4,5$  instrumento são, na realidade  $120 \pm 4,5$ , ou seja, pode variar de 115,5V a 124,5V.
- É importante salientar que a Classe de exatidão deve vir impresso no visor do instrumento.

# Dados Característicos

- Classe de exatidão do instrumento (cont.)
  - Quanto melhor é a sua classe de exatidão, mais caro ele custa e mais cuidados ele requer na utilização. Divide-se em três grupos:
    - Instrumentos de laboratório: possuem maior precisão, mais caros e delicados, classe de exatidão 0,1 a 0,3
    - Instrumentos de ensaio: classe de exatidão 0,5 a 1,5
    - Instrumentos industriais: equipamentos práticos. classe de exatidão de 2 a 3, ou maior.

# Dados Característicos

- Discrepância
  - Diferença entre valores medidos para a mesma grandeza. Ex: dado um voltímetro cuja primeira leitura foi 218V e como segunda leitura 220V. Então ocorreu entre as duas medições uma discrepância de 2V.
- Resolução
  - É o menor incremento que se pode assegurar na leitura de um instrumento, o que corresponde à menor divisão marcada na escala.

# Dados Característicos

- **Perda Própria**

- É a potência consumida pelo instrumento correspondente à indicação final da escala;
- Desejável ter a mínima perda própria;
- Instrumentos eletrônicos: perda quase nula.

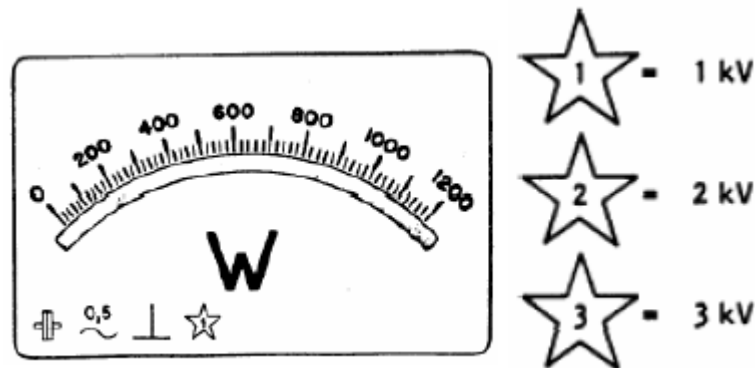
- **Eficiência**

- Relação entre seu calibre e a perda própria. Ex: um amperímetro com calibre 10A e perda própria de 20W tem eficiência de  $10A/20W=0,5A/W$

# Dados Característicos

- Rigidez Dielétrica

- Caracteriza a isolação entre a parte ativa e a carcaça do instrumento. Representado por uma estrela com um número dentro ou não

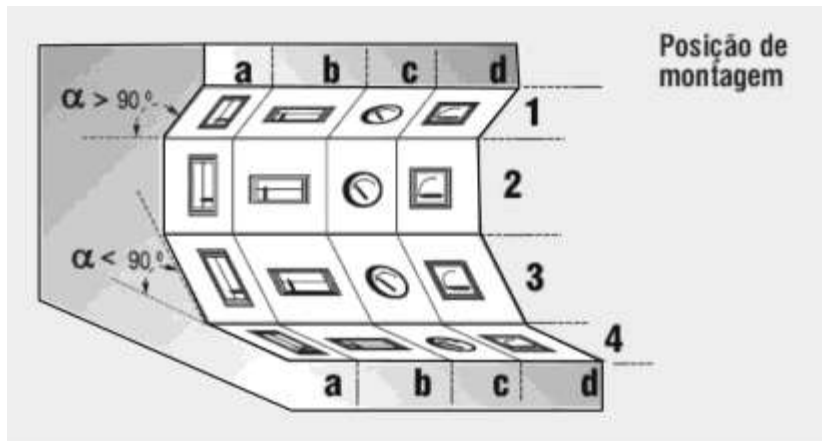


- Obs.: quando a tensão de isolação é de 500V.

tensão de isolação

# Dados Característicos

- Posição do Instrumento



- Obs. erros

Posição	Símbolo	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°)

do no e provocar



# Dados Característicos

- **Categoria de Medição**
  - Definido por padrões internacionais (IEC 61010), estabelece as categorias de I a IV, onde os sistemas são divididos de acordo com a distribuição de energia.
  - Baseia-se no fato de que um transiente perigoso de alta energia, como um raio, será atenuado à medida que passa pela impedância (resistência CA) do sistema.

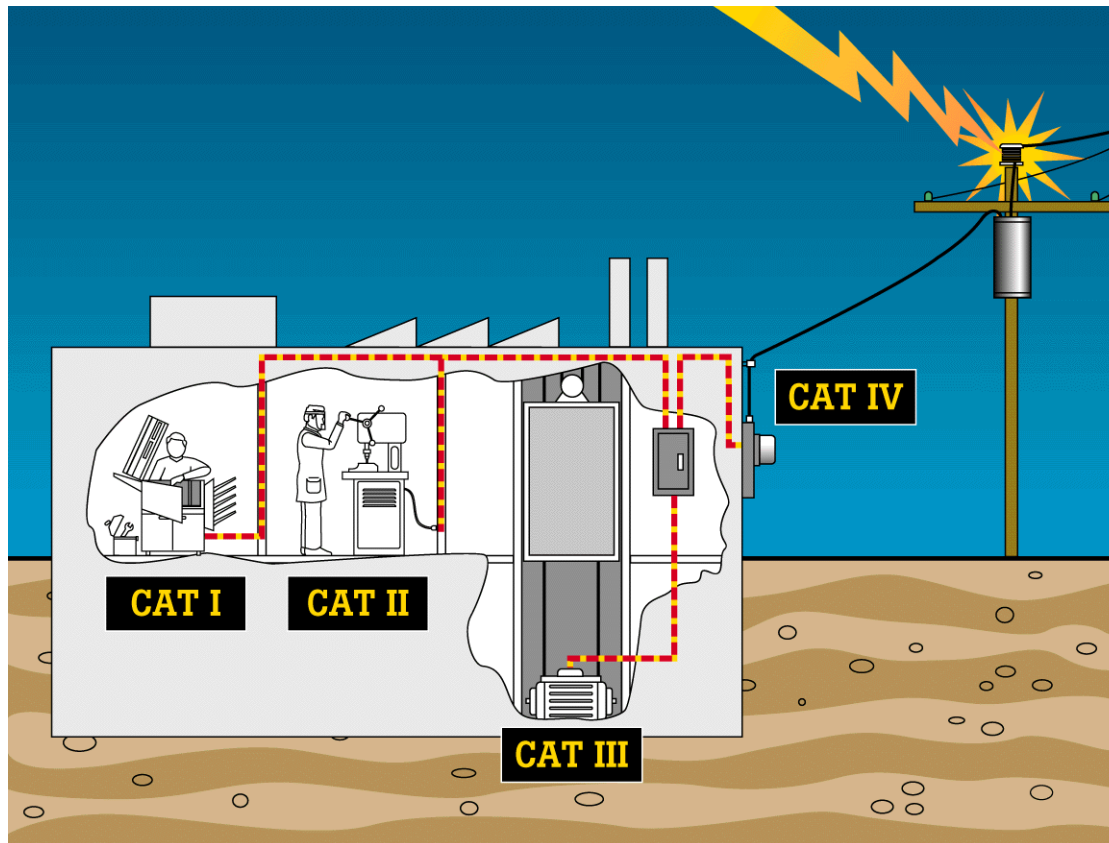
# Dados Característicos

- Categoria de Medição (cont.)

Categoria de medição	Resumindo...	Exemplos
CAT IV	Trifásico na conexão da rede elétrica pública; qualquer condutor ao ar livre	<ul style="list-style-type: none"><li>• Refere-se à "origem da instalação"; ex.: ponto no qual é feita a conexão de baixa tensão ao suprimento de energia da rede pública.</li><li>• Relógios de eletricidade, equipamento com proteção primária a excesso de corrente.</li><li>• Ambiente externo e entrada da rede elétrica, derivação de eletricidade do poste ao prédio, extensão entre o relógio e o quadro de distribuição.</li><li>• Linha elétrica aérea até o prédio isolado, linha elétrica subterrânea até a bomba do poço.</li></ul>
CAT III	Distribuição trifásica, inclusive iluminação comercial monofásica	<ul style="list-style-type: none"><li>• Equipamento em instalações fixas, como, por exemplo, mecanismo de distribuição ou motores polifásicos.</li><li>• Barramento e alimentador em instalações industriais.</li><li>• Alimentadores e derivações curtas, dispositivos de painel de distribuição.</li><li>• Sistemas de iluminação em prédios grandes.</li><li>• Tomadas de eletrodoméstico com conexões curtas à entrada da rede elétrica pública.</li></ul>
CAT II	Cargas conectadas a tomadas monofásicas	<ul style="list-style-type: none"><li>• Eletrodomésticos, ferramentas portáteis e cargas domésticas e outras cargas semelhantes.</li><li>• Tomadas e derivações longas.<ul style="list-style-type: none"><li>• Tomadas a mais de 10 metros de distância da fonte CAT III.</li><li>• Tomadas a mais de 20 metros de distância da fonte CAT IV.</li></ul></li></ul>
CAT I	Aparelhos eletrônicos	<ul style="list-style-type: none"><li>• Equipamento eletrônico com proteção.</li><li>• Equipamento conectado a circuitos (fonte) em que as medidas são feitas de modo a limitar as sobretensões de transientes a um nível mais baixo adequado.</li><li>• Qualquer fonte de baixa energia e alta tensão derivada de transformador de resistência com alto grau de enrolamento, como, por exemplo, a seção de alta tensão de uma copiadora.</li></ul>

# Dados Característicos

- Categoria de Medição (cont.)



# Dados Característicos

- Tipos de Escalas

- Uniforme: todas as divisões são iguais ao longo de escala.

- Quadrática: as  escala.

- Logarítmica: as divisões são menores no final da escala.



# Dados Característicos

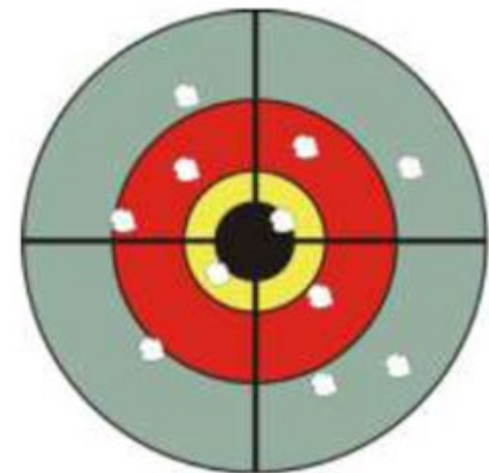
- Exatidão
  - Característica de um instrumento que exprime o afastamento entre a medida nele efetuada e o valor de referência aceito como verdadeiro
    - Ex: padrão =  $1,000\Omega$ ;  
instrumento (1) =  $1,010\Omega$   
instrumento (2) =  $1,100\Omega$   
=> (1) é mais exato do que (2).

# Dados Característicos

- Precisão (ou Repetibilidade)
  - Característica de um instrumento (processo estatístico) que exprime o afastamento mútuo entre as diversas medidas obtidas de uma grandeza dada, em relação à média aritmética dessas medidas;
  - Norma P-NB-278/73, da ABNT.

# Dados Característicos

- Precisão (cont.)
  - Ex: atirador tentando atingir o alvo
    - Em (a) não houve exatidão nem precisão por parte do atirador;



Baixa exatidão  
Baixa precisão

(a)

# Dados Característicos

- Precisão (cont.)
  - Ex: atirador tentando atingir o alvo
    - Em (b) podemos dizer que o atirador foi preciso, pois todos os tiros atingiram a mesma região do alvo, porém não foi exato, já que esta região está distante do centro;



Baixa exatidão  
Alta precisão

(b)



# Dados Característicos

- Precisão (cont.)
  - Ex: atirador tentando atingir o alvo
    - Em (c) concluímos que o atirador foi exato, além de preciso.



Alta exatidão  
Alta precisão

(c)

# Dados Característicos

- Simbologia para Instrumentos de Medida
  - Para a realização de uma medida correta das grandezas sem por em risco a vida do operador e a integridade do equipamento, deve-se observar os símbolos gravados nos visores;
  - As tabelas a seguir ilustram alguns dos símbolos frequentemente utilizados em medidas elétricas e nos diagramas dos circuitos elétricos.


















# Dados

- Simbologia para Instrumentos de Medida

Nº	SÍMBOLO ANTIGO	SÍMBOLO NOVO	S I G N I F I C A Ç Ã O
1			Corrente contínua
2			Corrente alternada (monofásica)
3			Corrente contínua e alternada
4			Corrente alternada trifásica (símbolo geral)
5			Corrente alternada trifásica desequilibrada (símbolo geral)
6			Instrumento com um sistema de medição (para circuitos de 3 fios equilibrados)
7			Instrumento com um sistema de medição (para circuitos de 4 fios equilibrados)
8			Instrumento com dois sistemas de medição (para circuitos de 3 fios desequilibrados)
9			Instrumento com dois sistemas de medição (para circuitos de 4 fios desequilibrados)
10			Instrumento com três sistemas de medição (para circuitos de 4 fios desequilibrados)
11			Tensão de ensaio: 500 V na frequência industrial
12			Tensão de ensaio: acima de 500V na frequência industrial (no caso, 2 kV)
13			Instrumento não sujeito a ensaio de tensão na frequência industrial






















# Dados

- Simbologia para Instrumentos de Medida

Nº	SÍMBOLO ANTIGO	SÍMBOLO NOVO	S I G N I F I C A Ç Ã O
14			Utilização do instrumento: mostrador na posição vertical
15			Utilização do instrumento: mostrador na posição horizontal
16			Utilização do instrumento: mostrador na posição inclinada ( neste exemplo, inclinação de 45°)
17			Retificador
18			Termotransdutor sem isolamento (par termoeletrico)
19			Termotransdutor isolado (par termoeletrico isolado)
20			Instrumento de bobina móvel
21			Instrumento de bobina móvel com retificador
22			Instrumento de bobina móvel com termotransdutor
23			Instrumento de bobina cruzada (quocientímetro de imã fixo)
24			Instrumento de bobina cruzada com retificador
25			Instrumento de imã móvel
26			Instrumento de imã móvel cruzado (quocientímetro de imã móvel)
27			Instrumento de ferro móvel, de relação

# Dados

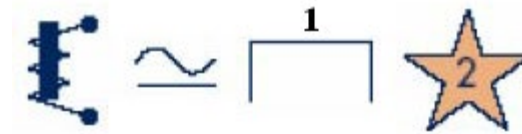
- Simbologia para Instrumentos de Medida

Nº	SÍMBOLO ANTIGO	SÍMBOLO NOVO	SIGNIFICAÇÃO
28			Instrumento de ferro móvel
29			Instrumento eletrodinâmico sem ferro
30			Instrumento eletrodinâmico com núcleo de ferro
31			Instrumento eletrodinâmico de relação (tipo quoci-entímetro)
32			Instrumento eletrodinâmico de relação com núcleo de ferro (tipo quoci-entímetro)
33			Instrumento de indução
34			Instrumento de indução de relação ( instrumento de indução tipo quoci-entímetro)
35			Instrumento de fio aquecido (instrumento térmico)
36			Instrumento eletrostático
37			Instrumento de lâminas vibráteis
38			Instrumento bimetalico
39			Proteção eletrostática ou blindagem eletrostática
40			Proteção magnética ou blindagem magnética
41			Terminal de aterramento

# Dados Característicos

- Simbologia para Instrumentos de Medida

- Ex:



- Significado: instrumento de ferro móvel, para correntes contínua e alternada, classe de exatidão 1, deve ser utilizado com o mostrador na posição horizontal, tensão de ensaio 2kV.

# Dados Característicos

- Simbologia para Instrumentos de Medida
  - Ex:



# Bibliografia

- FILHO, Solon de M. **Fundamentos de Medidas Eléctricas**. Rio de Janeiro : Editora Guanabara, 1981.
- BONFIM, Marlio. **Medidas Eléctricas**.
- NEVES, Eurico G. C.; MÜNCHOW, Rubi. **Medidas Eléctricas**. Disponível em:



