

Prática n.º 1

Familiarização com a fonte de tensão, o multímetro e resistências.

[Faça o estudo dos circuitos (cálculos e/ou simulações) antes da aula]

1. Familiarização com o multímetro, placa de teste e resistências; valor nominal, tolerância e potência máxima que uma resistência pode dissipar; código de cores indicativo do valor nominal e da tolerância para resistências). Meça, utilizando o multímetro, o valor de três resistências selecionadas aleatoriamente e verifique se os valores medidos estão em acordo com os valores nominal e a tolerância indicados pelas bandas de cor existentes no corpo dos componentes. Avalie a linearidade e a resolução da função ohmímetro do multímetro com base nos valores medidos das resistências individuais e das associações destas em série e em paralelo.
2. Familiarização com a fonte de tensão ajustável. Monte na placa de teste um **divisor de tensão** formado por resistências de valor nominal 100 Ω e de 10 Ω . Ajuste o valor da tensão aplicada de forma que a resistência de 100 Ω dissipe 10 mW. Verifique se há variação do coeficiente da divisão quando a potência dissipada na resistência de 100 Ω passa (ajustando a tensão aplicada) de 10 mW para 330 mW (o valor máximo nominal admissível, à temperatura ambiente). Utilize um processo de medição que lhe permita usar o voltímetro na escala de máxima sensibilidade (assuma que o instrumento se comporta como um voltímetro ideal).
3. Familiarização com circuitos resistivos. Implemente na placa de teste o circuito da Fig. 1. Meça todas as tensões nodais e a diferença de potencial (ddp) em todos os elementos do circuito. Verifique as relações entre as tensões nodais, $e_j, j=1, \dots, N-1$, e as tensões nos elementos, $u_k, k=1, \dots, M$, onde N é o número de nós e M é o número de elementos (ou ramos) do circuito. Calcule, **sem medir diretamente (rever anexo)**, o valor experimental das correntes em todos os elementos, incluindo a fonte de tensão. Compare os resultados experimentais com os que obteve na análise analítica e/ou na simulação do circuito. Comente as discrepâncias.

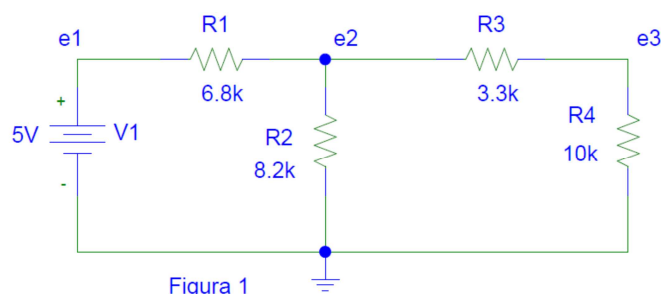


Figura 1

Folha de registo de Resultados

Prática n.º 1: circuitos DC

Familiarização com a fonte de tensão, o multímetro e resistências.

Turno: ____ Grupo: ____ Alunos n.º: _____ n.º: _____ n.º: _____ Data: ____/_09/_2018

1. Registe os valores medidos e as conclusões a que chegou quanto à linearidade e a resolução da função ohmímetro do multímetro.
2. Indique o valor da variação do coeficiente da divisão quando a potência dissipada na resistência de $100\ \Omega$ passa de $10\ \text{mW}$ para $330\ \text{mW}$, e a escala de sensibilidade que usou.
3. Indique os valores de tensão nodais e as tensões em todos os elementos do circuito que mediu. Indique também os valores que obteve na análise analítica e/ou na simulação do circuito. Comente as discrepâncias.

Anexo A:

Notas sobre os componentes, instrumentos e equipamentos do laboratório de CESDig

A leitura destas notas irá facilitar a aquisição das competências necessárias à boa realização dos trabalhos de montagem, e à análise e teste de circuitos electrónicos objeto de estudo.

Regras de funcionamento das atividades laboratoriais:

O objectivo da disciplina é fomentar nos alunos atitudes de trabalho laboratorial na área de Electrónica. A formação em circuitos eléctricos e sistemas digitais é de fundamental importância para quem pretende seguir uma profissão de natureza técnico-científica, uma vez que a electrónica é um dos principais motores do desenvolvimento tecnológico actual.

Nas aulas laboratoriais são realizados trabalhos que têm por finalidade a experimentação prática de conceitos tratados nas aulas teóricas e teórico-práticas. Cada aluno e/ou grupo deve possuir um caderno de apontamentos, no qual fará o registo dos aspectos relevantes à execução dos trabalhos. Nos guiões dos trabalhos são dadas as informações necessárias à realização dos mesmos, e dos resultados a recolher e a analisar.

Recomenda-se vivamente o estudo dos temas e dos guias dos trabalhos antes da realização das atividades experimentais semanais. Aconselha-se a realização antecipada da simulação dos circuitos a montar, sempre que apropriado. O aluno deve preparar antecipadamente, na componente de trabalho autónomo da carga horária da UC, as atividades práticas, efetuando a análise analítica e/ou numérica/simulação dos circuitos e montagens propostas. Recomenda-se dedicar de cerca de duas horas à preparação de cada aula prática.

Todas as bancadas de trabalho dispõem do mesmo material base. Após a realização do trabalho, o material deve ser devidamente arrumado e deixado pronto a usar para os próximos turnos, e os componentes colocados nos respetivos locais de armazenamento. As pontas de prova dos equipamentos deverão ser mantidas nas bancadas junto dos aparelhos. Os componentes danificados não devem ser misturados com os restantes; antes, deverão ser entregues ao docente. No laboratório existe um *dossier* que contém as instruções de operação dos instrumentos (brevemente resumidas no anexo a este documento). Os documentos do *dossier* contêm informação muito útil sobre os instrumentos e são de consulta recomendada, sempre que tiver dúvidas sobre as funcionalidades dos equipamentos.

Comportamentos de Segurança

- Deve manter a bancada de trabalho sempre limpa e livre de objetos estranhos ao trabalho em curso, nomeadamente mochilas, casacos, comida, etc.;
- Antes de iniciar as atividades experimentais consultar/rever os guias de utilização dos equipamentos que vai usar, por forma a conhecer os procedimentos de operação e os cuidados a ter durante a sua operação;
- Não manusear instrumentos com as mãos molhadas; não trabalhar com o piso molhado;
- Evitar o contacto direto das mãos com os terminais das fontes de energia;

- Após terminar as atividades experimentais os equipamentos devem ser desligados, e os componentes devidamente arrumados nas caixas de armazenamento correspondentes;
- Não usar valores de intensidade de corrente superior às necessidades do circuito;
- Fazer em último lugar a conexão ao ponto de maior tensão do circuito;
- Desligar as fontes antes de trabalhar no circuito;
- Descarregar os condensadores antes de tocar no circuito;
- Não trabalhar com os equipamentos sem conhecer os procedimentos e os cuidados a ter;
- Conhecer os locais onde se encontram os interruptores de segurança e as saídas de emergência;

Equipamento de Base nas Bancadas do Laboratório

Nas aulas laboratoriais são usadas fontes de tensão contínua e geradores de sinal, osciloscópios, multímetros, placas de montagem, componentes eletrónicos diversos, fios e cabos de ligação, Fig. A1.

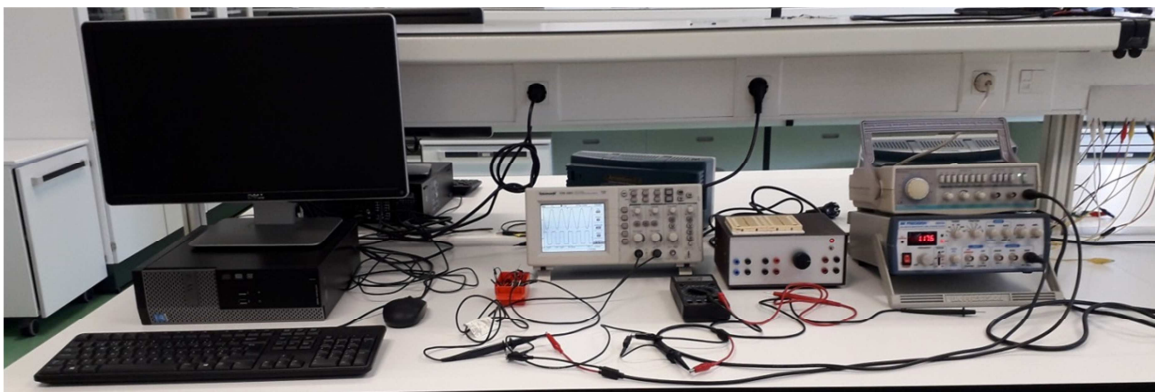


Figura A1: Foto de uma das bancadas de trabalho - salas C1.4.12/13.

Componentes eletrónicos

Os componentes a usar nas atividades (resistências, condensadores, díodos, amplificadores operacionais (AmpOps), portas lógicas, etc.) encontram-se armazenados nas caixas de componentes da sala de aula, Fig. A2.

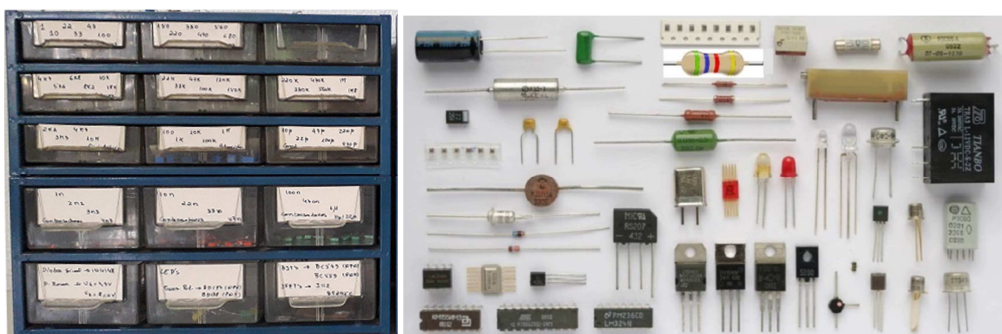
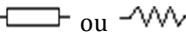


Figura A2. Caixas de componentes e alguns componentes comuns.

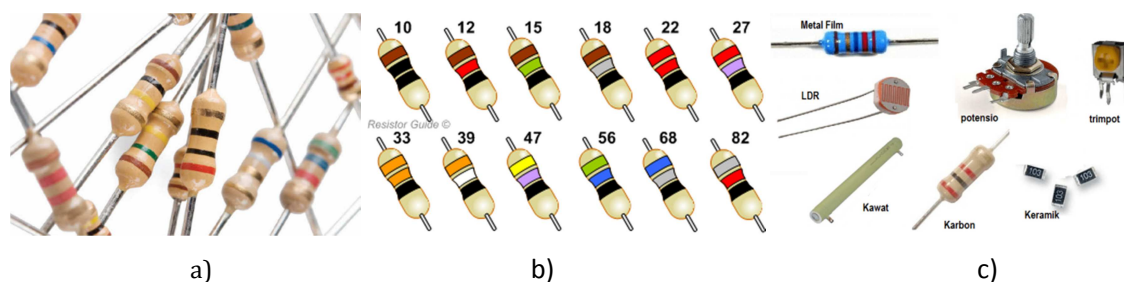
Resistências:

Quando se aplica a mesma diferença de potencial (ddp) às extremidades de diferentes materiais condutores de electricidade, estes passam a ser percorrido por correntes eléctricas. As intensidades de corrente são, em geral, diferentes, dependendo do material e da forma do condutor, mostrando que uns condutores oferecem maior oposição ou **resistência** à passagem de corrente eléctrica do que outros. Se aos terminais A e B de um condutor existir uma diferença de potencial (ou tensão), tal que o potencial em A é maior do que o potencial em B, i.e., $V_A > V_B$ ou $V_A - V_B > 0$, o sentido convencional da intensidade de corrente I será de A para B.

A **resistência eléctrica** R de um condutor percorrido pela corrente I quando aos seus terminais há uma ddp $V(=V_A - V_B)$ é dada pelo cociente $R = \frac{V_A - V_B}{I}$; a unidade SI de resistência é o ohm, símbolo Ω (ómega).

O componente de um circuito eléctrico cuja funcionalidade é limitar a intensidade de corrente eléctrica num dado ramo designa-se por resistência. No esquema de um circuito eléctrico uma resistência é representada por . Como resulta da expressão de definição, numa resistência a intensidade de corrente eléctrica I é directamente proporcional à tensão $V(=V_A - V_B)$ existente aos seus terminais; a constante de proporcionalidade designa-se por condutância, símbolo G , cuja unidade SI é o siemens (símbolo S). O inverso da **condutância eléctrica** corresponde à resistência eléctrica R , i.e., $R=1/G$. A relação $I = V/R$ traduz matematicamente a **lei de Ohm** (outra versão corrente da expressão anterior é $V = R \cdot I$).¹ Uma resistência dissipa energia por **efeito de Joule**, à taxa temporal dada por $P_d=R \cdot I^2$, onde P_d representa a potência dissipada na resistência.

A Fig. A3 mostra diferentes resistências. As resistências usadas nas aulas correspondem à série E12, Fig. A3(a) e (b). Na série E12 há 12 valores espaçados exponencialmente em cada potência de 10: dado um valor, o valor seguinte é obtido multiplicando esse valor por $10^{1/12} \approx 1,212$. Nesta série, os valores nominais das resistências em cada década são 1.0, 1.2, 1.5, 1.8, 2.2, 2.7, 3.3, 3.9, 4.7, 5.6, 6.8, 8.2 e 10.0.



<https://www.etronecircuit.com/digital-theory-replacement-parts/sk01089-10k-ohm-resistor> <https://sambarelektro.blogspot.com/2018/01/komponen-elektronika-lengkap-fungsinya.html> <https://www.resistorguide.com/resistor-values/>

Figura A3: Resistências da série E12 (a) e (b); (c) Outros tipos de resistência.

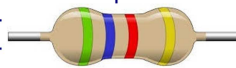
¹ Nos guias I representa uma corrente eléctrica constante, $i(t)$ indica uma corrente eléctrica variável no tempo, e i o valor instantâneo da intensidade de corrente eléctrica. A mesma convenção é adoptada para a tensão (V , $v(t)$ e v).

O valor da resistência dos componentes da série E12 é indicado, geralmente, por três bandas coloridas a que corresponde a um código numérico, ver Tabela A1. Uma quarta banda colorida que indica a precisão desse valor. Se esta banda for dourada a precisão é 5%. Isto quer dizer que o valor real da resistência pode diferir do valor nominal (definido pelas três bandas coloridas) até 5% desse valor. A cada cor corresponde um dígito: os dígitos correspondentes às duas primeiras bandas formam um número, e o dígito da terceira banda corresponde à potência de 10 a multiplicar pelo número formado pelas duas primeiras bandas.

A conversão do código de cores no valor da resistência é feita da seguinte forma: a cada cor, começando da banda mais à esquerda – a banda mais afastada da banda correspondente à precisão – associa-se o respetivo valor numérico; o valor da resistência é formado pelos dois primeiros dígitos seguido do número de zeros correspondente ao valor numérico da cor da terceira banda colorida.

Tabela A1: Código de cores para resistências

COR	1ª BANDA	2ª BANDA	3ª BANDA	4ª BANDA
Preto	-	0	1	-
Castanho	1	1	10	-
Vermelho	2	2	10 ²	-
Laranja	3	3	10 ³	-
Amarelo	4	4	10 ⁴	-
Verde	5	5	10 ⁵	-
Azul	6	6	10 ⁶	-
Violeta	7	7	10 ⁷	-
Cinzento	8	8	-	-
Branco	9	9	-	-
Ouro			10 ⁻²	± 5%
Prata			10 ⁻¹	± 10%
Ausência de cor			-	± 20%



O valor da resistência com bandas verde (5), azul (6), vermelho (2) e dourado corresponde a 5,6 kΩ ± 5%.

Exemplos: o valor da resistência com bandas castanho (1), preto (0), amarelo (4) e dourado (5%) é 10 0000 ohm (100 kΩ) ± 5%; se as bandas foram vermelho (2), preto (0) e vermelho (2), a resistência terá o valor de 20 00 ohm (ou 2 kΩ) ± 5%.

As resistências usadas nas aulas podem dissipar, à temperatura ambiente, no máximo 0,33 watt.

Sempre que possível, **deve evitar-se medir correntes, nomeadamente a corrente através de uma resistência, usando a função amperímetro do multímetro** (i.e., usar o multímetro a funcionar como amperímetro): meça antes o valor das tensões aos terminais das resistências V_{Ri} e os valores da resistência das resistências R_i , e calcule a corrente I_{Ri} que percorre a resistência R_i e partir da tensão V_{Ri} , usando a lei de Ohm, $I_{Ri}(A) = V_{Ri}(V) / R_i(\Omega)$.

Fonte de tensão contínua fixa (5 V) e ajustável (0 a 15 V), com placa de teste

Em cada bancada há um osciloscópio, um gerador de sinal, uma fonte de alimentação DC (saídas de +5, +15 e -15 V), um multímetro, uma placa de montagem e fios de ligação.

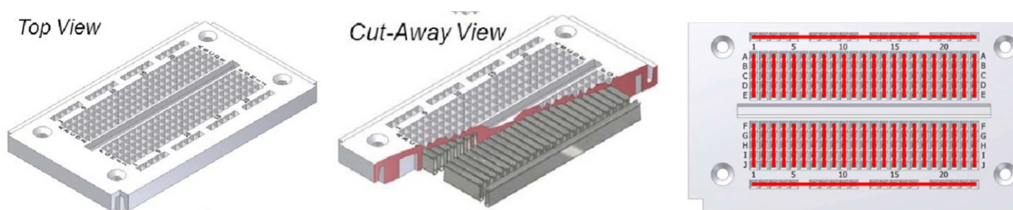
As fontes de alimentação DC ou fontes de tensão DC do laboratório têm uma “saída” de +5 V (fixa), e duas saídas de polaridade simétrica ajustáveis de 0 V até +15 e -15 V, Fig. A8.² Estas fontes incorporam placas de montagem ou teste que permitem aparelhar e ligar entre si e com relativa facilidade os componentes eletrónicos de um circuito protótipo. As montagens são efectuadas com os componentes existentes nas caixas de armazenamento de componentes do laboratório.



Figura A8. Vista frontal da fonte de tensão DC.

Placa de teste para montagem de circuitos protótipo.

A placa de teste (“breadboard”) é uma plataforma que permite implementar protótipos de circuitos elétricos sem necessidade de aplicar solda ou outra forma de ligação permanente, Fig. A9. Os terminais dos componentes eletrónicos e os fios de ligação (“jumpers”) usados para as ligações são inseridos nos buracos existentes na placa de teste. Estas placas são de grande utilidade na fase de desenho, simulação e estudo de circuitos protótipos, devido à facilidade com que se pode alterar a topologia e configuração dos circuitos.



² É habitual na “linguagem eletrónica” corrente designar-se por **fonte de tensão** um equipamento que mantém uma ddp entre dois pontos particulares constante no tempo, e por **gerador de funções/fonte de sinais** uma um dispositivo cuja ddp entre dois pontos específicos é variável no tempo.

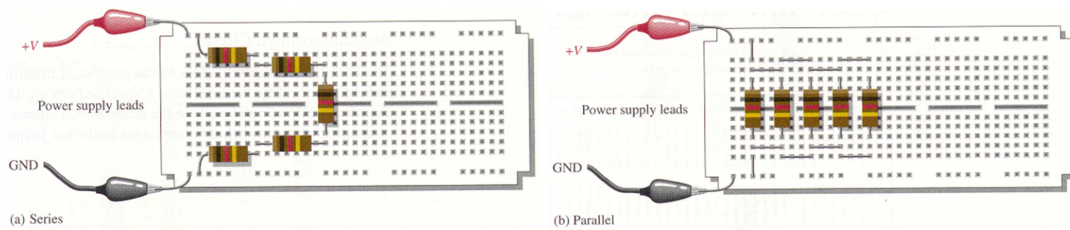


Figura A9. Placa de teste/montagem de circuitos protótipo. Resistências em serie e em paralelo.

Todos os buracos da placa de teste têm internamente um sistema de mola que permite um bom contacto eléctrico com os fios de ligação (“jumpers”). Os orifícios encontram-se ligados internamente de acordo com o esquema da Figs. A9 e A10. A separação entre os orifícios é de 1/10 de polegada (dimensão característica de base dos componentes eletrónicos integrados). A zona central permite montar directamente circuitos integrados. As linhas laterais são particularmente indicadas para ligação das alimentações e/ou sinais a ser ligados a diferentes pontos na montagem.

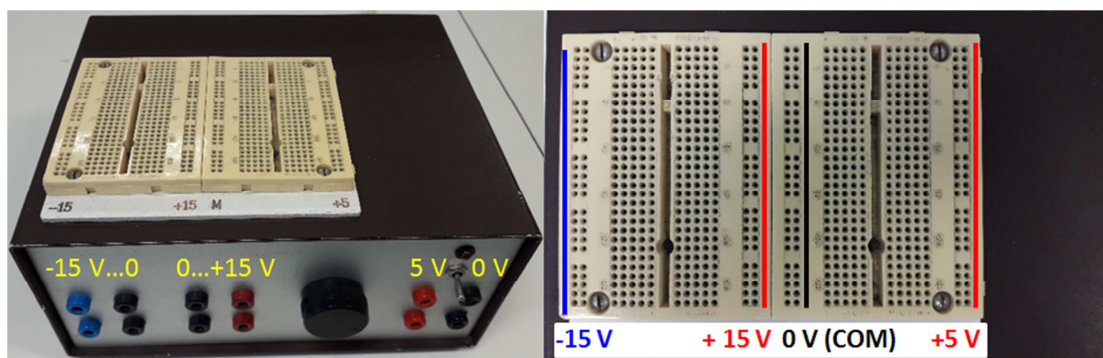


Figura A10. Fonte de tensão DC e placa de teste incrustada na fonte.

Descrição das placas de teste encrustadas às fontes:

Cada grupo de cinco orifícios dispostos na horizontal (Fig. A10) representa um nodo; as linhas “verticais” laterais e centrais, formadas por grupos de cinco orifícios representam nodos distintos. O nodo formado pela linha mais à esquerda está ao potencial negativo da tensão ajustável (podendo ter o valor entre 0→-15 V). A linha vertical central da esquerda (de cor vermelha) está ao potencial positivo da tensão ajustável (podendo assumir o valor entre 0→+15 V); a linha vertical central da direita (linha de cor preta) está ao potencial do comum (COM) da fonte de tensão. O nodo formado pela linha vertical (de cor vermelha) mais à direita está ao potencial fixo de 5 V (ddp entre este terminal e o COM).

Devido às ligações internas, estas placas apresentam indutâncias e capacidades que não aconselham a sua utilização a frequências superiores a algumas dezenas de megahertz. A título de exemplo, a capacidade entre

linhas adjacentes é da ordem de 10 pF. Os fios de ligação mais indicados são de espessura pequena, adequada aos furos, e monofilares.

Multímetro

Face à sua grande versatilidade, o multímetro tornou-se o aparelho de medidas eléctricas de uso universal nos laboratórios de eletrónica, em oficinas de eletricidade e de eletrónica, etc. Os multímetros reúnem num só aparelho a possibilidade de medir tensão (ddp), corrente [alternada (ca) ou contínua (cc)], e resistência, pelo menos. Nas aulas laboratoriais são usados os multímetros digitais Escort EDM168A (Fig. A11).



“Legenda”: medidas AC~ (corrente alternada); medidas DC~ (corrente direta ou contínua); **V** função voltímetro; **FREQ Hz** função frequencímetro; **A** função amperímetro; Ω função ohmímetro; **Cx** função capacitímetro; **COM** terminal comum; **V- Ω -Hz** terminal das funções **V**, Ω e **Hz** (frequencímetro); **mA** terminal da função miliamperímetro (até 200 mA); **20 A** terminal da função amperímetro (até 20 A). A função a desempenhar pelo multímetro (**V**, **FREQ Hz**, **A**, **Cx**, Ω) e a correspondente escala são seleccionadas rodando o seletor de função (botão rotativo).

Figura A11. Multímetro digital Escort EDM168A.

A utilização de multímetros pressupõe conhecimentos básicos sobre: escolha de terminais; selecção de grandezas a medir (tensão, intensidade de corrente, resistência, capacidade, ...); escalas e factores de escala; funcionamento em modo DC e AC.

A grandeza eléctrica mais frequentemente medida é a tensão ou ddp.³ Com efeito, a tensão eléctrica é a grandeza de mais fácil medição, sendo igualmente simples reduzir a ela a maioria das outras grandezas (eléctricas ou não). No modo voltímetro **V**, os multímetros correntes permitem medir, em geral, valores de tensão no intervalo 10^{-4} V (0.1 mV) a 10^3 V (1 kV).

Outra grandeza cuja medição é imediata é a intensidade de corrente eléctrica. Contudo, neste caso, é necessário tomar algumas providências para que não se danifique o aparelho de medida durante o processo

³ Na “linguagem electrónica” é habitual designar-se por “tensão” uma diferença de potencial (ddp) eléctrico.

de medição. No modo amperímetro **A**, a corrente a medir passa através de uma resistência interna conhecida. Tipicamente os multímetros comuns medem correntes no modo miliamperímetro entre 10^{-4} A (100 μ A) e 200 mA, e até 20 A no modo amperímetro. Dois fusíveis, um para correntes baixas (<200 mA) e outro para correntes mais elevadas (>200 mA), protegem estes aparelhos de correntes excessivas.

Para medir resistência, os multímetros possuem uma fonte de corrente. Quando se quer medir o valor de uma resistência liga-se uma das extremidades da resistência à entrada assinalada com o símbolo Ω e a outra ao terminal **comum** (COM) – o componente cuja resistência se pretende medir deve ser retirado do circuito para que seja feita a medição. Mais uma vez o que se mede é a tensão criada pela passagem de uma corrente, de determinado valor, na resistência a medir. Os multímetros podem medir resistência desde de fracção de ohm até dezenas de megaohm ($M\Omega$).

Quando se pretende fazer uma leitura usando o multímetro e não se tem uma estimativa do valor da grandeza a medir, deve começar-se sempre por usar a escala de menor precisão (escala de maior valor). Exemplo: se se pretende medir corrente desconhecida que se sabe ser inferior a 200 mA usando a função miliamperímetro, deve começar-se pela escala de 200 mA, passando sucessivamente para as escalas de maior precisão até se atingir a escala mais adequada para a leitura. Nota: Sempre que possível deve evitar-se usar o multímetro no modo miliamperímetro/amperímetro, optando por medir a corrente indiretamente com auxílio da lei de ohm, conforme atrás referido.

MEDIR DE RESISTÊNCIA: O ohmímetro determina o valor da resistência de um componente fazendo com que este seja percorrido por uma pequena corrente e medindo a diferença de potencial (tensão) que se estabelece aos seus terminais. A razão entre os valores da tensão aos terminais do componente e a corrente que o percorre é convertida, pelo ohmímetro, no valor da resistência do componente, sendo indicado no ecrã em ohm (Ω), quilo-ohm ($k\Omega$), megaohm ($M\Omega$).

MEDIR TENSÃO: O voltímetro mede a tensão que se estabelece entre os seus terminais. A tensão é sempre medida entre dois nodos e corresponde sempre a uma diferença de potencial. Um multímetro real apresenta uma resistência interna da ordem de 10 megaohm ($M\Omega$). Idealmente, um voltímetro não altera o ponto de funcionamento do circuito (devido à elevada resistência interna, quando comparada com o valor das resistências do circuito e da resistência equivalente “vista” dos terminais onde se conecta o voltímetro), isto é, a intensidade de corrente que diverge do circuito para o voltímetro é, em geral, muito inferior à corrente que circula entre os dois nodos onde está a ser feita a medição. Um voltímetro ideal tem resistência interna infinita.

MEDIR CORRENTE: O (mili)amperímetro mede a intensidade de corrente que percorre um dado ramo de um circuito. Medir a corrente usando a função (mili)amperímetro implica abrir o ramo e ligar às extremidades resultantes o amperímetro: uma das extremidades ao terminal da função amperímetro e a outra ao terminal

COM do multímetro. A corrente nesse ramo (a corrente a medir) circula entre o terminal do modo amperímetro e o terminal COM. O amperímetro passa a fazer parte do circuito. Um miliamperímetro apresenta uma resistência interna da ordem de alguns ohms, tipicamente inferior a 10Ω . Conforme referido anteriormente, e sempre que possível, deve evitar-se usar o multímetro no modo amperímetro, optando por medir a corrente indiretamente com auxílio da lei de ohm.

Código de boa utilização dos aparelhos de medição:

O êxito de uma medição está parcialmente ligado a uma correcta utilização do aparelho de medição. Um aparelho mal utilizado pode ter consequências negativas muito diversas, desde um resultado pouco preciso, até à danificação ou destruição irreversível do aparelho de medição ou mesmo do circuito em que o aparelho foi inserido. Eis alguns aspectos importantes a atender sequencialmente no manuseamento de aparelhos de medição (como, por exemplo, o multímetro):

- Escolha correcta da função: o utilizador deverá estar plenamente consciente da grandeza que pretende medir - tensão cc (dc), tensão ca (ac), corrente cc, corrente ca, etc. - e seleccionar a correspondente função no multímetro. A função ohmímetro deverá ser utilizada exclusivamente para medição do valor da resistência de resistências, que não tenha ligado em derivação quaisquer outros elementos que deixem passar corrente e que não estejam a ser atravessadas por qualquer outra corrente eléctrica, além da que é introduzida pelo ohmímetro, i.e., as resistências deverão ser medidas individualmente *desinseridas* do circuito.

- Escolha da gama de medição adequada: pressupõe-se que o aparelho de medição escolhido inclui uma gama apropriada à medição pretendida. Se o aparelho tiver selecção automática de gama, esta verificação é suficiente, já que o próprio aparelho se encarrega por si de fazer a selecção da gama mais adequada; no caso de aparelhos mais antigos, para conseguir uma leitura com a maior precisão possível, o utilizador deverá escolher a menor gama imediatamente superior (ou, no limite, igual) ao valor previsto para a grandeza objeto de medição: se não fizer a menor ideia do valor que vai medir (**será uma situação verdadeiramente excepcional**) deverá começar por seleccionar a gama mais elevada da função, que depois vai diminuindo, sucessivamente, até obter a leitura com a máxima sensibilidade possível sem exceder o limite da gama. Como directiva geral, são de evitar medições que conduzam a valores inferiores a meia escala. Quando se mede uma resistência com um ohmímetro, há que verificar previamente o ponto “zero ohms”, curto-circuitando os terminais do aparelho.

- Ligação correcta do aparelho de medição ao circuito. Enquanto não há experiência suficiente na realização de medições eléctricas, é boa prática ligar o aparelho de medição ao circuito em análise antes de *energizar* este; isto é particularmente importante na utilização como amperímetro. Inversamente e, em geral, deverá *desenergizar-se* o circuito antes de se desligar dele o aparelho de medição.

- É essencial prestar a devida atenção à escala seleccionada, isto é, às suas unidades e valor máximo. Nos multímetros analógicos, para além da utilização de diferentes cores na marcação das escalas correspondentes às várias funções, é habitual uma mesma escala - entenda-se, neste contexto, arco de circunferência, dividido

em intervalos parcelares por pequenos traços - ter associada várias graduações, correspondentes às várias gamas. Nos aparelhos digitais, especialmente nos mais modernos, a leitura correcta está mais facilitada, já que o ecrã indica, além do valor numérico, a unidade e o eventual fator multiplicador.

- Os aparelhos digitais são ativos, isto é, contêm circuitos eletrónicos que têm de ser alimentados, para tal os aparelhos estão equipados com pilhas, acumuladores ou fontes de alimentação interna ou externa. Em qualquer caso, para operar o aparelho é necessário ligar a alimentação no respectivo interruptor.

Qualquer aparelho de medição, por mais simples e barato que seja, é sempre fornecido com um manual em que devem estar resumidas as especificações eléctricas e operacionais, assim como dados sobre a precisão e instruções de operação. Em caso de dúvida, encoraja-se, vivamente, o utilizador a consultar esses elementos. Nalguns aparelhos, há um resumo dos aspetos mais importantes na base/costas dos mesmos

Efeitos da Corrente eléctrica no Corpo Humano:

Choque eléctrico: É a corrente e não a tensão que causa o choque. A severidade do choque depende, é claro, do valor da diferença de potencial e do caminho percorrido pela corrente no corpo. A resistência típica do corpo humano adulto está compreendida no intervalo 10 k Ω a 50 k Ω ; se considerarmos o valor eficaz da tensão da rede eléctrica doméstica (220 V), um choque eléctrico pode significar que o corpo humano é percorrido por uma corrente da ordem de 22 mA (220 V/10 k Ω). Nos trabalhos a realizar não são exepetáveis corrente superior a poucas dezenas de miliampere.

Efeitos da corrente:

- 2 mA, começo da percepção;
- 10 mA, choque sem dor e sem perda de controlo muscular;
- 20 mA, choque com dor;
- 30 mA, choque com dor severa, contração muscular, dificuldades de respiração;
- 75 mA, fibrilação;
- 250 mA, fibrilação ventricular, usualmente fatal após 5 s;
- 4000 mA, paragem cardíaca;
- 5000 mA, queimadura dos tecidos.

Temperaturas elevadas

A temperatura dos componentes eletrónicos em operação pode atingir valores elevados para o ser humano (~100 °C), o que pode originar queimaduras e causar incêndios, se não estiverem corretamente acondicionados.