

Instrumentação e Medidas Eletroeletrônicas

Matheus Leitzke Pinto

Revisão 1

Sobre este material

Este material foi feito originalmente para auxiliar os alunos do curso técnico em eletroeletrônica do IFSC – campus Chapecó – na disciplina de Instrumentação e Medidas Eletroeletrônicas. Pode também ser utilizada em cursos técnicos de automação industrial e eletrônica.

O material é encontrado para download em: <https://repositorio.ifsc.edu.br>.

*“Yoda: Não! Tentar não. Faça ou não faça.
Tentativa não há”*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	6
1.1 Instrumentos de medição	6
1.2 Instrumentos de medição analógica e digital	8
1.2.1 Instrumentos de medição analógica.....	8
1.2.2 Instrumentos de medição digital.....	10
1.3 Outros instrumentos e ferramentas de auxílio	11
1.3.1 Protoboard	11
1.3.2 Fonte Ajustável DC	15
1.4 Proteção em medidas	15
1.4.1 Aterramento	17
1.4.2 Categorias de proteção de equipamentos	18
1.4.3 Transformadores para instrumentos	19
2 TEORIA BÁSICA DE ERROS E LEITURA DE MEDIDAS	21
2.1 Erros em relação as suas causas	21
2.1.1 Erros grosseiros	21
2.1.2 Erros sistemáticos.....	21
2.1.3 Erros aleatórios	22
2.2 Erros absolutos e relativos	22
2.3 Exatidão, precisão e incerteza	24
2.4 Arredondamentos de medidas	25
2.5 Calibração e Ajuste	26
3 MEDIÇÕES DE CORRENTE E TENSÃO COM O MULTÍMETRO DIGITAL	28
3.1.1 O Amperímetro e o Voltímetro	28
3.2 Resolução em DMMs	34
3.2.1 Algarismos duvidosos em DMMs	36
3.3 Fonte Simétrica	40
3.3.1 Utilizando o potenciômetro.....	43
4 MEDIÇÕES DE RESISTÊNCIA E CAPACITÂNCIA COM O MULTÍMETRO DIGITAL	46
4.1 Ohmímetro	46
4.2 Capacitores discretos	49
4.2.1 Tipos de capacitores	49

4.3 Qual capacitor utilizar?	53
4.4 Capacímetro.....	54
4.5 Megômetro	59
5 MEDIÇÕES DE SINAIS.....	61
5.1 Sinais AC.....	61
5.2 Gerador de funções.....	63
5.3 Osciloscópio.....	65
5.4 Outras formas de onda	73
5.5 Multímetros True RMS	75
5.6 Cuidados com o osciloscópio.....	80
6 MEDIDORES ANALÓGICOS DE PAINÉIS	81
6.1 O Wattímetro.....	83
6.2 Medidores Digitais de Painéis	86
REFERÊNCIAS	88

1 INTRODUÇÃO

A medição é um conjunto de operações que tem por objetivo determinar o valor de uma grandeza. Algumas perguntas fundamentais são:

1. O que medir?
2. Com o que medir?
3. Como avaliar esta medida?

Em medição elétrica as grandezas mais importantes são:

- Corrente elétrica;
- Tensão elétrica;
- Frequência;
- Potência;
- Resistência;
- Capacitância;
- Indutância;
- Fator de potência.

Analisaremos como medir essas grandezas.

1.1 Instrumentos de medição

Dispositivos para determinação do valor de uma grandeza ou variável, podendo ser utilizado sozinho ou em conjunto com dispositivos complementares.

Diversos autores mostram conceitos diferentes sobre as partes que compõem um instrumento de medição. O **VIM (Vocabulário Internacional de Metrologia)** é um documento que fornece uma base sobre alguns conceitos relacionados à **metrologia**, apesar de alguns detalhes ainda estarem obscuros. Vamos considerar as principais partes de um instrumento de medição, observados na Figura 1.1, como sendo:

- **Sensor:** capta o sinal na grandeza que se quer medir;
- **Transdutor:** ligado ao sensor, é responsável por fazer a conversão do sinal captado em um sinal em outra grandeza (ex.: mecânico, elétrico, etc.);
- **Indicadores:** elemento responsável por mostrar ao observador humano o resultado da medição.

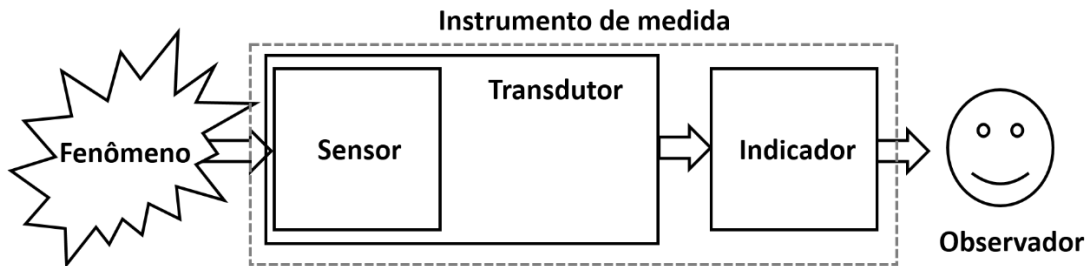


Figura 1.1

A diversas maneiras de classificar um instrumento de medição. Algumas delas são:

- **Grandeza a ser medida:** amperímetro (corrente); voltímetro (tensão); wattímetro (potência ativa); ohmímetro (resistência); capacitímetro (capacitância); frequencímetro (frequência).
- **Forma de apresentação do indicador:**
 - **Analógicos**, nos quais a leitura é feita de maneira indireta, usualmente através do posicionamento de um ponteiro sobre uma escala;
 - **Digitais**, que fornecem a leitura diretamente em forma alfa-numérica num display.
- **Capacidade de armazenamento das leituras:**
 - **Indicadores**, capazes de fornecer somente o valor da medida no instante em que a mesma é realizada;
 - **Registradores**, capazes de armazenar certo número de leituras;
 - **Totalizadores**, que apresentam o valor acumulado da grandeza medida.
- **Princípio de construção física:** bobina móvel, ferro móvel, ferrodinâmico, bobinas cruzadas, indutivo, ressonante, eletrostático. Esses tipos de medidores são tipicamente analógicos. Os aparelhos digitais utilizam majoritariamente circuitos eletrônicos comparadores.

- **Finalidade** de utilização:
 - Para **laboratórios**: aparelhos que primam pela exatidão e precisão;
 - **Industriais**: embora não sejam necessariamente tão exatos quanto os de laboratório, têm a qualidade da robustez, mostrando-se apropriados para o trabalho diário sob as mais diversas condições.
- **Sensibilidade**: Relação entre o sinal de saída ou resposta do instrumento e a mudança na entrada ou valor medido.
- **Fundo de escala**: O máximo valor que determinado instrumento é capaz de medir sem correr o risco de danos.
- **Resolução**: Menor mudança no valor medido na qual o instrumento responde. Em aparelhos digitais, a resolução corresponde ao incremento dos dígitos mostrados, enquanto nos analógicos a resolução é teoricamente infinita.

1.2 Instrumentos de medição analógica e digital

1.2.1 Instrumentos de medição analógica

Atualmente o campo de aplicação dos equipamentos analógicos são no uso de quadros elétricos onde as grandezas elétricas que se quer analisar não apresentam grandes variações instantâneas (não mudam rapidamente) e a leitura pretendida não necessita grande rigor. Na Figura 1.2 é apresentado um quadro elétrico, que tem a função de alimentar algum equipamento elétrico, industrial por exemplo. Nesse equipamento, pode-se ver que existem medidores analógicos para medição de corrente e potência fornecida pelo painel.



Figura 1.2

Entretanto, com o advento dos sistemas supervisórios, sistemas digitais modernos, veio o maior desuso de painéis analógicos na medição de grandezas.

Outro uso para os instrumentos analógicos é na utilização de bancada, para medir tensão de tomadas, resistência de dispositivos eletrônicos, dentre outros tipos de medições de pequeno porte. Nesse caso, geralmente os instrumentos analógicos vêm na forma de um aparelho denominado **multímetro** ou **multiteste**, como apresentado na Figura 1.3.



Figura 1.3

O multímetro analógico tem a função de voltímetro, amperímetro, ohmímetro, entre outros, em um mesmo dispositivo, apenas mudando a escala com um seletor.

E

1.2.2 Instrumentos de medição digital

Diferentemente dos instrumentos de medição analógico, os instrumentos de medição digital utilizam **sistemas digitais** para cálculo de medidas e **conversores analógico digitais (ADCs)** para entregar os valores elétricos para o sistema digital.

Os instrumentos de medição digitais são mais amplamente utilizados na atualidade, pois sistemas digitais apresentam vantagens em relação à galvanômetros. Alguns problemas em relação a instrumentos de medição analógicos, geralmente não encontrados em dispositivos de medição digital são:

- O envelhecimento e o funcionamento dos instrumentos fora das condições de temperatura, pressão e humidade aconselhadas pelo fabricante afetam significativamente a sua exatidão;
- A utilização de ponteiros e escalas graduadas conduz a erros grosseiros;
- São afetados pelos campos eletromagnéticos de origem externa (ex: campo magnético terrestre);
- A sua operação é local e manual e existe dificuldade, ou mesmo impossibilidade em termos práticos, de os integrar em sistemas automáticos de medida;
- Exigem uma calibração periódica devido aos desajustes mecânicos associados à própria utilização dos instrumentos e a elevada sensibilidade em relação às condições ambientais;
- Total ausência de procedimentos de autocalibração, presente em dispositivos digitais;
- Tipicamente a exatidão é limitada a 0,5 % ou na melhor das circunstâncias a 0,1 % do final da escala (instrumentos de classe 0,1).

O instrumento de medição digital mais amplamente usado por técnicos e engenheiros eletrônicos é o **multímetro digital**, (do inglês *Digital Multimeter - DMM*) capaz de medir diversas grandezas através da mudança de escala. Além disso, o indicador é feito de um **display de cristal líquido (LCD)** que mostra os valores medidos em dígitos como apresentado na Figura 1.4.



Figura 1.4

Outras vantagens em um sistema digital é que é possível a ampliação de funções geralmente não encontradas em instrumentos analógicos como teste de continuidade e de transistores, por exemplo.

Outros tipos de instrumentos de medição analógicos e digitais serão apresentados no decorrer do material, como osciloscópios e alicates amperímetros/wattímetros;

1.3 Outros instrumentos e ferramentas de auxílio

1.3.1 Protoboard

Um **protoboard**, **placa de prototipação**, ou **matriz de contatos** é um material cuja função é conectar diferentes dispositivos eletrônicos sem o uso, ou com o mínimo uso, de fios, para uso de protótipos e circuitos de teste.

Algumas características de um *protoboard* são apresentados na Figura 1.5.

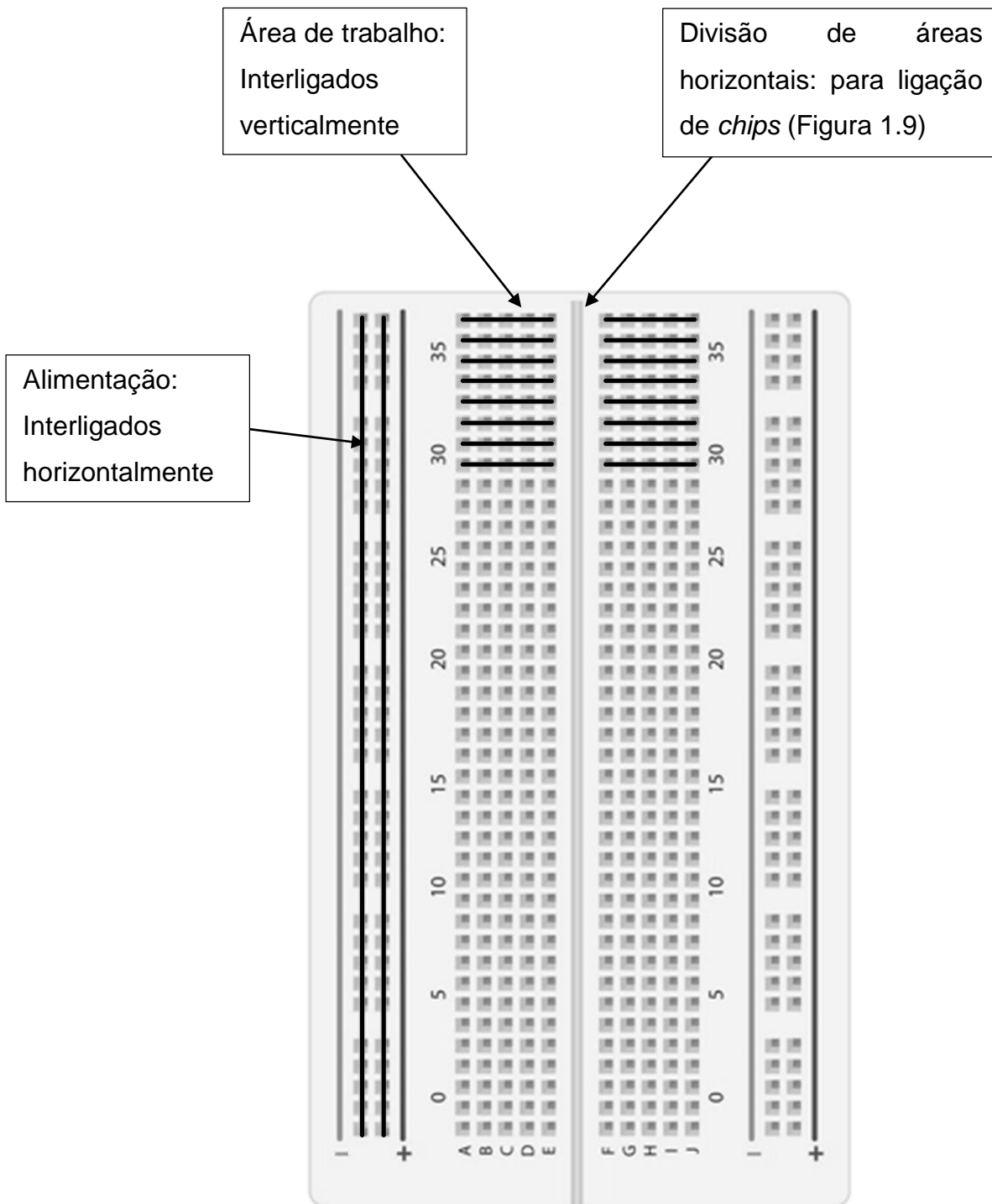


Figura 1.5

Nesse contexto, o resistor mais comumente utilizado em projetos eletrônicos mais simples é o que contém código de cores, como apresentado na Figura 1.6.



Figura 1.6

É possível reconhecer a resistência desse dispositivo, através do código de cores impresso em sua superfície. Esse código de cores pode ser identificado através da tabela apresentada na Figura 1.7.

Note que existem dois tipos de codificação de cores, onde um tipo de codificação possui uma faixa de cores a mais.

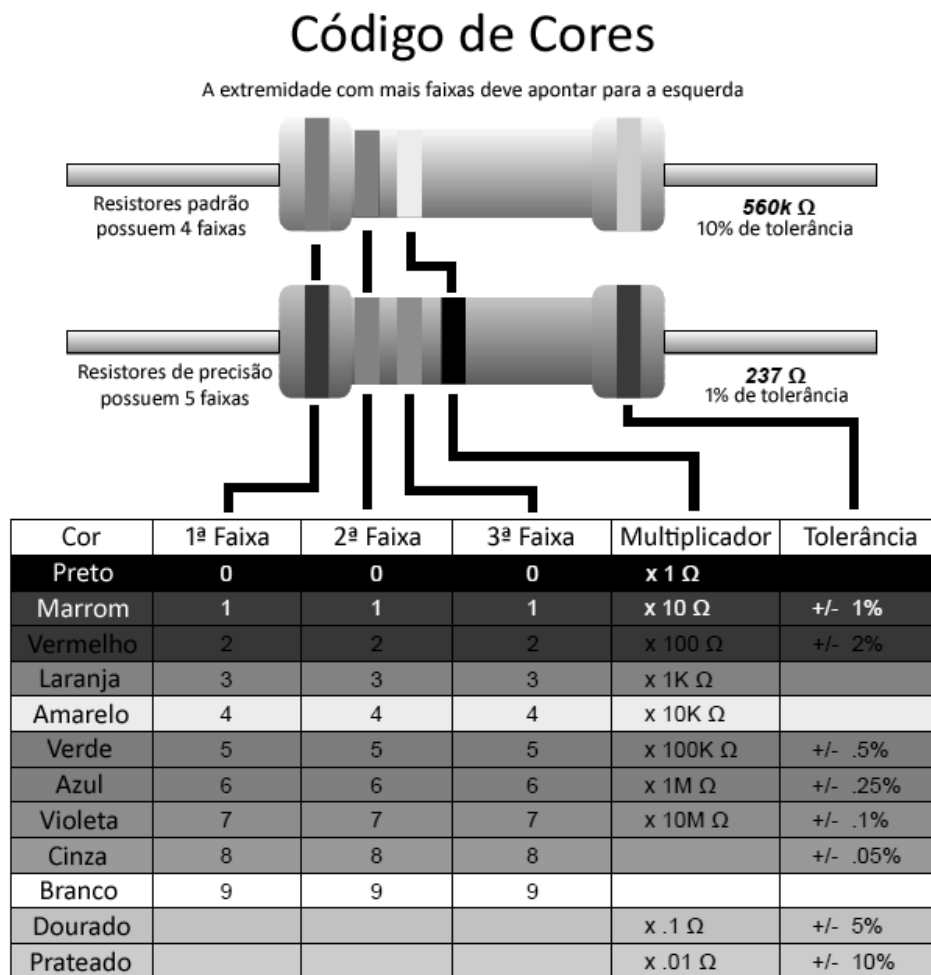


Figura 1.7

No exemplo da Figura 1.7, tem-se um resistor de 560k Ω, com uma tolerância de 10%, ou seja, o valor real do resistor pode estar entre 504k Ω e 620 k Ω.

Além disso, existem resistores para diversas potências, para circuitos onde a corrente é a maior ou menor e são normalmente fabricados com as seguintes potências máximas de dissipação:

$1/8$ W (125 mW)	$1/4$ W (250 mW)	$1/2$ W (500 mW)	1 W	2 W
------------------	------------------	------------------	-----	-----

Na Figura 1.8, são apresentadas como devem ser feitas ligações em série e paralelo quando utiliza-se a *protoboard*.

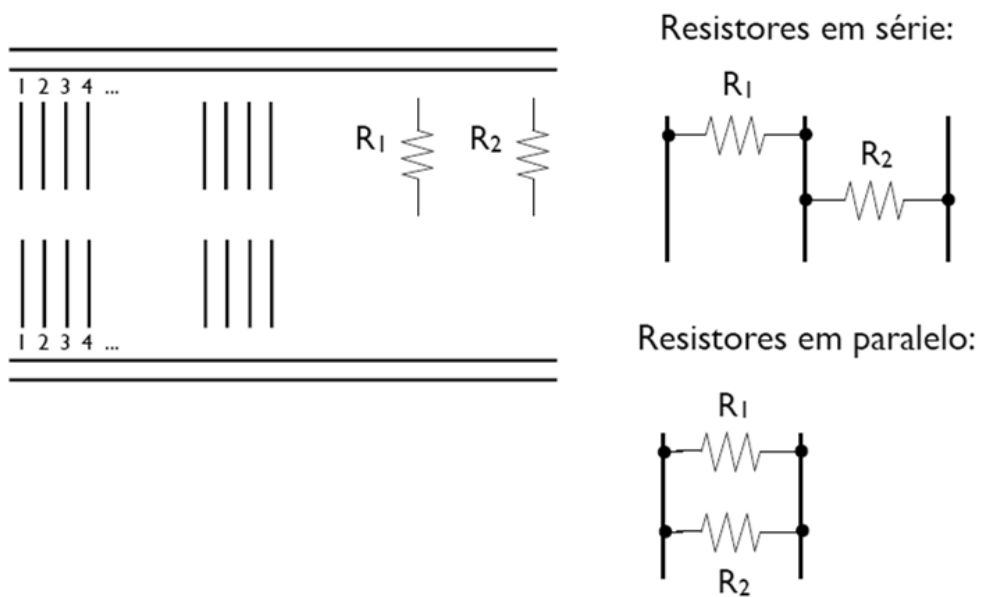


Figura 1.8

O vão no meio da placa tem como função separar as linhas conectadas verticalmente para encaixe de Circuitos Integrados (CIs) com encapsulamento DIP.

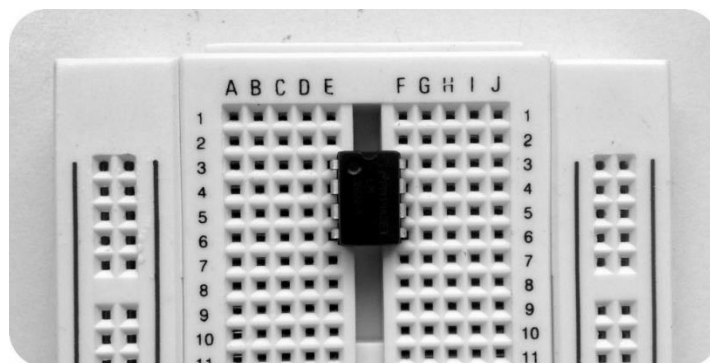


Figura 1.9

1.3.2 Fonte Ajustável DC

Esse instrumento é indispensável em qualquer bancada de teste. A fonte de alimentação converte potência AC de uma tomada comum de parede em uma tensão DC regulada. Todos os circuitos digitais, por exemplo, necessitam de tensão DC (geralmente entre +5 V e +3,3 V). A fonte de alimentação é usada para alimentar os circuitos nas etapas de projeto, desenvolvimento e análise de defeito quando o sistema não possui uma fonte de alimentação própria. A Figura 1.10 mostra fontes de alimentação típicas de bancadas de testes.



Figura 1.10

Serão apresentados no decorrer do material, mais explicações sobre fontes ajustáveis, além de outros instrumentos e ferramentas.

1.4 Proteção em medidas

Sempre quando manusear instrumentos eletroeletrônicos, é necessário proteger-se de forma a não correr risco de choques elétricos.

A título de informação, os seguintes níveis de corrente elétrica e os possíveis efeitos causados no corpo humano são:

- 0,5 mA: limiar de percepção do choque elétrico;
- <10mA: provoca formigamento ou até mesmo pode ser imperceptível dependendo da situação;
- >10 mA: pode provocar fortes contrações musculares e dor, são contrações involuntárias, mas o indivíduo ainda possui uma reação consciente, pois não é forte o suficiente para gerar a perda de consciência;

- 18 mA a 22 mA: muito doloroso e se trata do limiar da parada respiratória. São correntes que normalmente “agarram” o indivíduo, e este passa a ter poucas chances de agir por conta própria;
- 75 mA e 400 mA: provocam fibrilação do coração e podem levar a morte. Neste caso mesmo que seja cessada a circulação da corrente elétrica, a fibrilação tenderá a se manter e com isso ocorre a necessidade de um médico com o equipamento adequado. O processo de fibrilação é uma das maiores causas das mortes ocasionadas por choques elétricos. Choques elétricos com esta ordem de corrente podem também provocar queimaduras, danos musculares e até mesmo sérios problemas psíquicos.

A resistência do corpo humano varia por diversos fatores (corpo seco, corpo molhado, contato com a terra, etc), assim como a corrente que circulará, por causa da lei de Ohm. Uma maneira de uma corrente elétrica circular pelo corpo humano em contato com uma toma tomada é apresentada na Figura 1.11.



Figura 1.11

De acordo com a **Norma Regulamentadora número 10 (NR 10 - Segurança em serviços com eletricidade)** do Ministério do Trabalho do Brasil, tensões menores que 50 V em corrente alternada e 120 V em corrente contínua são inofensivas. Estas são chamadas de **extra baixas tensões (EBT)**. Tensões maiores que 50 V e menores que 1000 V em corrente alternada e entre 120 V e 1500 V em corrente contínua são chamadas de **baixa tensão (BT)**, enquanto tensões de valores iguais ou maiores a 1000 V em corrente alternada e 1500 V em corrente contínua são chamadas de **alta tensão (AT)**.

Os instrumentos de medição vendidos internacionalmente e que apresentam risco de choque elétrico em alta tensão, devem indicar através do símbolo apresentado na Figura 1.12, como proposto pela **ISO (Organização Internacional de Padrões) 3864**.

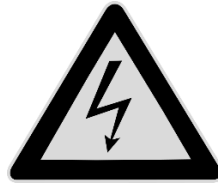


Figura 1.12

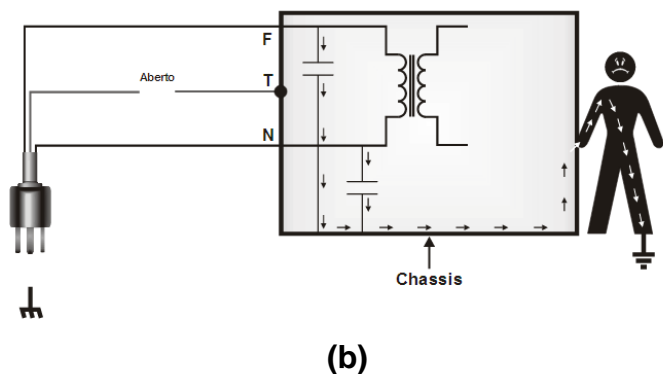
1.4.1 Aterramento

O sistema de proteção que deve ser fornecido por uma instalação elétrica residencial ou industrial é o **aterramento**. Esse sistema previne que o usuário de qualquer equipamento eletroeletrônico devidamente aterrado sofra choque elétrico ou por **correntes de fuga**, ou por que a carcaça, ou chassi, do equipamento não está devidamente isolado de um componente ou um fio desencapado.

Como exemplo, dois condutores, mesmo que isolados, ou duas superfícies metálicas que estejam com potenciais elétricos diferentes em uma proximidade suficiente, fazem fluir correntes elétricas na ordem de microampères, as quais chamamos de correntes de fuga. Na maioria dos casos as correntes de fuga fluem através da capacitância formada por dois condutores ou superfícies metálicas adjacentes que estejam com diferentes potenciais elétricos.

Observe a legenda na Figura 1.13 (a). É exemplificado através da Figura 1.13 (b), um equipamento que não está devidamente aterrado. Caso ocorram correntes de fuga no aparelho, o usuário que estiver em contato direto com o chão (terra) será como um “dreno” para a corrente de fuga.

Já na Figura 1.13 (c) é apresentado um dispositivo devidamente aterrado. Nesse caso, mesmo que o usuário esteja em contato com o **terra**, a corrente de fuga irá “escolher” o caminho mais fácil para seguir, o caminho para o aterramento.



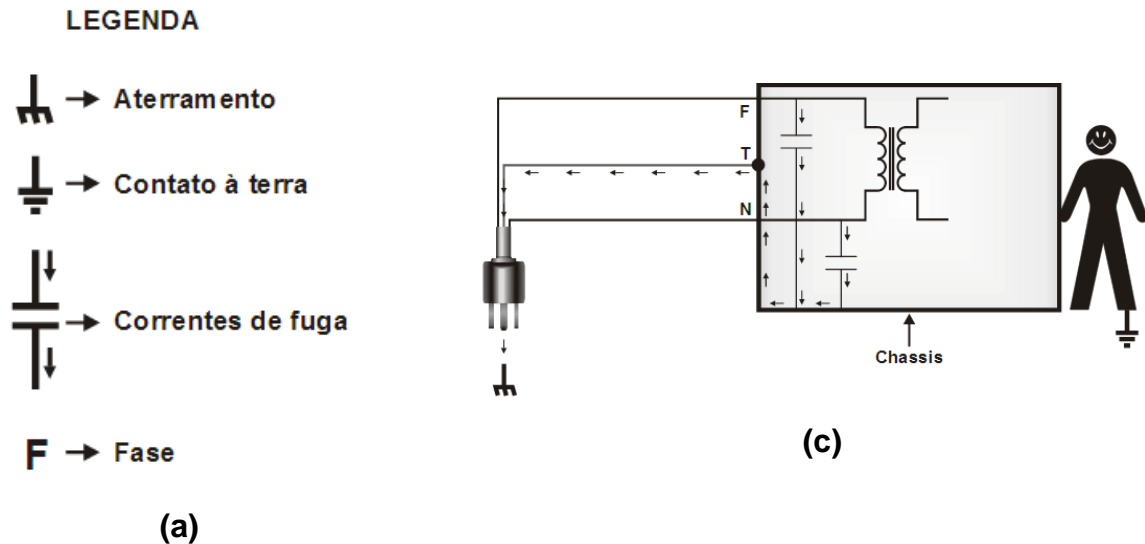


Figura 1.13

1.4.2 Categorias de proteção de equipamentos

Sem entrar em maiores detalhes, a norma internacional IEC / EM 61010-1, regulamenta os dispositivos de medição em BT em **categorias** de proteção de acordo com a proximidade da rede elétrica.

Instrumentos com categorias maiores tem maior **resistência de isolamento** e dessa forma protegem o usuário de **transientes da rede elétrica**. As categorias são:

- **Categoria I (CAT I)**: para medições em circuitos e equipamentos eletrônicos protegidos (alimentados por bateria, isolados da rede por transformador, etc);
- **Categoria II (CAT II)**: aparelhos domésticos, de escritórios, laboratórios e similares; tomadas ou pontos de alta tensão com circuitos de ramificações longas;
- **Categoria III (CAT III)**: utilizados principalmente em barramentos e linhas de alimentação de plantas industriais; painéis de distribuição; tomadas ou conectores com conexões curtas em relação à entrada da rede da concessionária;
- **Categoria IV (CAT IV)**: maior categoria. Utilizados em locais próximos da distribuição elétrica da concessionária, como exemplo, na utilização de medidores de eletricidade e equipamentos de proteção de sobrecorrente primário; linhas de baixa tensão do poste até a construção; linhas aéreas para edifícios isolados, linhas subterrâneas para bombas.

É apresentada a Figura 1.14 como exemplo didático das regiões de instalação elétrica de uma casa e quais categorias de equipamentos utilizar.

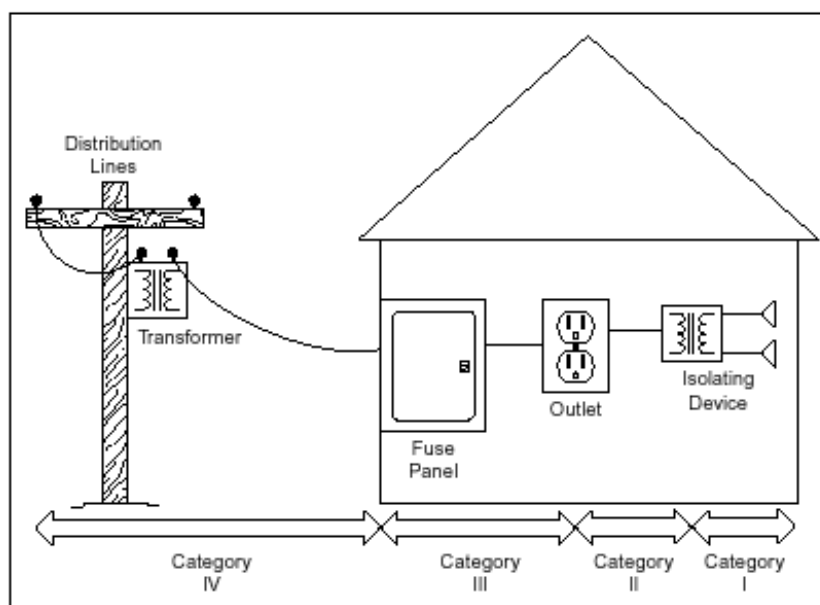


Figura 1.14

1.4.3 Transformadores para instrumentos

Quando se quer realizar a medição em locais de AT, deve-se utilizar **transformadores para instrumentos (TIs)** de forma a isolar o instrumento de medição da alta tensão e proteger o operador.

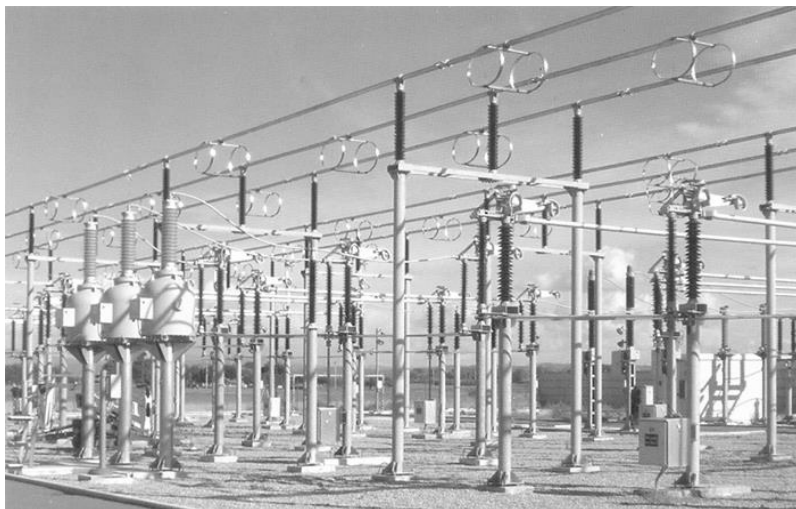
As principais funções dos TIs são:

- Retratar condições reais de um sistema elétrico com a fidelidade necessária;
- Transformam o módulo da grandeza a ser medida sem alterar sua natureza (forma de onda, defasagem);
- Isolar o circuito primário do secundário.

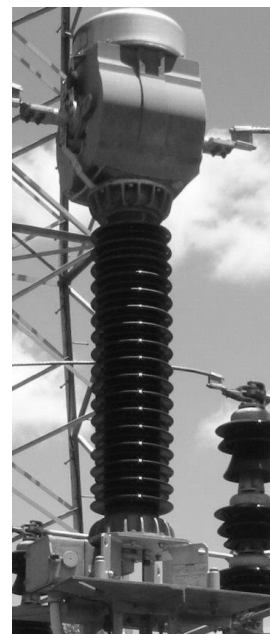
Há dois tipos de Tis:

- **Transformadores de potencial (TPs)**: rebaixam a tensão utilizada. São basicamente utilizadas para medição de tensão.
- **Transformadores de corrente (TCs)**; rebaixam a corrente utilizada. São basicamente utilizadas para medição de corrente.

Ambos são geralmente utilizados em estações de distribuição elétrica como apresentado na Figura 1.15 (a) (“cilindros” escuros) e Figura 1.15 (b).



(a)



(b)

Figura 1.15

2 TEORIA BÁSICA DE ERROS E LEITURA DE MEDIDAS

Erros são a diferença entre a indicação de um instrumento e o valor verdadeiro da grandeza de entrada.

2.1 Erros em relação as suas causas

2.1.1 Erros grosseiros

São sempre atribuídos ao **operador** do equipamento e, de uma maneira geral, pode-se dizer que resultam da falta de atenção. A ligação incorreta do instrumento, a transcrição equivocada do valor de uma observação ou o erro de paralaxe são alguns exemplos. Esses erros podem ser minimizados através da repetição atenta das medidas, seja pelo mesmo observador ou por outros.

2.1.2 Erros sistemáticos

Devem-se as deficiências do instrumento ou do método empregado e às condições sob as quais a medida é realizada. Costuma-se dividi-los em duas categorias:

- **Instrumentais**, inerentes aos equipamentos de medição, tais como escalas mal graduadas, oxidação de contatos, desgaste de peças e descalibração. Podem ser minimizados usando-se instrumentos de boa qualidade e fazendo-se sua manutenção e calibração adequadas.
- **Ambientais**, que se referem às condições do ambiente externo ao aparelho, incluindo-se aqui fatores tais como temperatura, umidade e pressão, bem como a existência de campos elétricos e/ou magnéticos. Para diminuir a incidência desses erros pode-se trabalhar em ambientes climatizados e providenciar a blindagem dos aparelhos em relação a campos eletromagnéticos.

2.1.3 Erros aleatórios

Também chamados erros acidentais, devem-se a fatores imponderáveis (incertezas), como a ocorrência de transitórios em uma rede elétrica e ruídos provenientes de sinais espúrios. Como não podem ser previstos, sua limitação é impossível.

2.2 Erros absolutos e relativos

Quantitativamente, os erros são classificados através de erros absolutos e erros relativos.

O **erro absoluto** é classificado como a diferença entre o valor real de uma grandeza e o valor medido.

$$\text{Erro absoluto} = |\text{Valor real} - \text{Valor medido}|$$

Por exemplo, se o valor real de tensão disponível por uma fonte for de 5 V e o valor medido for 4,5 V, então o erro absoluto é:

$$\text{Erro absoluto} = |5 - 4,5| = 0,5 \text{ V}$$

Em termos práticos, as medidas são classificadas em função do chamado **erro relativo**, geralmente expresso em percentual, o qual indica o quão maior, ou menor, o valor medido é em relação ao valor real. Ou seja:

$$\text{Erro relativo}\% = \frac{\text{Erro absoluto}}{\text{Valor real}} \times 100$$

Por exemplo, se um resistor tem um valor nominal de resistência de 220 Ω e tolerância de $\pm 5\%$, isso indica que o valor daquele resistor pode ser 5% maior que 220 Ω , ou 5% menor que 220 Ω .

Se quisermos achar o erro absoluto no exemplo, substitui-se os valores conhecidos na fórmula acima (Erro relativo = 5%; Valor Real = 220 Ω):

$$5 = \frac{\text{Erro absoluto}}{220 \Omega} \times 100$$

Rearranjando:

$$\text{Erro absoluto} = \frac{5 \times 220 \Omega}{100}$$

$$\text{Erro absoluto} = 11 \Omega$$

Exercícios 2.1

1. Um instrumento de medição amperímetro cuja escala é compreendida de 0 à 5 A, é caracterizado pela classe de exatidão 1,5 (limite de erro relativo ao final da escala = 1,5 %). Calcule o erro relativo, para os seguintes valores de medição: 300 mA, 500 mA, 1 A, 1,5 A, 2 A e 3 A.
2. Suponha que se queira medir a corrente fornecida por uma bateria para um circuito. Caso o circuito não esteja operando como se espera, pode-se presumir que a bateria não está fornecendo a corrente necessária. O circuito opera de forma correta se a corrente fornecida for de 100 mA. Até 98 mA é um valor aceitável na medição já que o dispositivo opera até essa corrente. Então, vamos aceitar um erro absoluto nessa medição de 2 mA. A Tabela 2-1 apresenta as classes de exatidão dos instrumentos analógicos. Dessa forma, deve-se utilizar um instrumento de medição analógica para a medição da corrente cuja escala está entre 0 e 1 A. Dentre os valores apresentados, qual deve ser a classe de exatidão mínima para que possa ser efetuada uma leitura com um certo grau de confiança.

Tabela 2-1

Classe de Exatidão	Limites de Erro
0,05	± 0,05%
0,1	± 0,1%
0,2	± 0,2%
0,5	± 0,5%
1,0	± 1,0%
1,5	± 1,5%
2,5	± 2,5%
5,0	± 5,0%

3. Pelo que foi observado, o que ocorre com o erro relativo ao fundo de escala, quanto menor o valor medido? Após verificar, pergunte para o professor, sobre qual a implicância desse fato da prática.

2.3 Exatidão, precisão e incerteza

Exatidão é a capacidade do instrumento de medição para dar leituras próximas ao valor verdadeiro da variável medida, enquanto **precisão** indica o quão próximos são os valores medidos em diferentes circunstâncias.

Um instrumento preciso não é necessariamente exato, como pode ser observado na Figura 2.1.

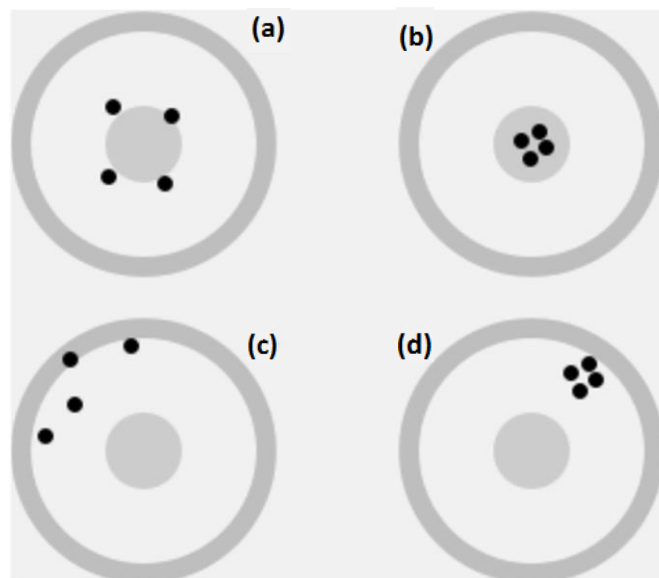


Figura 2.1

Supondo o centro como sendo valores próximos do real, na Figura 2.1 (a), tem-se valores exatos, mas imprecisos. Na Figura 2.1 (b), tem-se valores exatos e precisos. Na Figura 2.1 (c), tem-se valores que não são exatos, nem precisos. Por fim, na Figura 2.1 (d), tem-se valores precisos, mas inexatos.

O processo de calibração de um instrumento tem por objetivo garantir uma precisão e exatidão aceitáveis, segundo normas vigentes. Para garantir a exatidão, um instrumento de medida denominado **padrão**, destina-se a definir, conservar ou reproduzir a unidade base de medida de uma grandeza para que outros instrumentos possam replicar sua exatidão na medição.

Para garantir uma determinada precisão, uma série de medidas e cálculos estatísticos devem ser realizadas. A partir disso, o fabricante determina qual a faixa de precisão das medidas que aquele instrumento realiza. Supondo um instrumento com uma faixa de precisão de $\pm 0,1\%$ e uma leitura de 100 V em uma dada medida, não quer dizer que o erro na medida seja 10 V. O que a precisão garante é que para qualquer leitura o valor amostrado pelo instrumento não “foge” dos $\pm 0,1\%$ do que está sendo apresentado.

O termo exatidão está então relacionado com o erro, que é difícil de mensurar, pois é necessário o valor real, enquanto o termo precisão está relacionado com a **incerteza** na medição. Dessa forma, na maioria dos instrumentos, o grau de confiabilidade na leitura é dada pela incerteza, uma faixa de precisão das leituras. Entretanto, como pode ser visto nos exercícios 2.1 alguns instrumentos definem um **limite de erro** para garantir o grau de confiabilidade das medidas.

2.4 Arredondamentos de medidas

O **arredondamento** é o processo mediante o qual se eliminam algarismos menos significativos em um valor medido. No Capítulo 3, veremos alguns critérios para considerar alguns algarismos como menos significativos em um instrumento de medição digital.

Por exemplo, supomos que queremos arredondar o valor 12,6729 V para duas casas decimais, porquê os dois últimos algarismos são irrelevantes no resultado (29) por alguma razão. O último algarismo (7) no arredondamento deve ser transformado.

As regras de arredondamento, seguindo a Norma ABNT NBR 5891 para transformar esse último algarismo são:

- Se os algarismos decimais seguintes forem menores que 50, 500, 5000..., o anterior não se modifica.
- Se os algarismos decimais seguintes forem maiores ou iguais a 50, 500, 5000..., o anterior incrementa-se em uma unidade.

No exemplo mencionado, o algarismo 7 não se modifica, pois os algarismos seguintes são $29 < 50$. Dessa forma, nesse arredondamento temos: 12,67 V.

Por outro lado, se o número for 12,86512 V, e queira se arredondar para duas casas decimais, incrementa-se o último algarismo no arredondamento (6) já que $512 > 500$. Dessa forma, o arredondamento fica como: 12,87 V.

Em uma operação aritmética, o resultado final tem a mesma quantidade de algarismos decimais que o fator com menor número de dígitos decimais. Por exemplo:

$$4,35 \times 0,868 + 0,6 = 4,3758 = 4,4$$

Durante as operações, os resultados intermediários podem ser expressos com todos os algarismos significativos. Ao final faz-se o arredondamento.

Exercícios 2.2

1. Arredonde os seguintes valores para duas casas decimais:

- (a) 9,733 (b) 15,7500 (c) 273,500 (d) 2003,147517 (e) 3.1415926

2. Some os seguintes valores realizando o correto arredondamento no resultado final:

- (a) $220,75 \, \Omega + 100,312 \, \Omega + 50,734 \, \Omega$
(b) $15,70 \, \text{V} + 5,8756 \, \text{V} + 7,37 \, \text{V}$
(c) $100,00 \, \text{mA} + 52,867 \, \text{mA} + 79,456 \, \text{mA}$
(d) $15 \, \text{W} + 3,178 \, \text{W} + 7,43638 \, \text{W}$

2.5 Calibração e Ajuste

A **calibração** de um instrumento é o processo para se obter o valor físico da medida mensurada pelo dispositivo, e obtenção do erro que pode ser gerado durante uma medida. A calibração deve ser testada e validada por órgãos de fiscalização (Ex.: INMETRO) seguindo normas específicas (ex.: ABNT NBR). Ao final de uma calibração, um **certificado de calibração** deve ser emitido pela empresa que realizou o trabalho.

Já um **ajuste**, é uma operação corretiva destinada a fazer que um equipamento de medição tenha desempenho compatível com o seu uso. O ajuste pode ser automático, semi-automático ou manual.

De acordo com o VIM de 2012, o termo **aferição** não está mais em uso. Esse termo esteve em desuso por um período de 8 anos aproximadamente e retornou em 2003 como um sinônimo de **calibração**. Entretanto, em 2008, uma nova revisão do VIM retirou novamente o termo aferição. Assim é recomendável o uso dos termos atuais “calibração” e “ajuste”.

3 MEDIÇÕES DE CORRENTE E TENSÃO COM O MULTÍMETRO DIGITAL

3.1.1 O Amperímetro e o Voltímetro

Antes de começar o estudo sobre medições com o multímetro digital (DMM), deve-se entender os conceitos sobre amperímetro e voltímetro.

Um amperímetro é o instrumento básico para a medição de corrente elétrica e seu símbolo é apresentado na Figura 3.1.

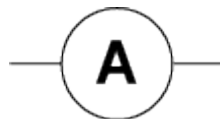


Figura 3.1

O amperímetro deve estar no caminho (ramo), onde a corrente circula para poder realizar a medição. A corrente deve “entrar” e “sair” do instrumento, como apresentado na Figura 3.2, onde se quer achar a corrente no resistor. O amperímetro deve estar em série com o elemento que se queira medir a corrente.

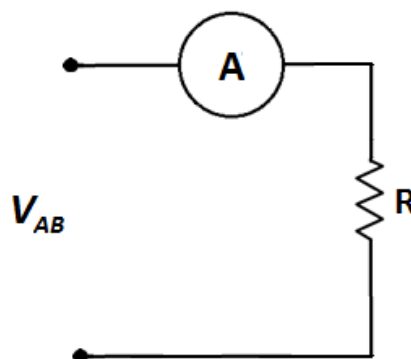


Figura 3.2

Para interferir o menor possível no circuito sob medição, a resistência do amperímetro deve ser praticamente nula. Dessa forma, nunca poderemos medir a corrente em paralelo

com uma fonte de tensão como apresentado na Figura 3.3. Isso fará com que um curto circuito ocorra no instrumento, gerando uma grande corrente e danificando o dispositivo.

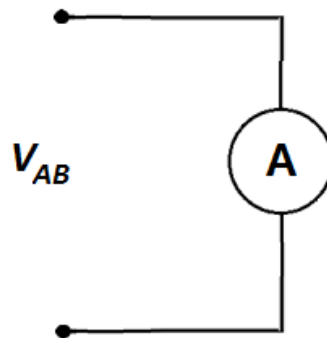


Figura 3.3

Em um multímetro, o amperímetro tem múltiplas escalas. Isso é possível através de diversas resistências, denominadas de **resistências de derivação** (ou **shunt**), que tem como função desviar a corrente que passa pelo amperímetro como observado na Figura 3.4.

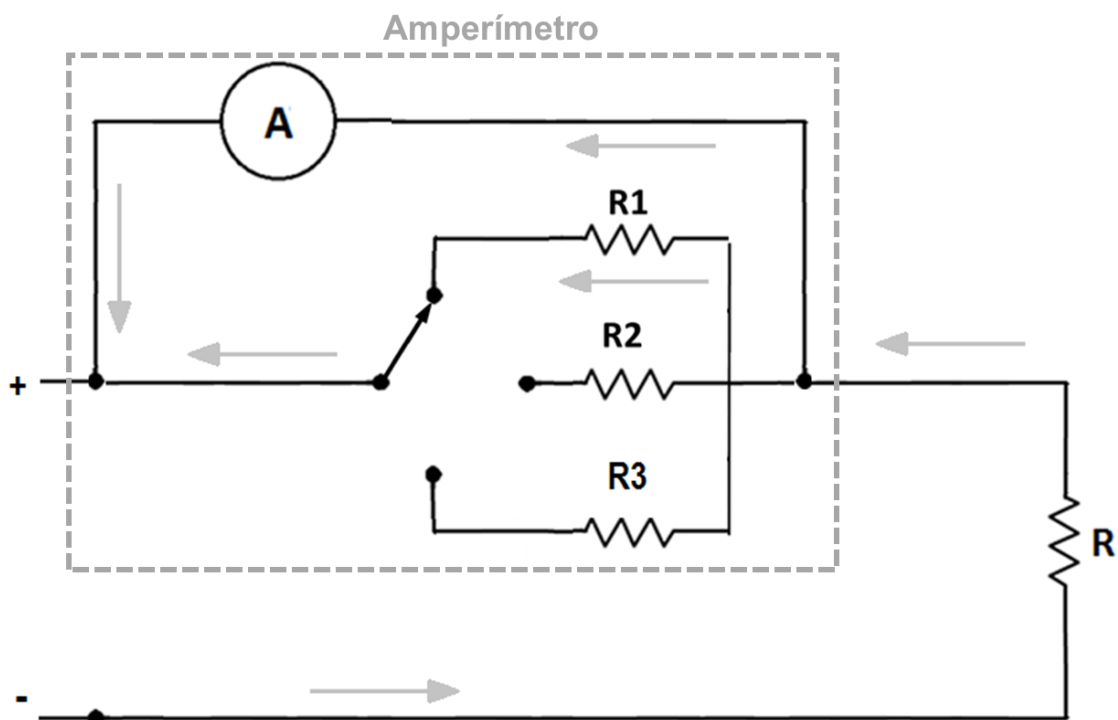


Figura 3.4

Quanto maior a corrente que se quer medir, menor será o valor da resistência de derivação. Dessa forma, existe uma relação de proporção entre o resistor de derivação e o

máximo valor que se pode medir. Se quer se medir uma corrente dez vezes maior que a anterior, seleciona-se um resistor dez vezes menor que o anterior.

Já um voltímetro é o instrumento básico para a medição de tensão elétrica e seu símbolo é apresentado na Figura 3.5.

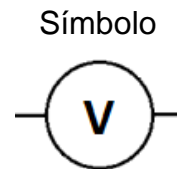


Figura 3.5

A diferença de potencial em um resistor é medida colocando-se um voltímetro no resistor, em paralelo com ele, como mostrado na Figura 3.6, para que a queda de potencial seja a mesma no voltímetro e no resistor.

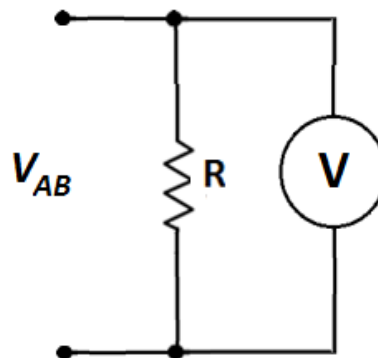


Figura 3.6

O voltímetro deve ter uma resistência extremamente elevada para que seu efeito na corrente do circuito seja desprezível. O voltímetro reduz a resistência entre os pontos A e B, aumentando, assim, a corrente total no circuito e variando a queda de potencial no resistor.

Nos DMMs, é necessário selecionar a grandeza a ser medida através de um seletor, como apresentado na Figura 3.7, e o valor máximo medido pela escala para ajustar a sensibilidade do aparelho.

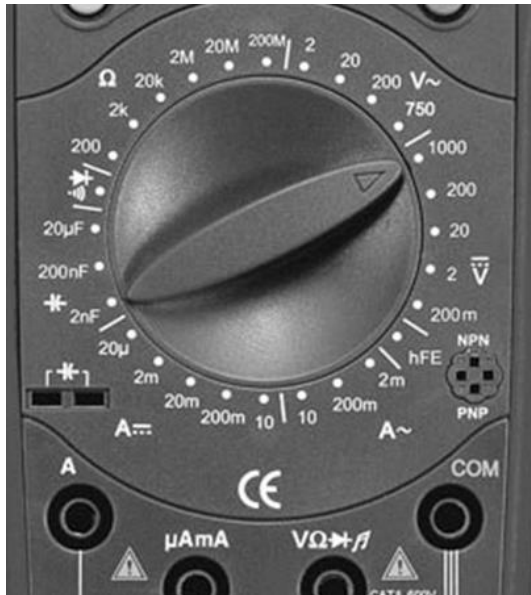


Figura 3.7

Quando DMMs tem mais opções de medição, a escala de medição de tensão ou corrente do multímetro não deve ser menor do que a grandeza a ser medida, pois isso acarretará em danos ao instrumento de medição do aparelho. Assim, deve-se começar a medição com a seleção da maior escala de leitura possível e diminuí-la à medida que o valor medido assim o permitir. Não gire a chave seletora de faixas do multímetro quando o mesmo estiver conectado ao circuito, entre medidas sempre desligue a alimentação e o desconecte.

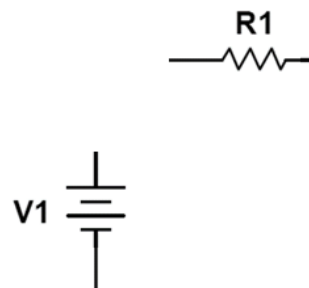
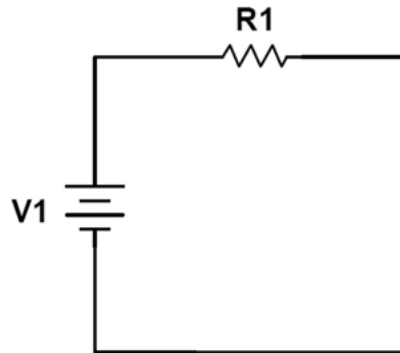
Exercícios 3.1

- 1) Redesenhe cada circuito esquemático abaixo, o circuito de forma que sejam inseridos os instrumentos adequados nas posições corretas para fazer a medição das tensões e correntes que se pedem.

a)

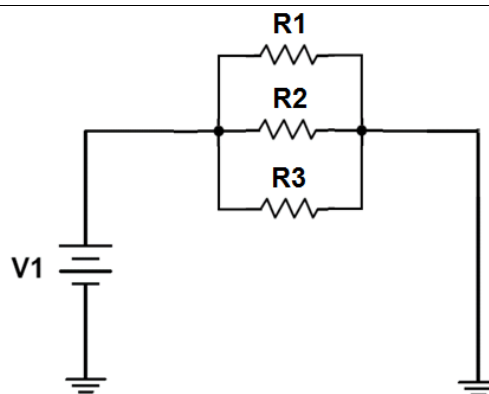
Tensões: V1 e VR1;

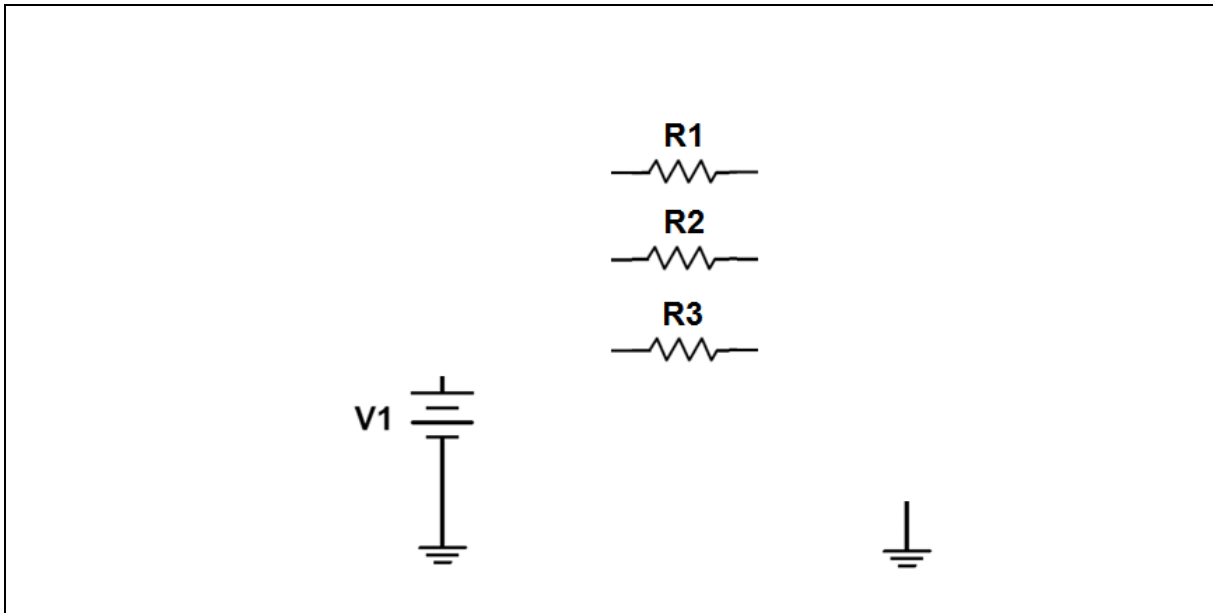
Corrente em R1.

**b)**

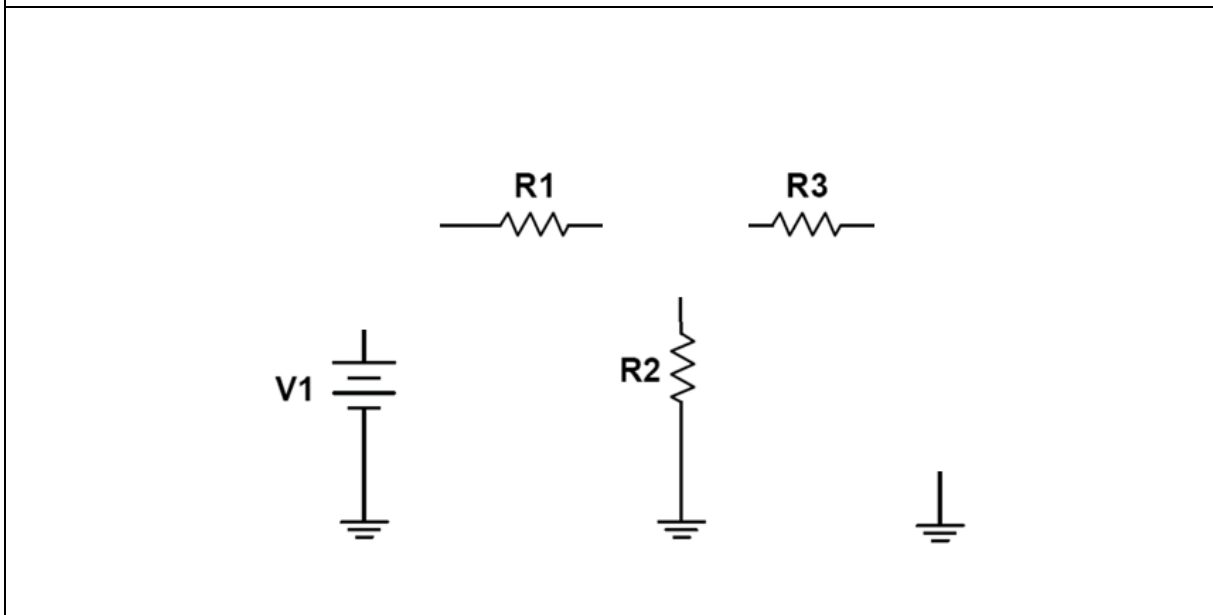
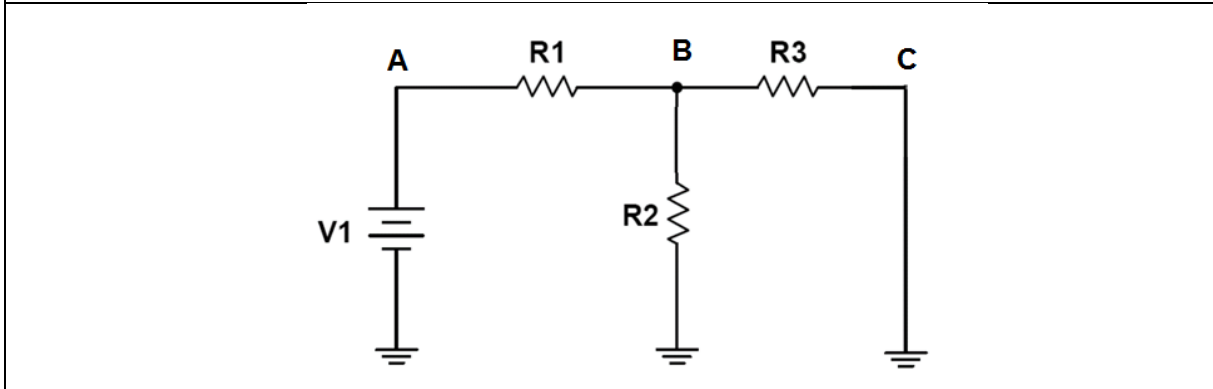
Tensões: V1, VR1, VR2 e VR3;

Corrente em V1, R1, R2, R3 e a corrente total da associação de resistores.

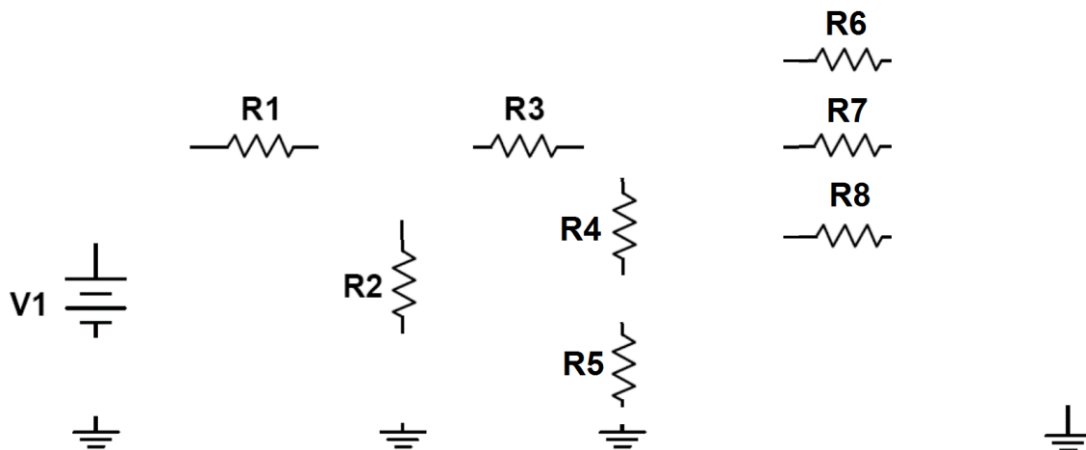
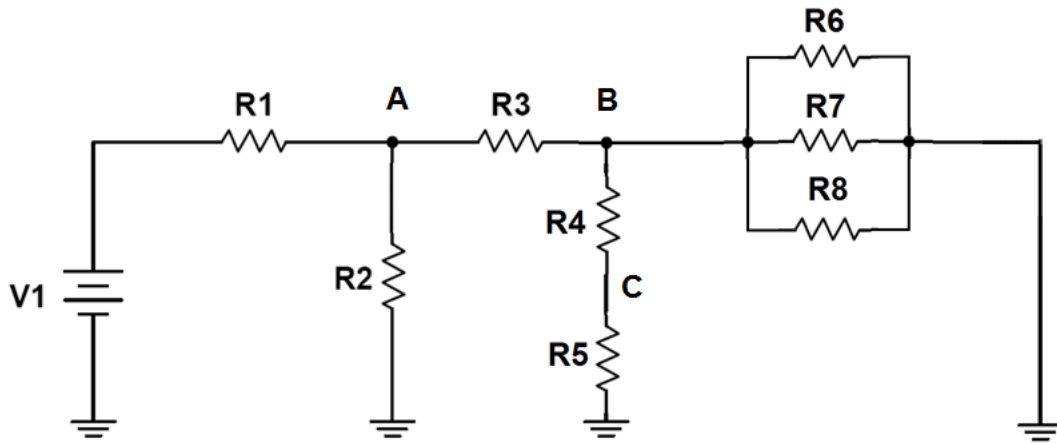




c)
 Tensões: V_A , V_B , V_C , V_{R1} , V_{R2} e V_{R3} ;
 Corrente em $V1$, $R1$, $R2$ e $R3$.



d)

Tensões: V_A , V_B , V_C , V_1 , V_{R1} , V_{R2} , V_{R3} , entre R_4 e R_5 , R_6 , R_7 e R_8 ;Correntes em V_1 , R_2 , R_5 , R_6 e a corrente total da associação de resistores R_6 , R_7 e R_8 .

3.2 Resolução em DMMs

A resolução dos equipamentos digitais é dada pelo número de incrementos no display e da escala de medição. Por exemplo, para um display digital de “3 1/2” dígitos como

exemplificado na Figura 3.8, os 3 dígitos mais à direita irão variar de 0 à 9 e o mais à esquerda será o valor 1 ou nada.

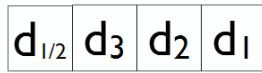
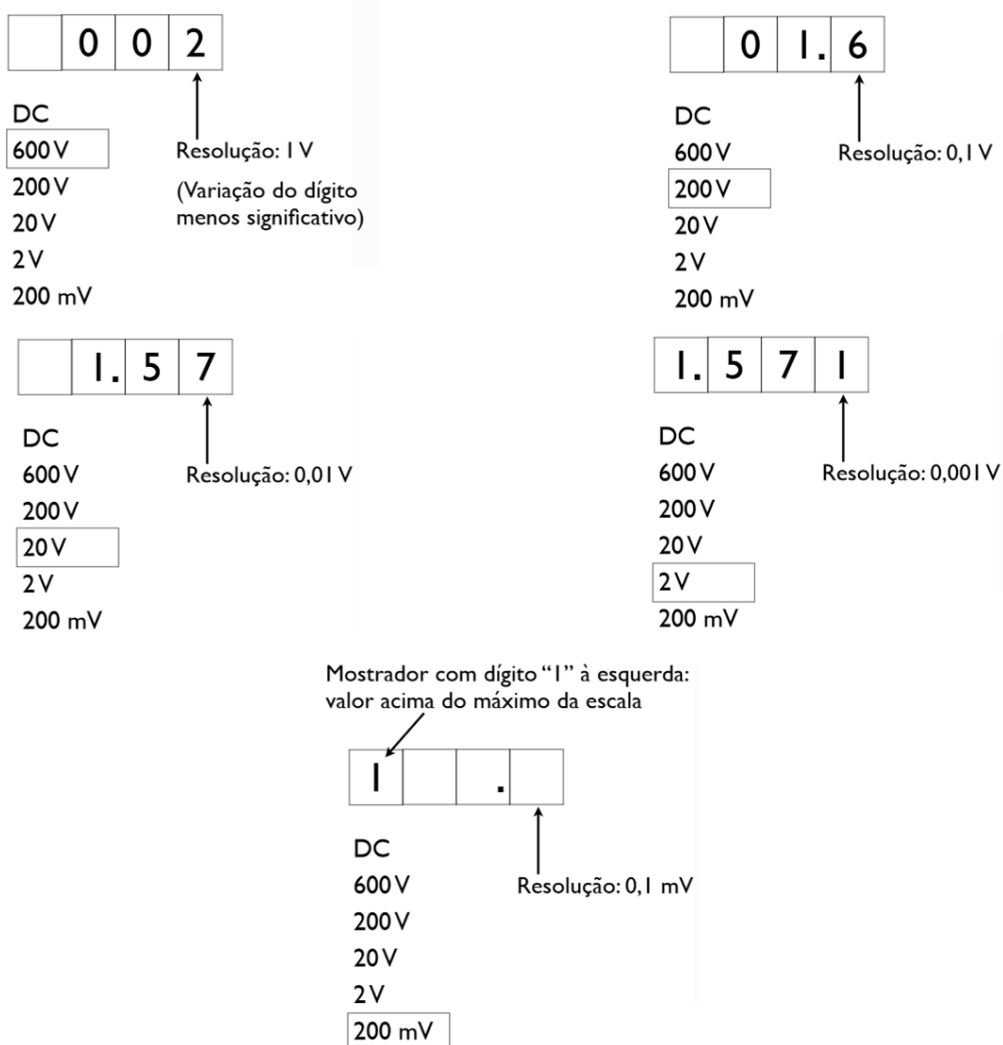


Figura 3.8

Supondo que o DMM contenha as seguintes escalas de tensão contínua, vamos supor a leitura de uma pilha com tensão próxima à 1,571 V:



Note que em cada tipo de medição houve um erro envolvido, denominado **limite de erro** para a escala de leitura. Por exemplo, para o multímetro Fluke 117, o limite de erro para uma leitura com escala de 600 mV e resolução de 0,0001 V = 0,1 mV CC é:

$$\text{Erro} = \pm(2\% \text{ leitura} + 3 \text{ contagens})$$

Onde,

- Leitura: é o valor medido;
- Contagens: é o número de contagens (incrementos) feitos a partir de zero nessa escala. Por ex.: com resolução de 0,1 mV, o número de contagens seria $0,1 \text{ mV} \times 3 = 0,3 \text{ mV}$.

Por exemplo, se tivermos medindo 10 mV, o limite de erro nessa leitura seria de:

$$\text{Erro} = 2\% \ 10 \text{ mV} + 3 \text{ contagens}$$

$$\text{Erro} = 0,2 \text{ mV} + 0,3 \text{ mV} = 0,5 \text{ mV}$$

3.2.1 Algarismos duvidosos em DMMs

Os resultados de uma medida devem ser representados com apenas os algarismos de que se tem certeza mais um único **algarismo duvidoso**.

Como exemplo, observe a Figura 3.9. O último algarismo (4), pode ser procedido de um valor qualquer diferente de 0, sendo menor que 5 (arredondamento pra 5), ou maior que 5 (arredondamento pra 4).



Figura 3.9

Dessa forma, colocar um algarismo 0 depois do 4 seria inferir um valor sem termos nenhuma evidência de que se trata realmente desse valor.

Exercícios 3.2

1. Tomando como base o exemplo da Figura 3.8 e as medições da bateria, quais os limites de erro para cada escala do multímetro apresentadas na Tabela 3-1?

Tabela 3-1

Escala	Resolução	Precisão (Limite de erro)
200 mV	100 μ V	\pm (0,5% leitura + 2 contagens)
2 V	1 mV	\pm (0,5% leitura + 2 contagens)
20 V	10 mV	\pm (0,5% leitura + 2 contagens)
200 V	100 mV	\pm (0,5% leitura + 2 contagens)
600 V	1 V	\pm (0,8% leitura + 2 contagens)

Tarefas Práticas 3.2

1)

- **Objetivo:** Montar o circuito apresentado na Figura 3.10 e medir as tensões nos pontos A, B e C, em relação ao comum (GND), de acordo com os valores de tensão da fonte apresentados na Tabela 3-2.

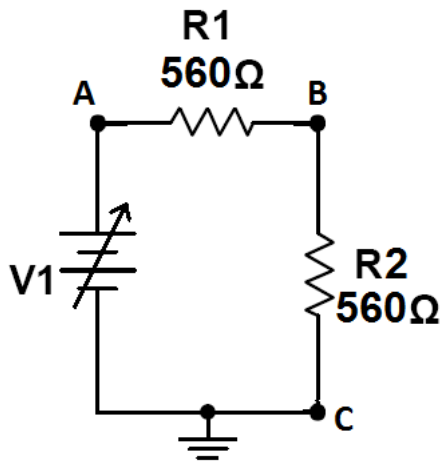


Figura 3.10

Tabela 3-2

Tensão (Volts)			
V1	A	B	C
2			
5			
10			
15			
25			

- **Materiais:**

- Fonte ajustável DC
- 2 Resistores 560 Ω - ½ W
- *Protoboard*
- DMM
- Fios para ligação

- **Procedimentos:**

- 1º. Com a fonte desligada, coloque todos os botões da fonte ajustável no mínimo.
- 2º. Ajuste a corrente para 30 mA, como explicado pelo professor em aula.
- 3º. Desligue a fonte.
- 4º. Coloque os resistores no *protoboard*.
- 5º. Conecte os cabos vermelho (+) e preto (-) da fonte ajustável DC nos bornes vermelho e preto do *protoboard*, respectivamente.

- 6º. Conecte um fio entre o borne vermelho em uma trilha indicada com +, e outro fio entre o borne preto e uma trilha indicada com -.
- 7º. Faça a conexão entre os resistores e as trilhas mencionadas no 6º passo de acordo com a Figura 3.10.
- 8º. Ligue a fonte ajustável.
- 9º. Coloque o multímetro na escala de tensão próxima ao valor à ser medido.
- 10º. Meça as tensões indicadas na Figura 3.10 e preencha a Tabela 3-2.
- 11º. Calcule analiticamente os valores de tensão para comparar os valores dos resultados obtidos com os valores exatos e apresente ao professor.
- 12º. Com base nos valores da tabela mostre ao professor, como seriam calculadas as quedas de tensões nos resistores.

2)

- **Objetivo:** Montar o circuito apresentado na Figura 3.11 e medir as correntes nos seus ramos, em relação ao comum (GND), de acordo com os valores de tensão da fonte apresentados na Tabela 3-3.

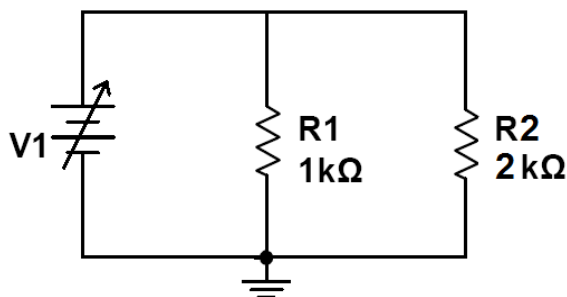


Figura 3.11

Tabela 3-3

Tensão (V)	Corrente (mA)		
	V1	R1	R2
V1			
2			
5			
10			
15			
25			

- **Materiais:**
 - Fonte ajustável DC
 - Resistores de 1 KΩ e 2 KΩ - 1/2 W
 - *Protoboard*
 - DMM
 - Fios para ligação
- **Procedimentos:**

- 1º. Ajuste a corrente da fonte para 30 mA.
- 2º. Coloque os resistores no *protoboard*.
- 3º. Conecte os cabos vermelho (+) e preto (-) da fonte ajustável DC nos bornes vermelho e preto do *protoboard*, respectivamente.
- 4º. Conecte um fio entre o borne vermelho em uma trilha indicada com +, e outro fio entre o borne preto e uma trilha indicada com -.
- 5º. Faça a conexão entre os resistores e as trilhas mencionadas no 4º passo de acordo com a Figura 3.11.
- 6º. Ligue a fonte ajustável.
- 7º. Coloque o multímetro na maior escala de corrente. Se o resultado for zero, diminua a escala até encontrar um valor de corrente.
- 8º. Meça as correntes de V1, R1 e R2 e preencha a Tabela 3-3.
- 9º. Utilize a fórmula da lei de Ohm e lei dos nós para comparar os valores dos resultados obtidos com os valores exatos e apresente ao professor.

3.3 Fonte Simétrica

Uma **fonte simétrica** é útil quando se quer utilizar tensões positivas e negativas como alimentação. Um exemplo é mostrado na Figura 3.12, onde um amplificador operacional necessita ser alimentado por uma tensão de +6 V e outra de -6 V. Ambos os potenciais devem ter em comum o mesmo 0 V.

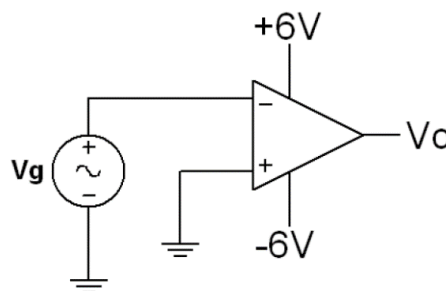


Figura 3.12

Para este exemplo, pode-se utilizar duas fontes de 6 V, onde a ligação entre as fontes é o comum (terra, ou GND) do circuito, e se tem duas polaridades, uma com +6 V e outra com -6 V, como apresentado na Figura 3.13 (a).

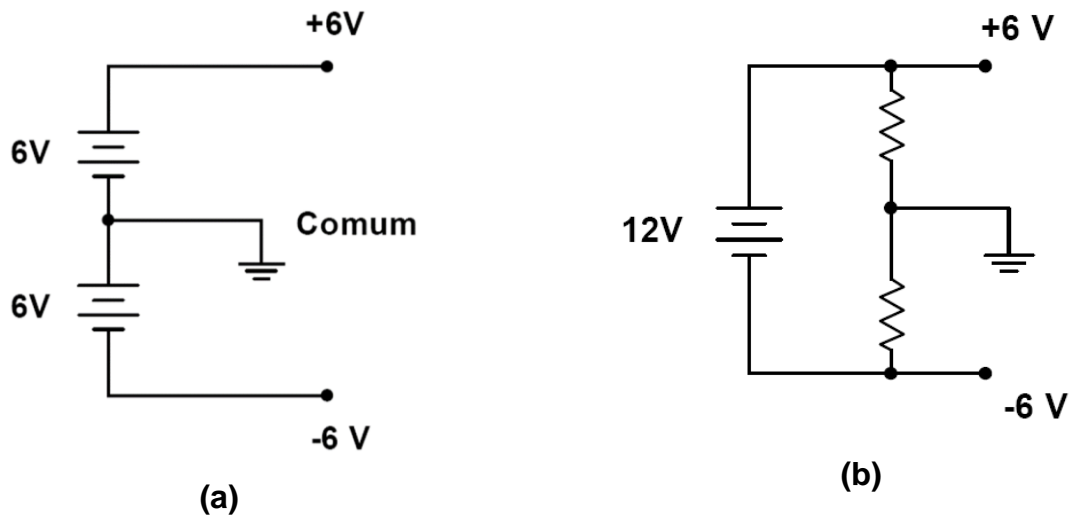


Figura 3.13

Chamamos este arranjo de fonte simétrica. Outra forma de se criar uma fonte simétrica é utilizar apenas uma fonte de tensão em paralelo com um divisor de tensão, como apresentado na Figura 3.13 (b), ao custo de um consumo de potência extra pelos resistores.

As fontes ajustáveis geralmente vêm com 3 bornes de entrada para alimentação: um para a polaridade positiva, outro para negativa e outro que está ligado ao terra do equipamento denominado GND, como mostra Figura 3.14.



Figura 3.14

O borne GND é geralmente desconsiderado, e utiliza-se apenas os terminais positivo e negativo, sendo o negativo o comum do circuito.

Quando se tem mais de duas fontes ajustáveis em um mesmo aparelho, pode-se ter a opção de utilizar as fontes de forma **independente**, em **série**, ou em **paralelo**, geralmente com o uso de botões como apresentado abaixo.

Para um aparelho com duas fontes ajustáveis de 0 à 30 V, ao ligar em série, pode-se obter uma fonte de 60 V utilizando o terminal positivo de uma como o polo positivo, e o negativo da outra como o comum.

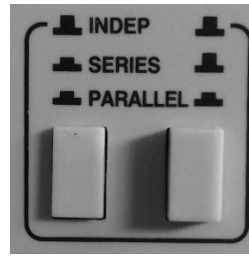


Figura 3.15

Pode-se criar uma fonte simétrica nessa configuração também, nesse caso o borne positivo de uma será o positivo da fonte, o borne negativo de outra será o negativo, e os outros bornes positivo e negativo serão o comum, como apresentado na Figura 3.16.

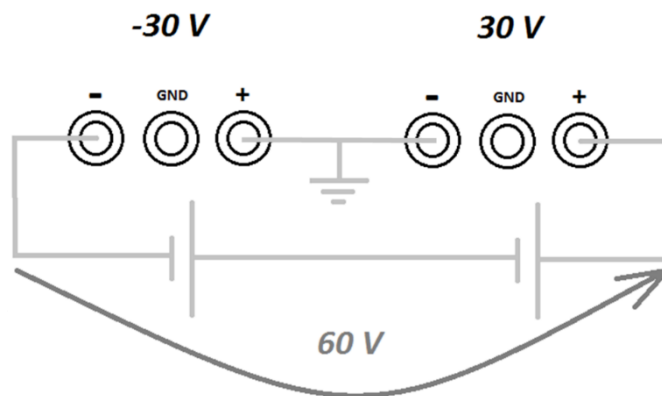


Figura 3.16

Utiliza-se as fontes em paralelo, quando se deseja manter a mesma tensão, mas com o dobro de corrente, como na Figura 3.17.

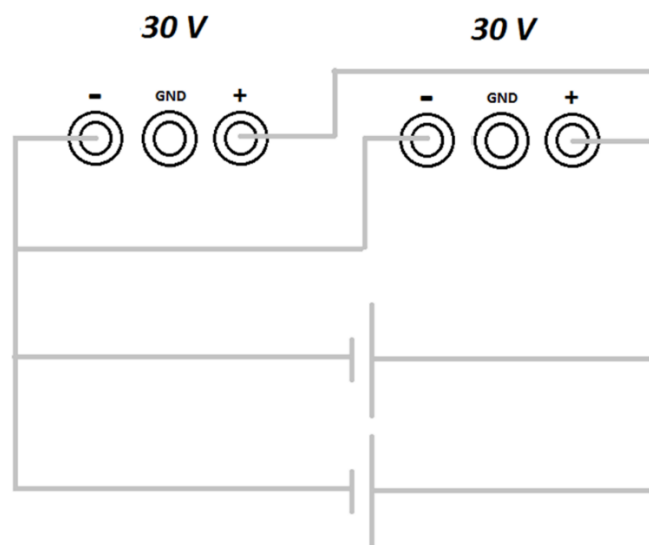


Figura 3.17

3.3.1 Utilizando o potenciômetro

Nesse ponto, é interessante introduzir o componente eletrônico denominado **potenciômetro**, pois será utilizado como divisor de tensão na Tarefa Prática 3.3 (1). Tal dispositivo é um resistor, onde é possível variar a resistência elétrica entre seus terminais através de um cursor.

Na Figura 3.18 é apresentado um modelo bastante utilizado de potenciômetro e um desenho interno do mesmo com a numeração dos terminais.

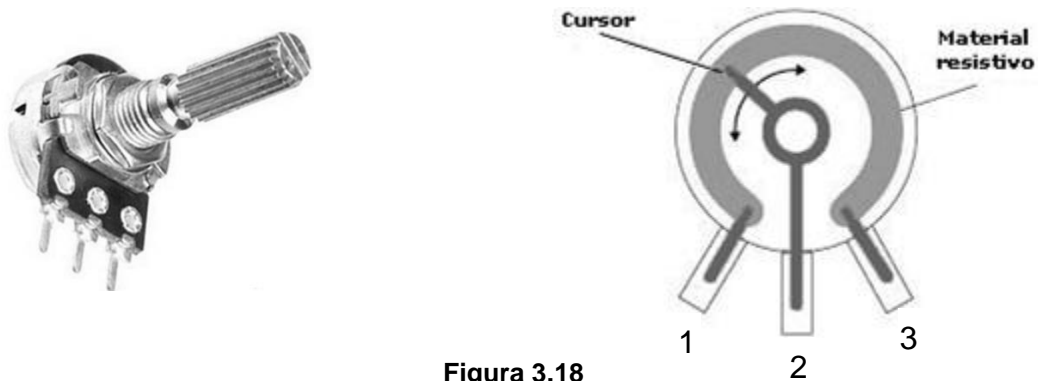


Figura 3.18

O potenciômetro geralmente possui três terminais e um eixo giratório para movimentar o cursor e ajustar sua resistência. Entre os terminais mais extremos existe uma resistência fixa, que é a máxima resistência nominal indicada no dispositivo (10 K Ω , 100 K Ω , 1 M Ω , etc.). A resistência se torna variável entre o terminal do meio e um dos terminais extremos.

As formas de se ligar um potenciômetro são ilustradas na Figura 3.19, onde vamos assumir uma resistência nominal de 10 K Ω .

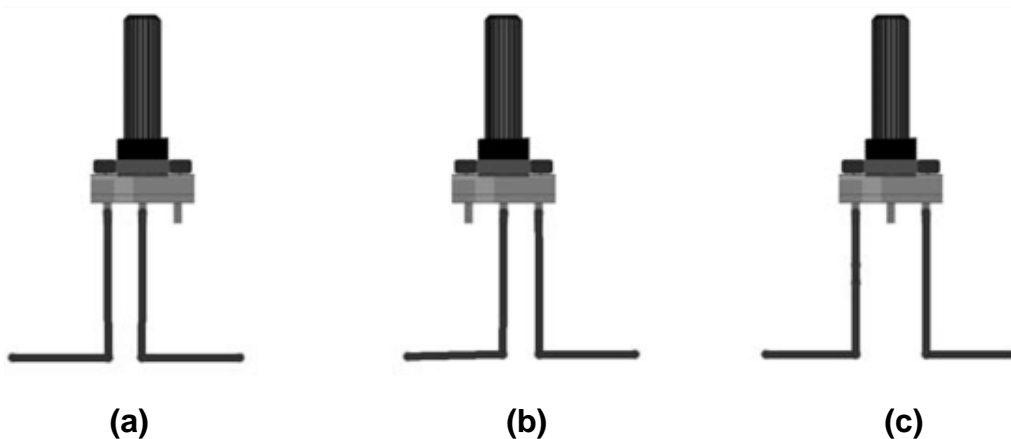


Figura 3.19

Na Figura 3.19 (a) o potenciômetro está com os terminais 1 e 2 ligados, neste caso ele varia sua resistência entre 0 e 10 K Ω . Quando se gira o eixo para a esquerda ele diminui a sua resistência e quando se gira para a direita aumenta a sua resistência. Na Figura 3.19 (b), os terminais 2 e 3 estão ligados, neste caso ele varia sua resistência entre 0 e 10 K Ω . Quando se gira o eixo para a esquerda ele aumenta a sua resistência e quando se gira para a direita diminui a sua resistência. Por fim, na Figura 3.19 (c), a resistência é fixa, no caso 10 K Ω . Mesmo se girar o eixo para qualquer lado a resistência não varia.

Um modelo esquemático do potenciômetro é apresentado na Figura 3.20. A flecha indica o terminal do meio.



Figura 3.20

Outro modelo de potenciômetro bastante utilizado é o **trimpot**, como apresentado na Figura 3.21, normalmente utilizado dentro de equipamentos eletrônicos, não acessível ao usuário, e sua resistência é ajustada usando uma chave de fenda ou *philips* bem pequena.

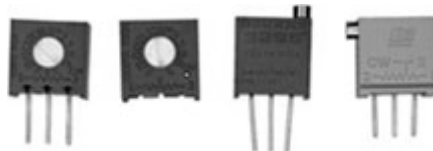


Figura 3.21

Tarefas Práticas 3.3

1)

- **Objetivo:** Compreender como se utilizar o potenciômetro como divisor de tensão em uma fonte simétrica para poder selecionar entre tensões positivas e negativas.

Tabela 3-4

Condições	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
V _{saída} (V)					

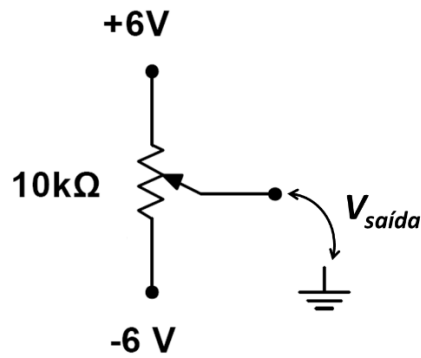


Figura 3.22

- **Materiais:**

- Potenciômetro de 10 KΩ
- *Protoboard*
- Multímetro
- Fonte ajustável CC

- **Procedimentos:**

- 1º. Coloque a fonte ajustável no modo de fontes em série e as utilize como uma fonte simétrica.
- 2º. Monte o circuito a apresentado na Figura 3.22.
- 3º. Meça $V_{saída}$ indicado na Figura 3.22 e preencha a Tabela 3-4 de acordo com cada uma destas condições e suas letras correspondentes na tabela: (a) coloque o cursor o mais à esquerda; (b) gire até uma posição qualquer antes da metade; (c) gire até a metade; (d) gire até uma posição qualquer antes do cursor chegar mais à direita; (e) coloque o cursor o mais à direita.
- 4º. Explique ao professor o porquê dos valores obtidos.

4 MEDIÇÕES DE RESISTÊNCIA E CAPACITÂNCIA COM O MULTÍMETRO DIGITAL

4.1 Ohmímetro

O ohmímetro tem a função de medir resistência elétrica de um componente. O símbolo é apresentado na Figura 4.1. O princípio de funcionamento de um ohmímetro também é mostrado na Figura 4.1.

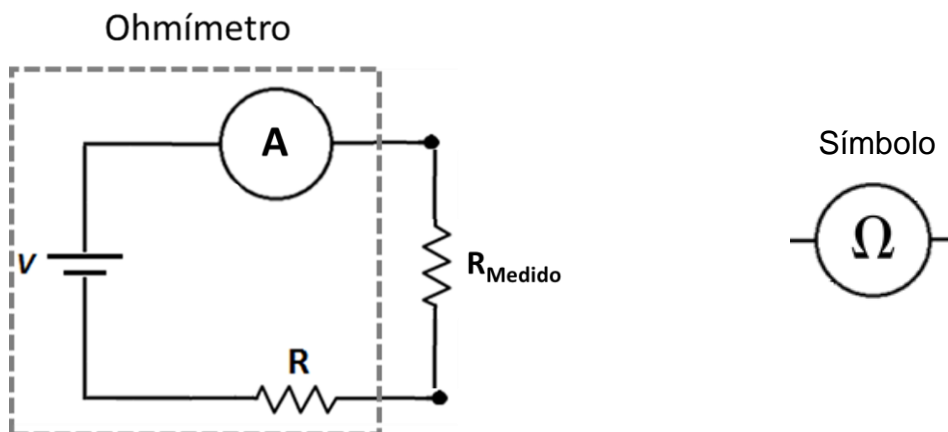


Figura 4.1

Dos instrumentos vistos até agora, o ohmímetro é o único que necessita de uma fonte V interna (uma bateria). A resistência elétrica do elemento resistivo externo ao ohmímetro é determinada a partir da lei de ohm: uma corrente I é formada a partir de V e R . O amperímetro interno ao ohmímetro realiza a medição da corrente gerada. Conhecendo os valores de V e R é possível determinar o valor da resistência a ser medida:

$$I = \frac{V}{R + R_{Medido}} \quad \Longrightarrow \quad R_{Medido} = \frac{V}{I} - R$$

Quanto maior a escala de resistência, maior é a tensão V . Para se efetuar medida com o ohmímetro, deve-se desconectar o elemento que se quer medir do restante do circuito, como mostra a Figura 4.2. Caso isto não seja feito, a resistência medida pode ser o resultado de uma associação de resistores e não do resistor que se deseja medir.

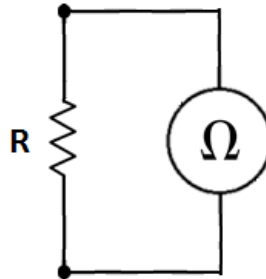


Figura 4.2

Outro cuidado com ohmímetros é de nunca medir um resistor energizado. Caso contrário, a tensão sobre o resistor pode danificar a fonte V do ohmímetro.

Tarefas Práticas 4.1

2)

- **Objetivo:** A partir dos códigos de cores dos resistores, determinar suas resistências e precisão como apresentados na Tabela 4-1. Escolher 10 tipos diferentes de cada. Realizar a medição dos diversos resistores com o DMM e preencher a Tabela 4-1 com os valores obtidos. No final utilize a fórmula estatística da média simples para determinar o valor tomado como real dos resistores. Em seguida, verificar se nesse conjunto de resistores, o erro é maior do que o especificado.

Tabela 4-1

Resistência (Ω)									
Ω /erro%	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
220/5%									
600/5%									
1 K/5%									

- **Materiais:**

- Resistores
- *Protoboard*
- Multímetro

- **Procedimentos:**

- 1º. Pegue dois resistores da mesa de cada tipo, realize as medições de resistência e preencha dois campos correspondentes de cada tipo de resistor na Tabela 4-1.
- 2º. Entregue os resistores medidos para o grupo de colegas à direita.
- 3º. Pegue os resistores do grupo de colegas à esquerda.
- 4º. Repita os passos de 1 à 3 até a tabela estiver completamente preenchida.

3)

- **Objetivo:** Medir a resistência equivalente entre resistores em série e paralelo e comparar com as fórmulas apresentadas na disciplina de eletricidade.

- **Materiais:**

- 3 Resistores da Tarefa Prática 4.1 (1)
- Fios para ligação
- *Protoboard*
- Multímetro

- **Procedimentos:**

- 1º. Coloque três resistores em série na *protoboard* como apresentado na Figura 1.8 e meça a resistência equivalente.
- 2º. Compare o valor medido com o valor analítico visto em eletricidade e apresente ao professor.
- 3º. Calcule o erro da medição e apresente ao professor.
- 4º. Coloque três resistores em paralelo na *protoboard* como apresentado na Figura 1.8 e meça a resistência equivalente.

- 5º. Compare o valor medido com o valor analítico visto em eletricidade e apresente ao professor.
- 6º. Calcule o erro da medição e apresente ao professor.

4.2 Capacitores discretos

Os capacitores eletrônicos são dispositivos utilizados como parte de circuitos eletrônicos com a função de oferecer capacitância, cuja aplicação depende do circuito eletrônico.

Os tipos de capacitores comercialmente disponíveis diferem basicamente pelo material do dielétrico, das placas e da forma construtiva. Neste tópico são dadas informações resumidas sobre alguns tipos comuns usados em eletrônica.

Capacitância, tensão máxima de operação e tolerância são os principais parâmetros usados na especificação de capacitores.

4.2.1 Tipos de capacitores

Os **capacitores de cerâmica** apresentam uma constante dielétrica alta, permitindo valores relativamente altos de capacitância em pequenos volumes. Em geral disponível em valores de 1 pF a 2,2 μ F e tensões até 6 kV. Na Figura 4.3 (a) apresenta-se alguns modelos de capacitores de cerâmica e na Figura 4.3 (b) como geralmente é constituído esse tipo de capacitor. Ideal para circuito sintonizadores e filtros (eliminar ruídos em tensões contínuas).

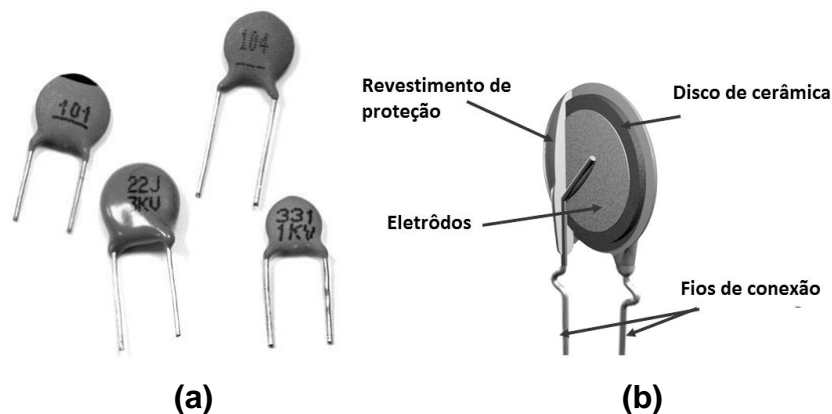


Figura 4.3 - Capacitores de cerâmica.

A crescente miniaturização dos circuitos demanda tamanhos de componentes cada vez menores, como **capacitores SMD** (soldados em superfície) apresentados na Figura 4.4. No caso dos capacitores cerâmicos, para se conseguir valores elevados com área diminuta, você pode diminuir a espessura da lamina dielétrica. Só que diminuir a espessura da lamina acarreta uma menor tensão de isolamento. A solução foi criar um sanduíche de várias camadas, assim você aumenta a área sem ocupar um espaço muito grande, como visto na Figura 4.5.



Figura 4.4

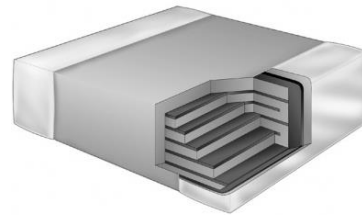


Figura 4.5

Esta é a solução seguida pelos **capacitores cerâmicos multicamadas**. As principais características dos capacitores cerâmicos multicamadas são:

- Tamanho reduzido
- Baixas perdas
- Capacitância estável
- Boa isolamento

Já **capacitores de poliéster** como os apresentados na Figura 4.6, não possuem uma tolerância muito boa sobre a capacitância que é mencionada na embalagem (faixa de 5 a 10%). Mas é barato, tem boa estabilidade com a temperatura, disponível em larga faixa de valores e, por tudo isso, bastante usado. É um dielétrico robusto, podendo suportar temperaturas de -55 a +85°C. Aplicações típicas são acoplamento, desacoplamento, *bypass*. Se usado em fontes chaveadas, a corrente deve ser limitada para reduzir o auto-aquecimento. Adequado também para aplicações de armazenagem e descarga de energia, devido à robustez e elevada rigidez dielétrica do poliéster



Figura 4.6 - Capacitores de poliéster

O **capacitor de poliéster metalizado** por sua vez, apresenta características semelhantes às do anterior, mas as correntes de pico que pode suportar são mais baixas devido às menores espessuras dos eletrodos. Desde que o conjunto é mais fino, dimensões são menores para os mesmos valores.

Pode-se identificar a capacitância de capacitores de cerâmica e poliéster através de um padrão nos seus revestimentos. Os dois primeiros dígitos encontrados são os algarismos significativos e o terceiro, o número de zeros a acrescentar (multiplicador) e o resultado é dado em picoFarads (pF). Como exemplo, analise a Figura 4.7.



Figura 4.7 - Capacitores A e B com padrões de numeração.

Pode-se observar na Figura 4.7 que:

- Capacitor A: $100000 \text{ pF} = 100 \text{ nF} = 0,1 \text{ 0F}$
- Capacitor B: $3300 \text{ pF} = 3,3 \text{ nF} = 0,0033 \text{ 0F}$

Alguns capacitores cerâmicos usam o símbolo "K" para indicar o valor. Isso significa 1000 ou 1 nF. Por exemplo: $0,68 \text{ K} = 0,68 \text{ nF} = 680 \text{ pF}$.

O valor de alguns capacitores é definido por um código de três números seguido por uma letra como apresentado na Figura 4.8. Essa letra representa a tolerância do componente, o que significa o quão perto o valor real pode estar do valor nominal. As tolerâncias são indicadas como a seguir:

- Leia B como 0.10%
- Leia C como 0.25%
- Leia D como 0.5%
- Leia E como 0.5%. Essa é uma duplicação do código D.
- Leia F como 1%
- Leia G como 2%
- Leia H como 3%
- Leia J como 5%
- Leia K como 10%
- Leia M como 20%
- Leia N como 0.05%
- Leia P como mais 100% a menos 0%.
- Leia Z como mais 80% a menos 20%.

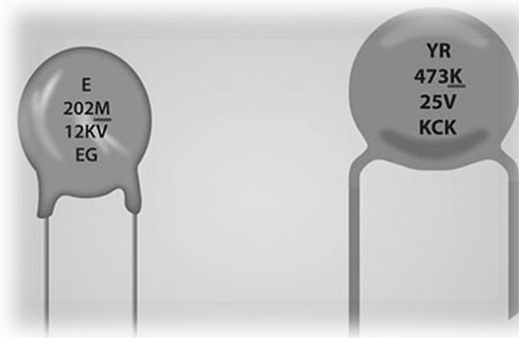


Figura 4.8

Um modelo mais antigo de capacitor de poliéster como o apresentado na Figura 4.9, utilizava faixas de cores para indicar a capacitância.



Figura 4.9 – Modelo antigo de capacitor de poliéster.

Por fim, os **capacitores eletrolíticos**, como o apresentado na Figura 4.10, são compostos basicamente por três materiais: um filme de alumínio que serve como um eletrodo, um material oxidado que serve como dielétrico, e um material denominado **eletrolítico** que serve como outro eletrodo.



Figura 4.10 - Capacitor eletrolítico.

O capacitor eletrolítico deve ser polarizado de maneira adequada: o eletrodo eletrolítico deve ficar no terminal negativo e o de alumínio no positivo, caso contrário o dispositivo pode se danificar. Os valores de capacitância, tensão máxima e polaridade são indicados no revestimento.

Por ser necessário uma polarização adequada no capacitor eletrolítico para que o mesmo opere corretamente, um símbolo diferenciado é utilizado, como o apresentado na Figura 4.11, onde a barra reta indica polaridade positiva e a barra em forma de “meia lua”, indica polaridade negativa.



Figura 4.11 - Símbolo para o capacitor eletrolítico.

Capacitores eletrolíticos são usados principalmente em filtros para eliminar correntes contínuas em circuitos que necessitam de corrente alternada (ex.: retificadores e acoplamentos). São baratos, encontrados em uma variedade de valores, mas a resistência de isolamento é relativamente baixa, a tolerância é ruim e outras características tornam inviável o emprego em frequências mais altas.

4.3 Qual capacitor utilizar?

Os capacitores, se bem que tenham por função armazenar cargas elétricas, são diferentes quanto a outras propriedades que são importantes numa montagem eletrônica. Por exemplo, os capacitores de poliéster não respondem as variações de sinais de altas frequências tão bem quanto os cerâmicos. Assim, num circuito de alta frequência, um

capacitor de poliéster pode não funcionar, dependendo de sua função. É por este motivo, que nas listas de materiais ou mesmo nas recomendações para montagem de certos circuitos, deve-se seguir à risca a recomendação de se usar determinado tipo de capacitor. Num transmissor, por exemplo, se o capacitor indicado for cerâmico ele deve ser desse tipo, sob pena do projeto não funcionar.

4.4 Capacímetro

O **capacímetro**, cuja função é a medição de capacitância de um dispositivo, é geralmente incluído em um multímetro. Para medir a capacitância de um dispositivo, basta remove-lo de qualquer circuito e aplicar nos seus terminais as pontas de prova do DMM, não importando a polaridade (seja eletrolítico ou não), na escala de capacitância.

Antes de testar qualquer capacitor, sempre faça sua descarga, curto circuitando seus terminais. A carga que possivelmente poderá estar armazenada no capacitor pode danificar o DMM. Faça o curto circuito inserindo os terminais do capacitor em uma mesma trilha do *protoboard*.

Da mesma forma que ocorre com o resistor, ao medir um capacitor inserido em um circuito, provavelmente a medida será de uma capacitância equivalente entre os pontos amostrados.

Tarefas Práticas 4.2

1)

- **Objetivo:** Medir a capacitância equivalente entre capacitores em série e paralelo e comparar com as fórmulas apresentadas na disciplina de eletricidade.

- **Materiais:**
 - 3 Capacitores
 - Fios para ligação
 - *Protoboard*
 - Multímetro

- **Procedimentos:**

- 1º. Coloque três capacitores em série na *protoboard* como apresentado na Figura 1.8, com resistores, e meça a capacitância equivalente.
- 2º. Compare o valor medido com o valor analítico visto em eletricidade e apresente ao professor.
- 3º. Calcule o erro da medição e apresente ao professor.
- 4º. Coloque três capacitores em paralelo na *protoboard* como apresentado na Figura 1.8 e meça a capacitância equivalente.
- 5º. Compare o valor medido com o valor analítico visto em eletricidade e apresente ao professor.
- 6º. Calcule o erro da medição e apresente ao professor.

2)

- **Objetivo:** Montar o circuito apresentado na Figura 4.12 e medir as tensões nos pontos A e B, em relação ao comum (GND) e as quedas em cima de R1 e C1, de acordo com os valores de tensão da fonte apresentados na Tabela 4-2.

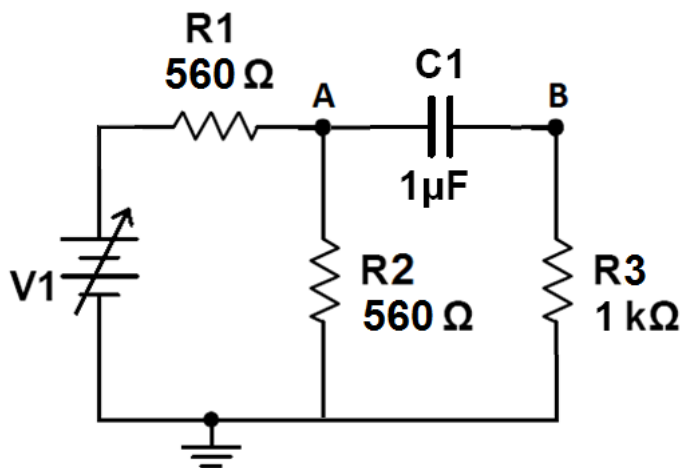


Figura 4.12

Tabela 4-2

Tensão (Volts)				
V1	A	B	V_{R1}	V_{C1}
2				
5				
10				
15				
25				

- **Materiais:**

- Fonte ajustável DC
- 2 Resistores 560 Ω - ½ W

- 1 Resistor de 1 K Ω - 1/8 W
 - Capacitor Eletrolítico de 1 μ F
 - *Protoboard*
 - Multímetro
 - Fios para ligação
- **Procedimentos:**
 - 1º. Ajuste a corrente na fonte para 80 mA.
 - 2º. Desligue a fonte.
 - 3º. Procure pelos resistores e capacitor com os valores indicados no circuito, nos componentes fornecidos pelo professor utilizando o DMM.
 - 4º. Coloque os resistores e capacitor no *protoboard*.
 - 5º. Conecte os cabos vermelho (+) e preto (-) da fonte ajustável DC nos bornes vermelho e preto do *protoboard*, respectivamente.
 - 6º. Conecte um fio entre o borne vermelho em uma trilha indicada com +, e outro fio entre o borne preto e uma trilha indicada com -.
 - 7º. Faça a conexão entre os resistores e as trilhas mencionadas no 6º passo de acordo com a Figura 4.12.
 - 8º. Ligue a fonte ajustável.
 - 9º. Coloque o multímetro na escala de tensão próxima ao valor à ser medido.
 - 10º. Meça as tensões indicadas na Figura 4.12 e preencha a Tabela 4-2.
 - 11º. Explique, preferencialmente com auxílio de fórmulas, o porquê dos resultados obtidos em uma folha e apresente ao professor.

3)

- **Objetivo:** Montar o circuito apresentado na Figura 4.12, e medir as correntes em R1, R2 e C1 e R3, de acordo com os valores de tensão da fonte apresentados na Tabela 4-3.

Tabela 4-3

Tensão (V)	Corrente (mA)		
Fonte	R1	R2	C1 e R3
2			
5			
10			
15			
25			

- **Materiais:**

- Os mesmos da Tarefa 5.1 (2).

- **Procedimentos:**

- 1º. Siga os passos de 1 à 9 da tarefa prática 5.1.
- 2º. Coloque o multímetro na maior escala de corrente. Se o resultado for zero, diminua a escala até encontrar um valor de corrente.
- 3º. Meça as correntes e preencha a Tabela 4-3.
- 4º. Explique, preferencialmente com auxílio de fórmulas, o porquê dos resultados obtidos em uma folha e apresente ao professor.

4)

- **Objetivo:** De acordo com os valores de tensão da fonte apresentados na Tabela 4-4, montar o circuito apresentado na Figura 4.13 e medir as tensões em A, B, C e D em relação ao comum. Também deve-se medir as correntes de acordo com a Tabela 4-5. No final o aluno deve comprovar analiticamente os valores medidos.

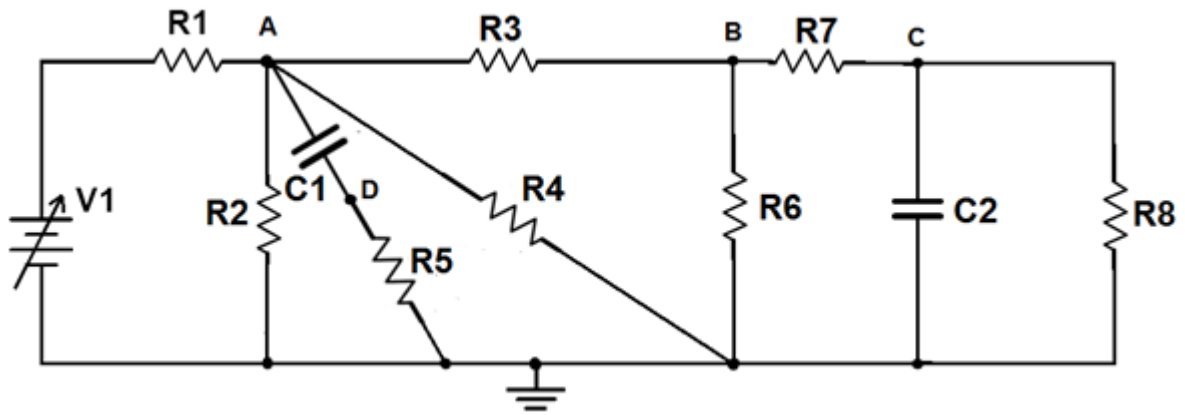


Figura 4.13

Tabela 4-4

Tensão (V)	Tensão (V)			
V1	A	B	C	D
2				
5				
10				
15				
20				

Tabela 4-5

Tensão (V)	Corrente (mA)								
V1	R1	R2	R3	R4	C1 e R5	R6	R7	C2	R8
2									
5									
10									
15									
20									

• **Materiais:**

- Fonte ajustável CC
- DMM

- *Protoboard*
 - Resistor R1 = 270 Ω /3 W
 - Resistores R7 = R8 = 56 Ω /1 W
 - Resistores R2 = R4 = 560 Ω /1 W
 - Resistores R3 = R5 = R6 = 100 Ω /1 W
 - Capacitor eletrolítico C1 = 1 μ F/100 V
 - Capacitor cerâmico C2 = 100 nF/100 V
- **Procedimentos:**
 - 1º. Siga os passos de 1 à 10 da tarefa prática 5.1 (1).
 - 2º. Meça as tensões indicadas na Figura 4.13 e preencha a Tabela 4-4.
 - 3º. Explique, o porquê dos resultados obtidos em uma folha e apresente ao professor.
 - 4º. Em seguida, meça as correntes e preencha a Tabela 4-5.
 - 5º. Novamente, explique o porquê dos resultados de correntes obtidos em uma folha e apresente ao professor.

4.5 Megômetro

O **megômetro**, ou **megger**, é um instrumento utilizado para medir a **resistência de isolamento**, que basicamente é quantidade de resistência que algum aparelho eletroeletrônico tem entre sua parte que recebe energia elétrica quando ligado e sua parte que deverá estar sempre isolada eletricamente, detectando uma fuga entre esses dois pontos.

O megômetro é semelhante a um ohmímetro, entretanto aquele é projetado para medir resistências na faixa de Mega Ohms, e, portanto possuem uma fonte de tensão interna maior que pode variar entre 500 e 15 KV de forma ajustável no aparelho. Bastante utilizado para medir resistência de isolamento em motores (Figura 4.14) e transformadores, como também em outros instrumentos de medição.



Figura 4.14

Existem normas que classificam a isolação de um equipamento elétrico de acordo com a tensão de alimentação do mesmo, por exemplo, de acordo com a NBR 5410, circuitos alimentados por tensões de até 500 V devem possuir uma resistência de isolamento igual ou maior que 0,5 M Ω .

Outro detalhe é que ao manusear megômetros, deve-se sempre tomar cuidado e seguir à risca os manuais do equipamento, já que o mesmo gera tensões perigosas ao corpo humano.

5 MEDIÇÕES DE SINAIS

5.1 Sinais AC

Um **sinal** do ponto de vista elétrico é uma tensão, ou corrente, que varia com o tempo. Um **sinal alternado (AC)** varia de forma periódica à medida que passa o tempo. O sinal alternado mais comum é o **seno**. A geração, transmissão, distribuição e consumo de energia elétrica são feitos na forma de tensões e correntes senoidais.

Um sinal senoidal pode ser expresso em termos da função seno ou cosseno. Assim, podemos escrever uma função como:

$$v = V_m \text{ sen } \theta$$

Onde:

- v : o valor da tensão no exato instante de tempo.
- V_m : é o valor máximo em módulo, seja negativo ou positivo, que o sinal alcança.
- θ : ângulo da função senoidal no instante.

Cada parâmetro na função pode ser observado na Figura 5.1.

Além disso, outros parâmetros podem ser observados como:

- $\pm V_P$: tensão de pico positivo ou negativo do sinal;
- V_{PP} : amplitude entre as tensões de pico positiva e negativa;
- T : o **período da onda** corresponde ao intervalo de tempo em que o sinal não se repete (**onda completa**).

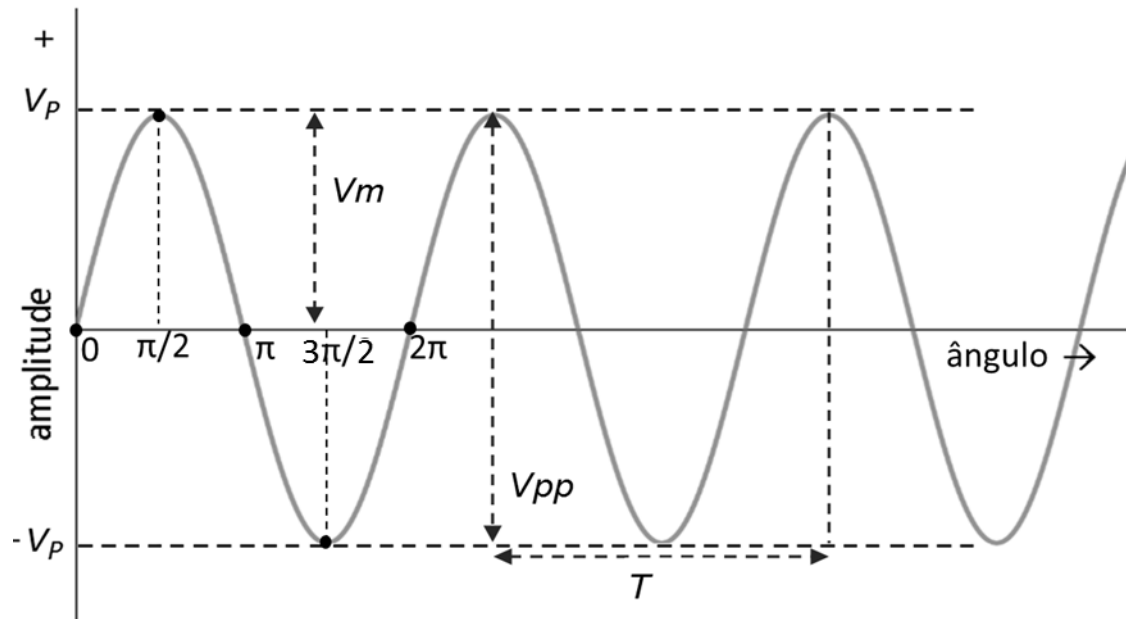


Figura 5.1

Alguns valores de θ mais comuns são:

Ângulos	
Graus	Radianos
0°	0
90°	$\pi/2$
180°	π
270°	$3\pi/2$
360°	2π

A **frequência** do sinal pode ser vista como a rapidez com que o mesmo se repete em um segundo. Sua unidade é o **hertz (Hz)** e pode ser dada como:

$$f = \frac{1}{T}$$

Na prática, deixar o seno em função do tempo é mais interessante que em função do ângulo. Dessa forma usa-se a relação:

$$\theta = \omega t + \phi$$

Obtendo-se:

$$v = V_m \text{sen}(\omega t + \phi)$$

Onde:

- ω : é a frequência angular do sinal, cuja unidade é **radianos por segundo (rad/s)**. Tem-se que $\omega = 2\pi f$.
- t : é instante de tempo observado.
- ϕ : ângulo de fase da função senoidal. Ele determina o valor da função em $t=0s$.

Além disso, é comum medir o sinal alternado em termos de sua tensão eficaz (RMS- V_{RMS}), ou seja, a tensão DC equivalente a tensão AC que fornece a mesma potência ativa. A relação entre o sinal senoidal e sua tensão RMS é:

$$V_{RMS} = \frac{V_P}{\sqrt{2}}$$

Para outros sinais como veremos a seguir, o cálculo da tensão RMS é diferente.

5.2 Gerador de funções

O **gerador de funções** de ondas arbitrárias pode ser usado para gerar sinais padrão como ondas senoidais, triangulares e pulsos, bem como sinais com vários formatos e características. Alguns exemplos, são apresentados na Figura 5.2.



Figura 5.2

O sinal é emitido pelo gerador de funções geralmente através de um cabo com dois conectores do tipo jacaré, como apresentado na Figura 5.3. Um conector, de cor preta, é o comum do sinal (0 V) e o outro, de cor vermelha, é o sinal, a tensão, que varia com tempo em relação ao comum.



Figura 5.3

Como pode ser observado na Figura 5.4 (intencionalmente desproporcional), ao aplicarmos os terminais do gerador de funções em um resistor, o terminal ligado à ponta vermelha irá receber o sinal AC (senoidal, por exemplo), e o terminal ligado à ponta preta será o ponto comum (0 V) do circuito. Na Figura 5.5 é mostrado o esquemático equivalente do circuito.

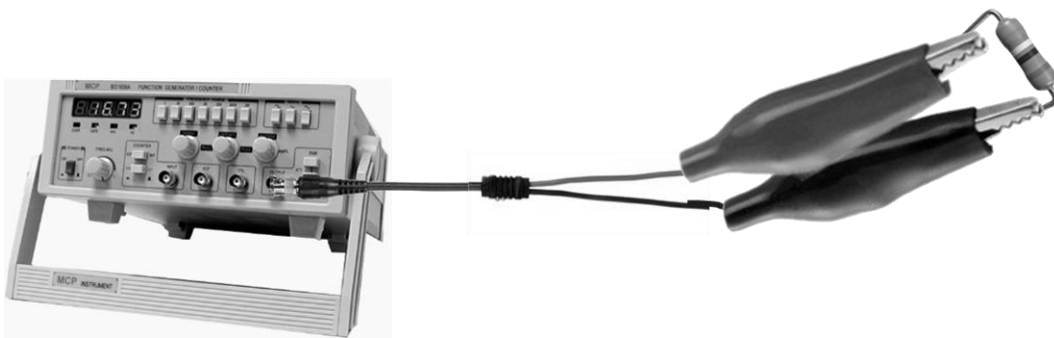


Figura 5.4

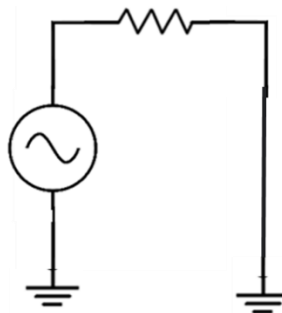


Figura 5.5

5.3 Osciloscópio

O **osciloscópio** mostra como é que um sinal elétrico varia no tempo de forma gráfica em um monitor, diferente dos instrumentos vistos até agora, que mostravam o resultado da medição no exato momento.

O monitor pode ser visto como plano de dois eixos: o horizontal é o eixo do tempo e o vertical é eixo das tensões. A medida que o tempo passa, da esquerda para à direita, o valor de tensão **amostrado** é apresentado na tela. Como exemplo, observe a Figura 5.6.

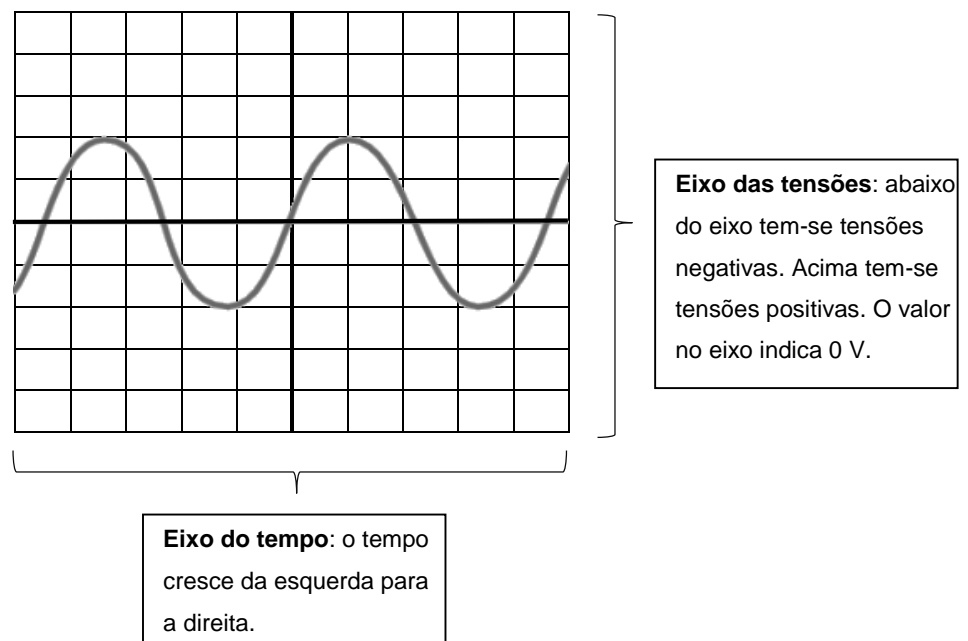


Figura 5.6

Na Figura 5.6 está sendo apresentada na tela uma **amostra** de um sinal senoidal. Se o eixo de tempo tiver uma amplitude de 1 segundo. Então, o osciloscópio irá amostrar de 1 em 1 segundo o sinal medido, enquanto estiver ligado.

O osciloscópio é dividido em quadrados denominados **divisões**. A parte horizontal de cada bloco indica uma divisão do eixo do tempo. Como exemplo, na Figura 5.6 tem-se 10 divisões no eixo do tempo. Se a amplitude do eixo for 1 s, cada divisão corresponde à $1 \text{ s} / 10 = 0,1 \text{ s}$ ou 100 ms, como apresentado na Figura 5.7.

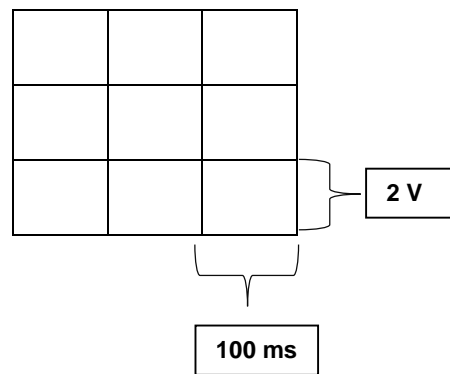


Figura 5.7

Da mesma forma, o eixo vertical de cada quadrado indica uma divisão da escala de tensão. Utilizando esse exemplo na Figura 5.6, se cada divisão de tensão for de 2 V, então acima do eixo do tempo, poderá ser apresentado um sinal com um pico de no máximo $2\text{ V} \times 5 = 10\text{ V}$, e abaixo do eixo um valor mínimo de $-2\text{ V} \times 5 = -10\text{ V}$. O sinal senoidal apresentado tem um pico positivo de $2\text{ V} \times 2 = 4\text{ V}$, e um pico negativo de $-2\text{ V} \times 2 = -4\text{ V}$.

Note que através da observação, podemos estimar a frequência do sinal apresentado. Um período completo se forma no ponto onde os eixos se cruzam (a **origem**). Podemos medir à olho, com um certo erro, que dá origem ao final do período passaram-se aproximadamente 450 ms. Dessa forma, a frequência do sinal é:

$$f = \frac{1}{450\text{ ms}} = 2,22\text{ Hz}$$

O tamanho de cada divisão de tempo e tensão do osciloscópio é ajustável através de botões contidos no aparelho.

É importante salientar que todo sinal AC pode conter uma **componente CC** (corrente contínua) que pode se originar por diversos fatores. Basicamente, uma componente CC, faz com que o sinal se desloque para cima ou para baixo do eixo do tempo no osciloscópio, como apresentado na Figura 5.8.

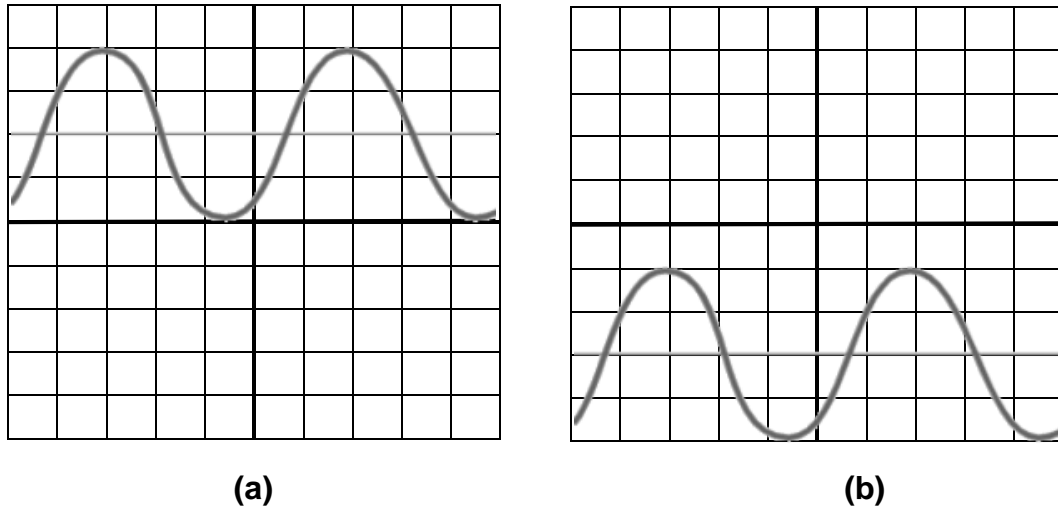


Figura 5.8

Se as divisões de tensão no monitor forem de 2 V, então a tensão de pico positivo do sinal em (a) é 8 V e o pico negativo é 0 V. Já em (b) o pico positivo é -2 V e o pico negativo é -10 V.

A componente CC dos sinais é o ponto onde ocorre a inversão do sinal. Em (a), a componente CC é 4 V, já em (b) -6 V.

Dois tipos básicos de osciloscópios, o analógico e o digital, podem ser usados para visualizar formas de onda, como apresentado na Figura 5.9 (a e (b) respectivamente.



Figura 5.9

A diferença entre ambos está na forma de amostrar o sinal medido e apresentar no monitor. O osciloscópio digital contém mais recursos e realiza medições como frequência, período, funções matemáticas, entre outros. Entretanto, é mais sensível que o osciloscópio analógico quanto a surtos de corrente,

Para medir uma tensão, uma ponta de prova, como apresentada na Figura 5.10, tem que ser conectada entre o osciloscópio e o ponto do circuito no qual a tensão será medida.



Figura 5.10

A ponta de prova de tensão, mostrada na Figura, é essencial para a conexão de um sinal ao osciloscópio. Como todos os instrumentos tendem a afetar o circuito a ser medido devido ao efeito de carga, a maioria das pontas de prova dos osciloscópios tem uma resistência em série de alto valor para minimizar este efeito. As pontas de prova que têm uma resistência em série dez vezes maior do que a resistência de entrada do osciloscópio são denominadas pontas de prova **×10**.

Outro fator em relação à entrada de um osciloscópio é o acoplamento. O **acoplamento AC** consiste da utilização de um capacitor para filtrar a componente DC de um sinal que possui ambas as componentes, AC e DC. Um capacitor interno fica em série com o sinal. O acoplamento AC é útil porque a componente DC de um sinal atua como um deslocamento (offset) de tensão, e remover esta componente do sinal pode aumentar a resolução dos sinais medidos. O acoplamento AC também é conhecido como **acoplamento capacitivo**. O **acoplamento DC** descreve qualquer sinal de tensão adquirido onde ambas as componentes (AC e DC) são medidas.

Por fim, um método para calcular a defasagem entre dois sinais, que devem estar na mesma frequência, como exemplificado na Figura 5.10, é considerar um como o sinal sem defasagem, $\phi = 0$, e o outro com defasagem em relação a ele.

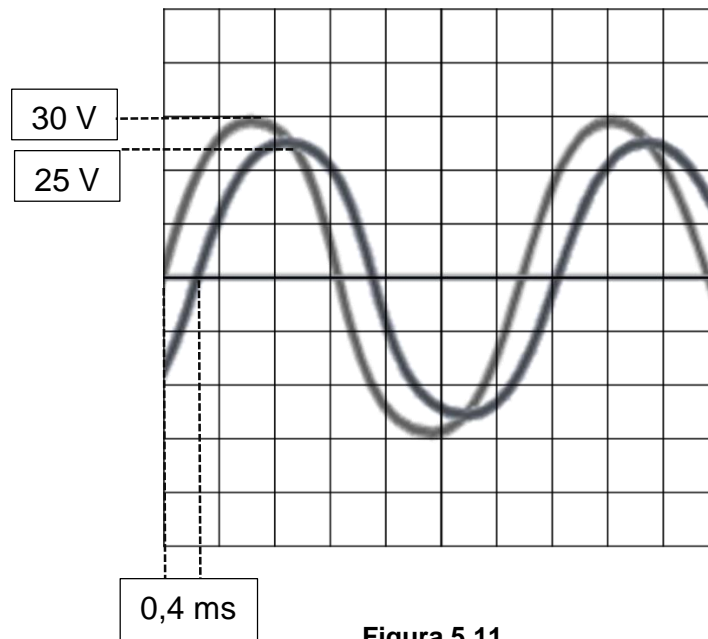


Figura 5.11

Se a frequência dos sinais for 300 Hz, então para o primeiro sinal:

$$v_1 = 30 \text{ sen}(\omega t + 0)$$

$$v_1 = 30 \text{ sen}(\omega t)$$

Como

$$\omega = 2\pi \times 300 = 600\pi \text{ rad/s}$$

Então

$$v_1 = 30 \text{ sen}(600\pi t)$$

Para o segundo sinal

$$v_2 = 25 \text{ sen}(600\pi t + \phi)$$

Para achar a defasagem ϕ , consideramos o ângulo zero do sinal, e o atraso desse ângulo em relação ao tempo zero (instante de tempo em que o sinal não defasado está no ângulo 0). Para isso usamos:

$$\theta = \omega t + \phi \quad \longrightarrow \quad \phi = \theta - \omega t$$

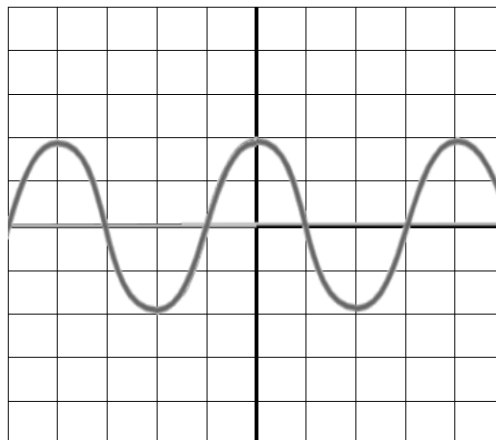
$$\phi = 0 - 600\pi \times 0,4 \text{ ms} = \frac{6}{25}\pi \text{ rad}$$

Dessa forma, para o sinal defasado, a função matemática é:

$$v_2 = 25 \text{ sen}(600\pi t + \frac{6}{25}\pi)$$

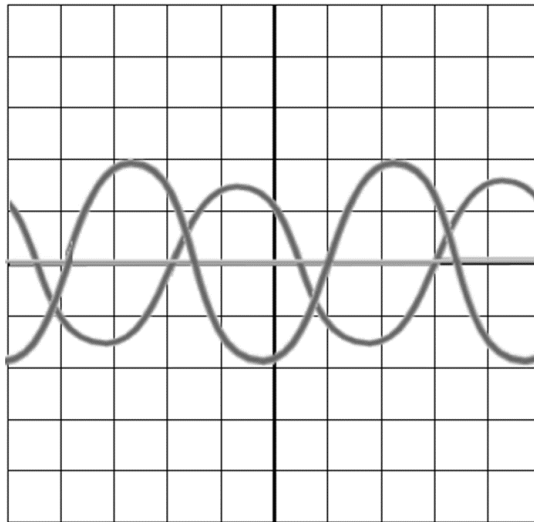
Exercícios de Fixação 5.1

1) Determine V_P , V_{PP} , frequência, período e a função matemática para o sinal obtido no osciloscópio e apresentado na figura abaixo, sendo a escala horizontal 0,2 ms/divisão e vertical 2 V/divisão com a ponteira na posição x10.

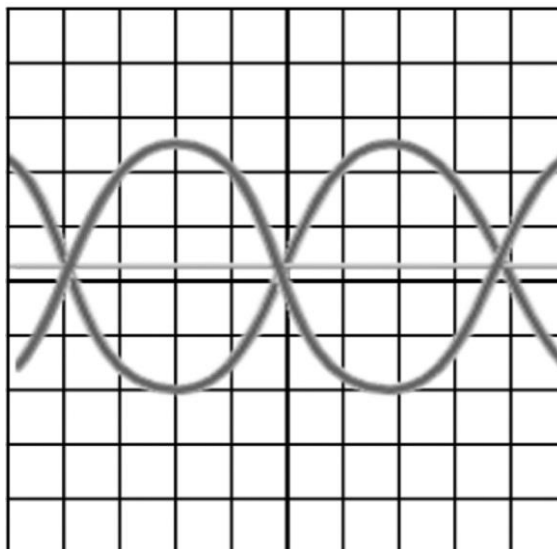


2) Determine V_P , V_{PP} , frequência, período, a defasagem e a função matemática para os sinais obtidos no osciloscópio e apresentados na figura abaixo:

a) escala horizontal 0,2 ms/divisão e vertical 2 V/divisão com a ponteira na posição $\times 10$.



b) escala horizontal $1\mu\text{s}$ /divisão e vertical 5V/divisão.



Tarefa Práticas 5.1

1)

- **Objetivo:** Calcular a tensão RMS dos diferentes sinais seno fornecidos pelo gerador de funções.

Tabela 5-1

	Gerador de funções (Volts RMS)		
<i>Frequência</i>	2	5	7
10 Hz			
60 Hz			
100 Hz			
500 Hz			
750 Hz			
1 kHz			
5 kHz			
100 kHz			

- **Materiais:**

- Computador com acesso à internet
- Gerador de funções
- DMM
- Osciloscópio
- Fios para ligação

- **Procedimentos:**

- 1º. Ligue o osciloscópio e ajuste de acordo como apresentado na sala de aula pelo professor.
- 2º. Coloque o gerador de funções na função seno.
- 3º. Ligue o gerador de funções e faça a medição do sinal com o osciloscópio.
- 4º. Ajuste cada vez para uma função seno com a tensão e frequência indicada na Tabela 5-1.
- 5º. Procure pelo manual do multímetro na internet.

- 6º. Analise os valores medidos para frequências muito altas ou baixas comparando com os sinais amostrados no osciloscópio.
- 7º. Veja se há alguma informação no manual do DMM que esclareça o que foi analisado no passo 6.

5.4 Outras formas de onda

Além do sinal senoidal, existem outras formas de onda. Três delas bastante utilizadas em eletrônica digital são a onda quadrada, triangular e dente de serra como apresentadas na Figura 5.12.

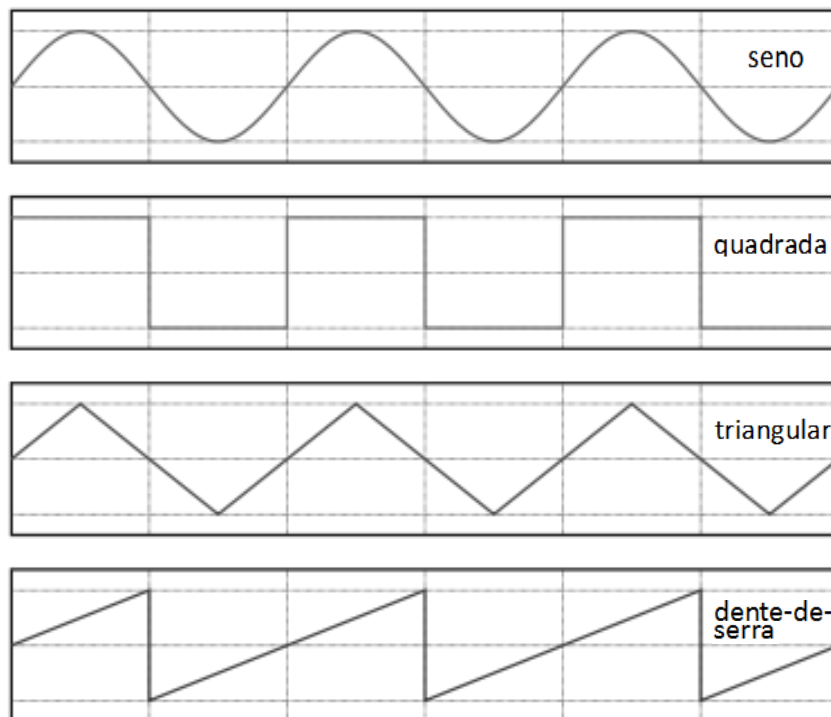


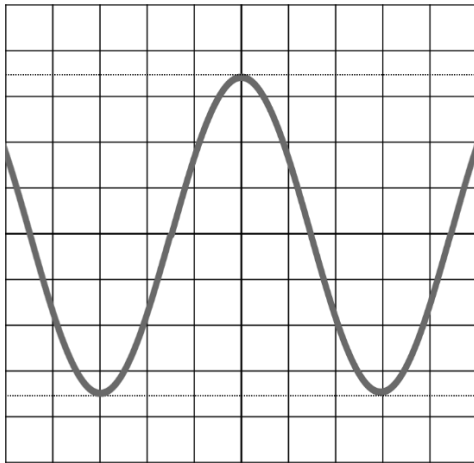
Figura 5.12

Por serem funções distintas da senoidal, seus valores RMS também são diferentes, sendo:

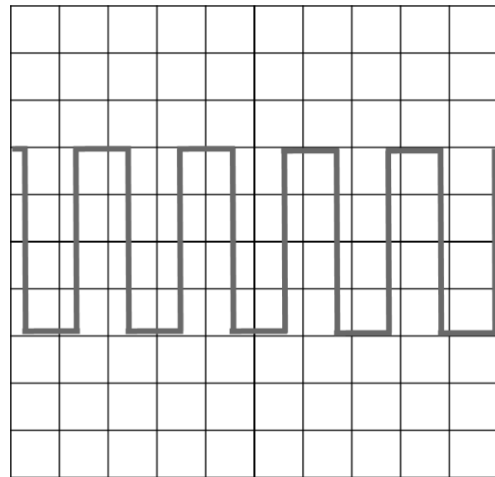
Tensão RMS	
<p>Onda quadrada</p> $V_{RMS} = V_P$	<p>Triangular e Dente-de-Serra</p> $V_{RMS} = \frac{V_P}{\sqrt{3}}$

Exercícios de Fixação 5.2

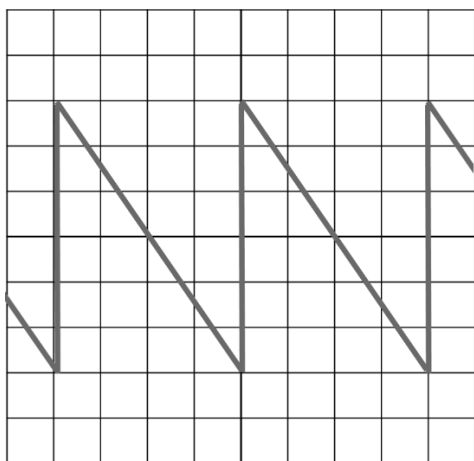
1) Insira a tensão RMS de cada um dos sinais nos locais indicados, sabendo que a escala horizontal é de 0,5 ms/divisão e a vertical de 3 V/divisão.



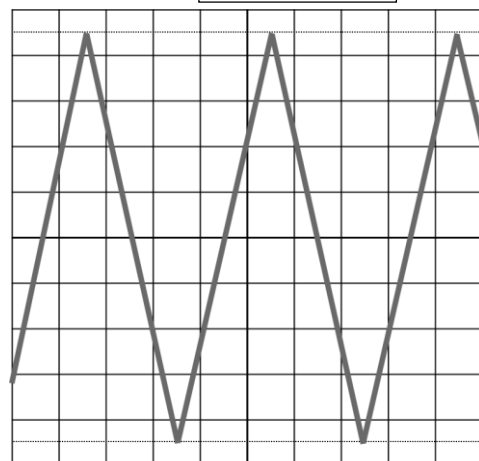
$V_{RMS} =$



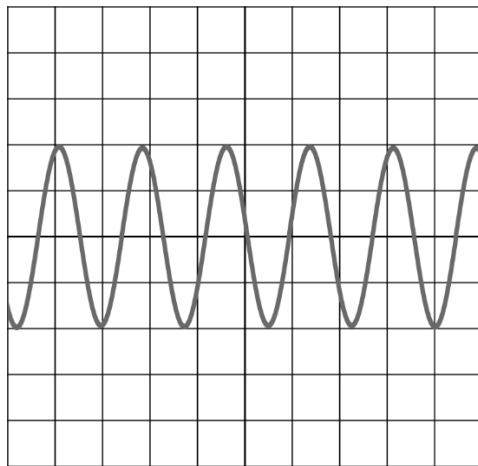
$V_{RMS} =$



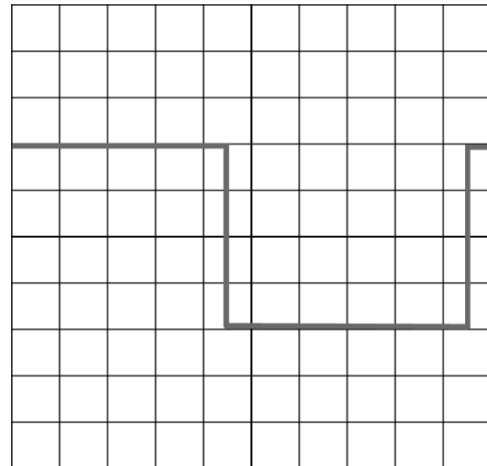
$V_{RMS} =$



$V_{RMS} =$



$V_{RMS} =$



$V_{RMS} =$

5.5 Multímetros True RMS

Os DMM mais simples geralmente medem apenas sinais AC senoidais, o valor RMS. Outras formas de onda, entretanto, não são corretamente medidas por esses DMMs.

Além disso, outro fator pode ocorrer. Na prática, quando medimos uma tensão alternada ou uma corrente alternada num circuito comum que tenha elementos capacitivos e/ou indutivos, ocorre uma forte distorção da forma de onda do sinal e também a introdução de **harmônicas**.

Estas harmônicas nada mais são do que tensões ou correntes de frequências múltiplas do sinal que se sobrepõem modificando sua forma de onda, conforme observado na Figura 5.13.

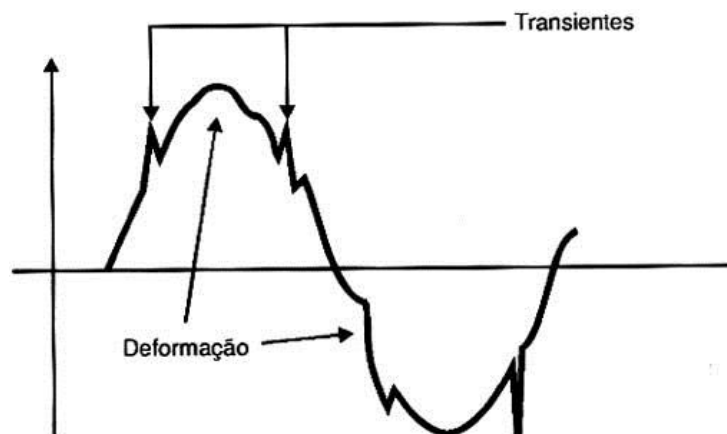


Figura 5.13

O resultado líquido desta distorção é que o instrumento passa a indicar um valor que não corresponde ao RMS do sinal senoidal.

Os instrumentos que podem dar indicações precisas dos valores RMS de um sinal num circuito sem haver o perigo de terem a influência de transientes ou harmônicas, são denominados **True RMS**.

Os instrumentos True RMS contém uma indicação dessa característica no próprio instrumento, como exemplificado na Figura 5.14, no multímetro Fluke 115.



Figura 5.14

Tarefa Práticas 5.2

1)

- **Objetivo:** Verificar através do osciloscópio e das fórmulas apresentadas se os valores medidos pelo DMM estão corretos.

Tabela 5-2

Onda quadrada				Onda dente de serra			
V _{Pico} do sinal	2	5	10	V _{Pico} do sinal	2	5	10
V _{RMS} (Fórmula)				V _{RMS} (Fórmula)			

Onda quadrada				Onda dente de serra			
DMM (V_{RMS})				DMM (V_{RMS})			
Freqüência \ / Vpico do sinal	2	5	10	Freqüência \ / Vpico do sinal	2	5	10
60 Hz				60 Hz			
100 Hz				100 Hz			
500 Hz				500 Hz			
750 Hz				750 Hz			
1 kHz				1 kHz			
5 kHz				5 kHz			
100 kHz				100 kHz			

- **Materiais:**

- Gerador de funções
- Multímetro True RMS
- Osciloscópio
- Fios para ligação

- **Procedimentos:**

- 1º. Ligue o osciloscópio e ajuste de acordo como apresentado na sala de aula pelo professor.
- 2º. Coloque o gerador de funções na função seno.
- 3º. Ligue o gerador de funções e faça a medição com do sinal com o osciloscópio.
- 4º. Ajuste cada vez para uma função seno com a tensão e frequência indicada na Tabela 5-2.
- 5º. Analise os valores medidos para frequências muito altas ou baixas comparando com os sinais amostrados no osciloscópio.

2)

- **Objetivo:** Montar o circuito apresentado na Figura 5.15, e medir as tensões RMS nos pontos A e B, em relação ao comum (GND) e as quedas em cima de R1 e C1, de acordo com os valores de tensão da fonte e as frequências do sinal de entrada apresentados na Tabela 5-3. Também, medir os sinais em cada ponto do circuito no osciloscópio. Medir a reatância capacitiva de C1 para cada caso.

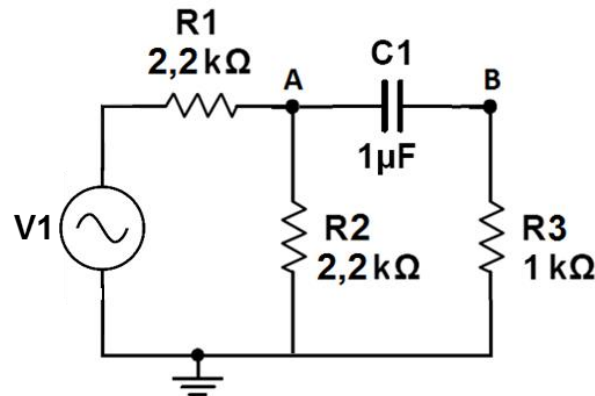


Figura 5.15

Tabela 5-3

V1 = 2,5 V _{RMS}					V1 = 7 V _{RMS}					Reat (Ω)
Frequência V _{RMS}	A	B	V _{R1}	V _{C1}	Frequência V _{RMS}	A	B	V _{R1}	V _{C1}	X _C
60 Hz					60 Hz					
200 Hz					200 Hz					
500 Hz					500 Hz					
750 Hz					750 Hz					
1 kHz					1 kHz					

- **Materiais:**
 - Gerador de funções
 - Resistores de 1 K e 2K2
 - Capacitor Eletrolítico de 1 μF
 - *Protoboard*
 - Multímetro True RMS
 - Osciloscópio

- Fios para ligação
- **Procedimentos:**
 - 1º. Procure pelos resistores e capacitor com os valores indicados no circuito, nos componentes fornecidos pelo professor utilizando o DMM.
 - 2º. Ligue o osciloscópio e ajuste de acordo como apresentado na sala de aula pelo professor.
 - 3º. Ligue o gerador de funções e faça a medição com do sinal com o osciloscópio.
 - 4º. Ajuste cada vez para uma função seno com a tensão e frequência indicada na Tabela 5-3.
 - 5º. Monte o circuito apresentado na Figura 5.15 na protoboard, onde V1 é a tensão RMS do gerador de funções.
 - 6º. Desligue o gerador de funções.
 - 7º. Conecte os cabos vermelho (+) e preto (-) do gerador de funções nos bornes vermelho e preto do *protoboard*, respectivamente, mas mantendo nas pontas de prova do osciloscópio.
 - 8º. Conecte um fio entre o borne vermelho em uma trilha indicada com +, e outro fio entre o borne preto e uma trilha indicada com -.
 - 9º. Alimente o circuito.
 - 10º. Ligue o gerador de funções.
 - 11º. Coloque o multímetro na escala de tensão próxima ao valor à ser medido.
 - 12º. Meça as tensões indicadas na Figura 5.15 e preencha a Tabela 5-3.
 - 13º. Calcule a reatância do capacitor, através da fórmula conhecida $X_C = 1/2\pi fC$ e confira se os valores medidos estão de acordo com os valores de reatância calculados.
 - 14º. Calcule o ângulo de defasagem entre V1 e a tensão em R3.
 - 15º. O que ocorre com as tensões ao longo da malha quando aumenta-se a frequência?

5.6 Cuidados com o osciloscópio

Na maioria dos osciloscópios o chassi é mantido em potencial muito próximo de zero volts, já que é ligado diretamente ao fio do terra do plug de alimentação do equipamento como apresentado na Figura 5.16. Além disso, o ponto comum da ponta de prova é o mesmo da carcaça.

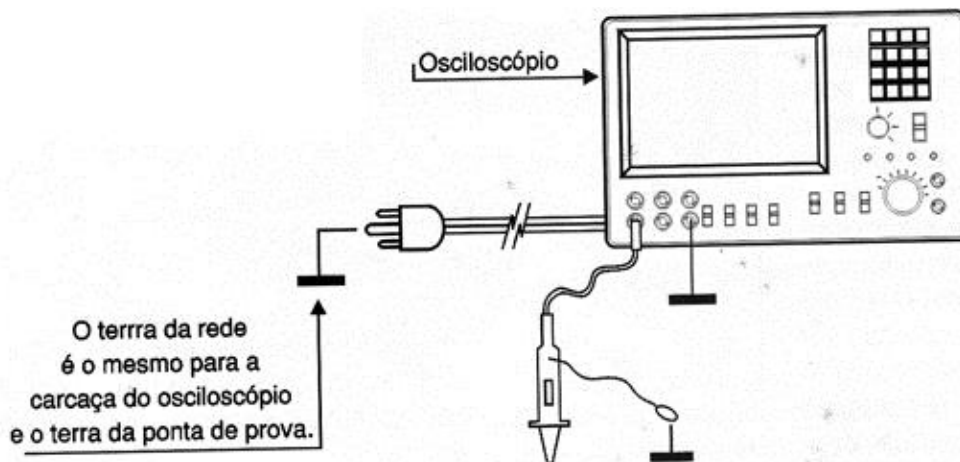


Figura 5.16

Esta configuração é tal que todos os sinais aplicados ao osciloscópio ou fornecidos pelo osciloscópio têm um ponto comum de conexão.

Em muitos casos, o comum do circuito que se está medindo com a ponta de prova não está realmente conectado à terra. O GND do sinal pode estar centenas de volts acima do potencial de terra causando desastres perigosos se forem aterrados. Mesmo que correntes intensas não ocorrem nestas condições, ruídos podem ser induzidos aparecendo de forma indesejável na forma de onda analisada.

Uma solução para esse problema é simplesmente não conectar o pino terra na tomada. Se for usar os 2 canais, liga-se os dois jacarés no mesmo ponto pois o negativo de cada canal é um só. Existem osciloscópios com canais isolados, onde o comum de cada ponta de prova pode ser diferente.

6 MEDIDORES ANALÓGICOS DE PAINÉIS

Os instrumentos analógicos utilizados em painéis como apresentados na Figura 1.2 apresentam alguns símbolos indicando suas características, como apresentado na Figura 6.1.

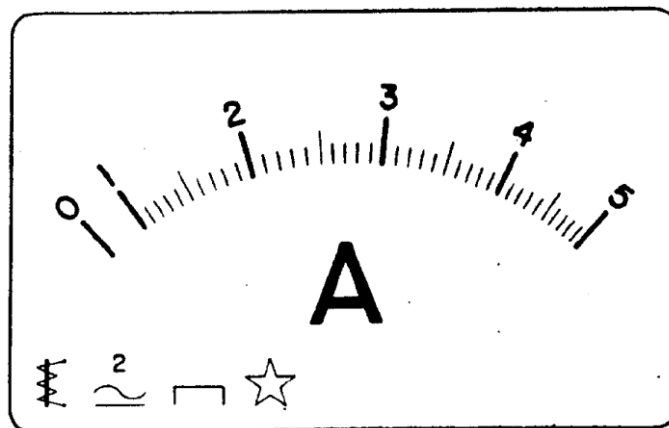


Figura 6.1

A letra **A** no centro indica ser um amperímetro. Pode-se ter **V** para voltímetro, **W** de wattímetro, etc. Os símbolos abaixo da esquerda para direita são:

- **Tipo de transdutor:** chamados de **galvanômetros**, os mais comuns são bobina móvel, ferro móvel e eletrodinâmico. Os possíveis símbolos para cada tipo são apresentados na Figura 6.2. A diferença entre eles consiste no tipo de instrumento que são aplicados. Bobina móvel são geralmente utilizados como amperímetros, ferro móvel como voltímetros e eletrodinâmicos como wattímetros, por exemplo.

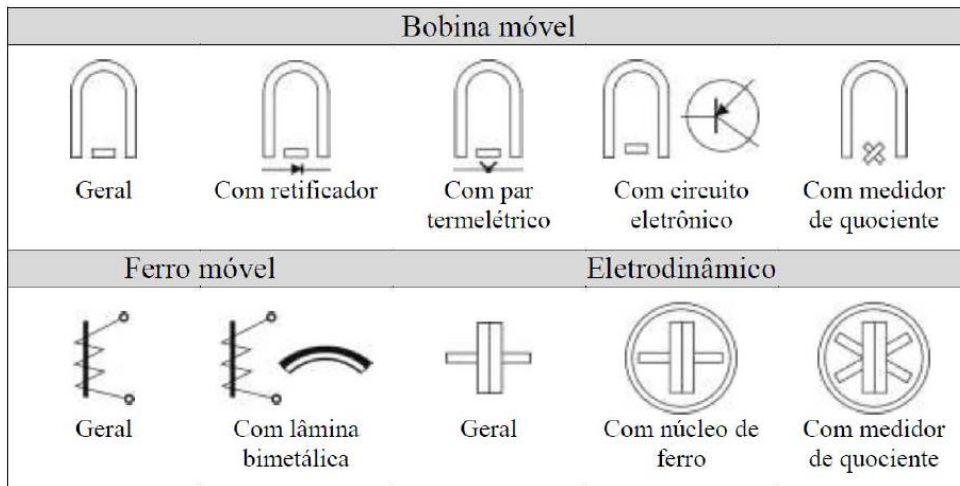


Figura 6.2

- **Tipo de corrente que se pode medir:** pode ser contínua, alternada monofásica, alternada trifásica, etc.
- **Classe de exatidão:** acima do símbolo do tipo de corrente. As possíveis classes de exatidão podem ser vistas na Tabela 2-1 no Capítulo 2.
- **Ângulo de leitura:** indica o melhor ângulo que para se colocar o dispositivo em um painel para que não haja erro de paralaxe. Na Figura xx são apresentados os possíveis ângulos de leitura e a posição o instrumento.

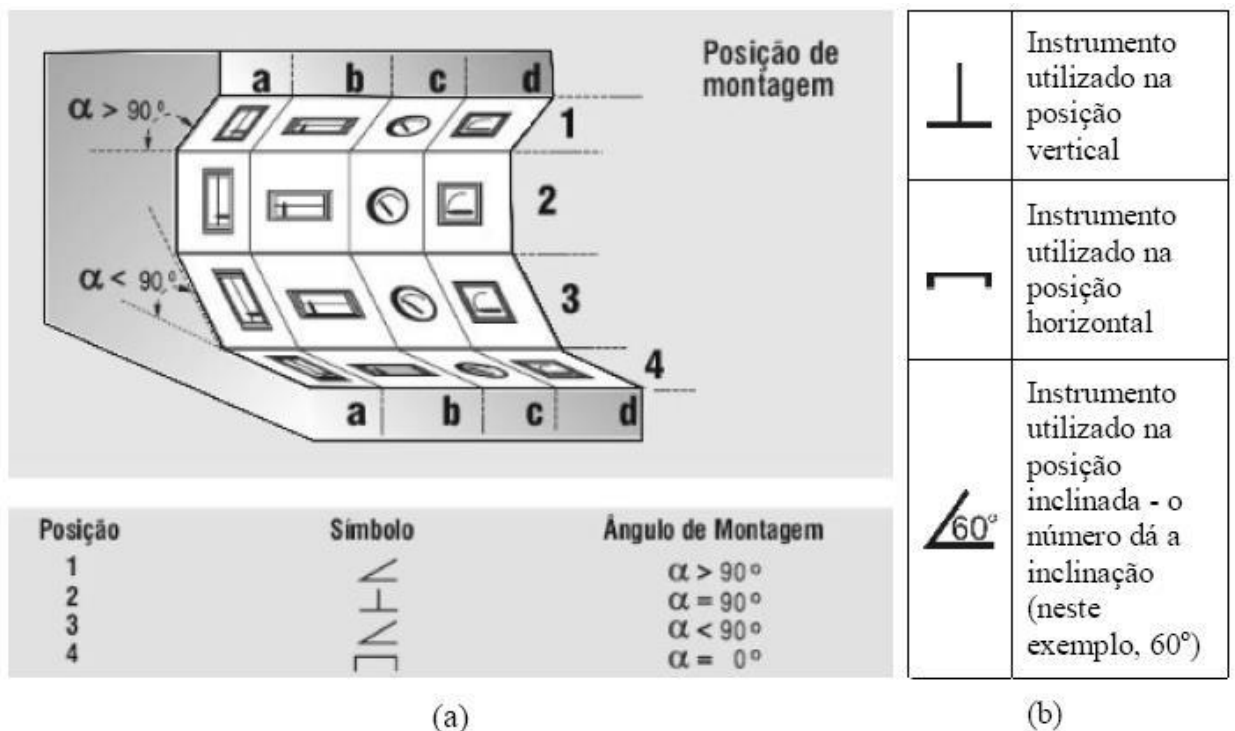


Figura 6.3

O **erro de paralaxe** é um erro que ocorre em instrumentos de medição analógica, pela observação errada na escala de graduação causada por um desvio ótico causado pelo ângulo de visão do observador. Ver Figura 6.4.

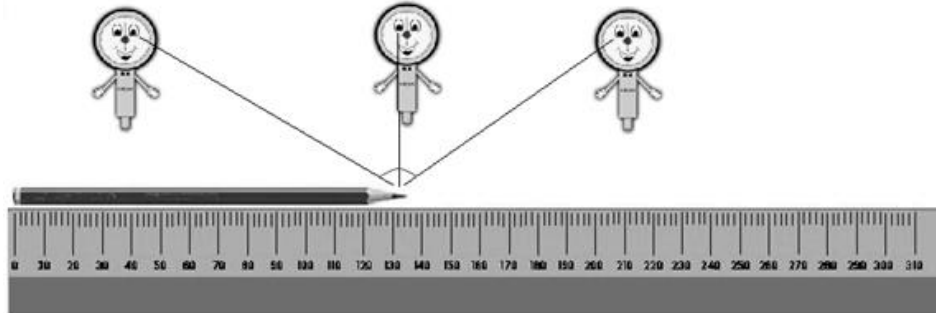


Figura 6.4

- **Tensão de prova:** É simbolizada por uma estrela encerrando um algarismo, o qual indica a tensão (em kV) máxima que pode ser aplicada entre a carcaça e o instrumento de medida para testar a isolamento do aparelho. Na ausência de algarismo, a tensão de prova é igual a 500 V.

6.1 O Wattímetro

Os wattímetros mais simples são constituídos de galvanômetros eletrodinâmicos. Um modelo utilizado em bancadas eletroeletrônicas é apresentado na Figura 6.5 (a). Outros modelos mais modernos para medição de potência, tal como os **instrumentos digitais de alicate wattímetro** apresentado na Figura 6.5.



(a)



(b)

Figura 6.5

Os wattímetros de galvanômetros eletrodinâmicos têm quatro terminais como apresentado na Figura 6.6, onde C é a bobina de corrente e V é a bobina de tensão.

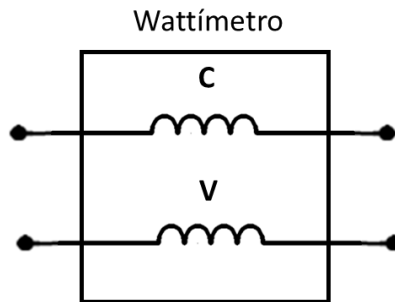


Figura 6.6

Para medir a potência que um dispositivo dissipa ao ser alimentado por uma fonte, uma ligação como a apresentada na Figura 6.7 deve ser realizada.

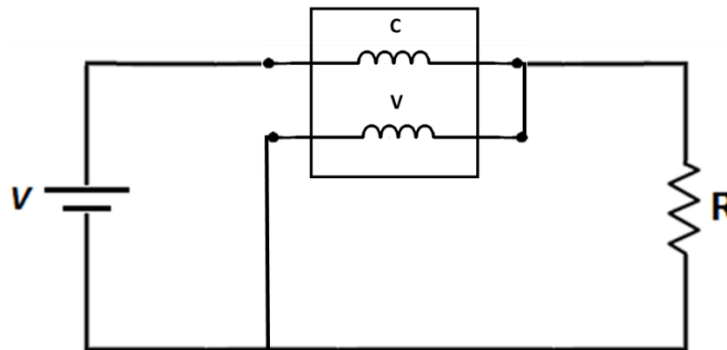


Figura 6.7

Apesar de poderem medir potência através de tensões DC, geralmente seu uso é em circuitos AC para medição de potência ativa. A potência fornecida pela rede elétrica é denominada potência aparente onde:

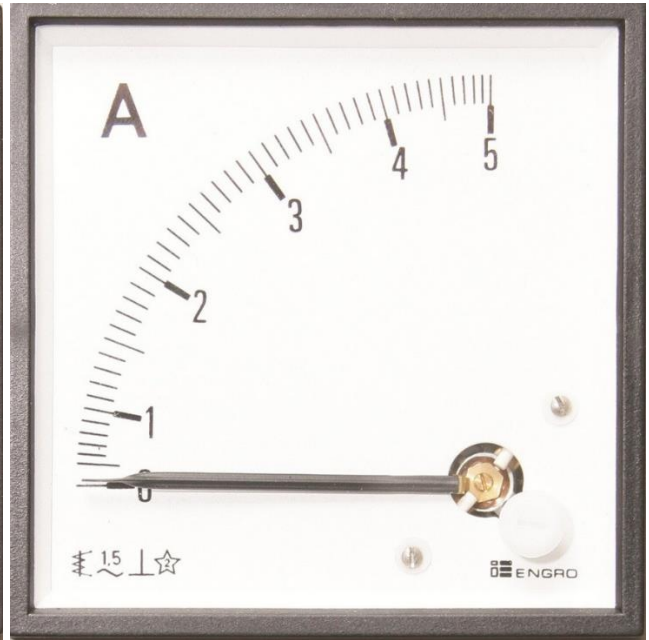
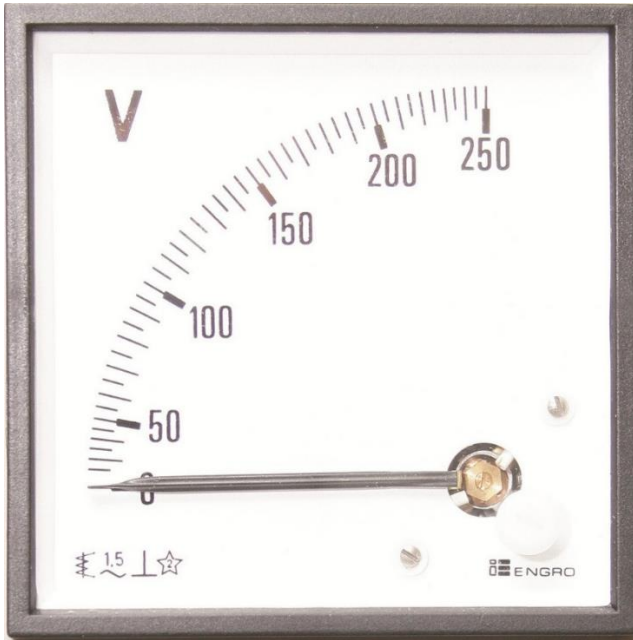
$$\text{Potência}_{\text{APARENTE}} = \text{Potência}_{\text{ATIVA}} + \text{Potência}_{\text{REATIVA}}$$

Onde a potência reativa é a potência que não é convertida em trabalho prático, mas é necessária para o correto funcionamento de dispositivos indutivos, como motores por exemplo.

Os dispositivos alicate wattímetros são capazes de diversas medições como potência ativa, aparente e fator de potência.

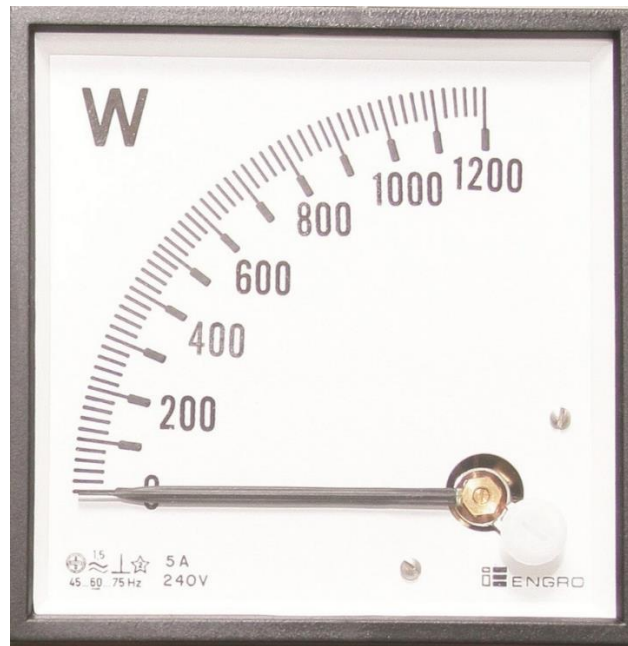
Exercícios de Fixação 6.1

1) De acordo com o indicador do instrumento analógico apresentado abaixo, preencha os dados pedidos em palavras ou valores de grandezas.



- Galvanômetro: _____.
- Ângulo de leitura: _____.
- Tensão de prova: _____.
- Classe de exatidão: _____.
- Fundo de escala: _____.
- Tipo de corrente: _____.

- Galvanômetro: _____.
- Ângulo de leitura: _____.
- Tensão de prova: _____.
- Classe de exatidão: _____.
- Fundo de escala: _____.
- Tipo de corrente: _____.



- Galvanômetro: _____.
- Ângulo de leitura: _____.
- Tensão de prova: _____.
- Classe de exatidão: _____.
- Fundo de escala: _____.
- Tipo de corrente: _____.

6.2 Medidores Digitais de Painéis

Apesar de ainda fazerem parte de muitas indústrias, os medidores analógicos de painéis estão perdendo espaço para medidores digitais mais modernos, como apresentados na Figura 6.8.



Figura 6.8

Esses medidores possuem todas as vantagens já descritas no capítulo 1, em relação a medidores analógicos. Além disso, eles são capazes de comunicarem-se com sistemas supervisórios em locais remotos aos locais de medição, por meio de barramentos de comunicação

REFERÊNCIAS

- [1] ALBERTAZZI Jr, ARMANDO G. **Fundamentos de Metrologia Científica e Industrial**. 1 ed. Tamboré: Editora Manole, 2008.
- [2] BALBINOT, Alexandre; BRUSAMARELLO, Valner J. **Instrumentação e Fundamentos de Medidas - Volume 1**. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.
- [3] BRAGA, C, NEWTON. **RMS e TRUE-RMS (INS202)**. Visualizado em: <http://www.newtonbraga.com.br/index.php/instrumentacao/108-artigos-diversos/4230-ins202>. Acesso em: 13 de novembro de 2016.
- [4] CARTWRIGHT, Kenneth V. **Determining the Effective or RMS Voltage of Various Waveforms without Calculus** (PDF). Visualizado em: http://tij.org/issues/issues/fall2007/30_Cartwright/Cartwright-Waveforms.pdf. Acesso em: 11 de agosto de 2016.
- [5] CARVALHO, Antônio C. L.; SILVA, Davinson M. da. **Laboratório de eletrônica analógica e digital – Teoria e experimentos práticos**. São Paulo: SENAI SP Editora, 2015.
- [6] Centro Tecnológico de Metrologia. **Calibração**. Visualizado em: <http://www.calibracao.com.br/calibracao.htm>. Acesso em: 10 de novembro de 2016.
- [7] CREF. **Choque Elétrico no Corpo Humano!**. Visualizado em: <https://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=131>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2016.
- [8] FOWLER, Richard. **Fundamentos de Eletricidade - Volume 2**. 7.ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda., 2013.
- [9] INMETRO. **Vocabulário Internacional de Metrologia – 2012**. Visualizado em: http://www.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/vim_2012.pdf. Acesso em: 28 de março de 2016.
- [10] Instituto de Tecnologia – UFFRJ. **Riscos de Choques Elétricos**. Visualizado em: <http://www.uffrj.br/institutos/it/de/acidentes/eletric.htm>. Acesso em: 19 de setembro de 2016.

- [11] MALARIC, Roman. **Instrumentation and Measurement in Electrical Engineering**. Brown Walker Press. Boca Raton, Florida, 2011.
- [12] ISO. **The International Language of ISO Graphical Symbols**. Visualizado em: http://www.iso.org/iso/graphical-symbols_booklet.pdf. Acesso em: 17 de outubro de 2016.
- [13] PETRUZELLA, F. D. **Eletrotécnica I**. Porto Alegre: AMGH, 2013.
- [14] SENAI. **Sistemas Elétricos Prediais – Instalação**. São Paulo: SENAI-SP Editora, 2014.
- [15] SPADA, Adriano L. **Conceitos Básicos sobre Sistemas de Energia e Aterramento em Áudio**. Visualizado em: http://www.attack.com.br/artigos_tecnicos/geracao_da_energia.pdf. Acesso em: 05 de agosto de 2016.