

## 1º Trabalho Prático:

# O OSCILOSCÓPIO E O MULTÍMETRO DIGITAL

Este trabalho tem como objetivo a familiarização com o multímetro digital e com o osciloscópio (OSC). Conhecer as múltiplas situações em que estes instrumentos se revelam auxiliares preciosos na medição de diferenças de potencial (ddp), intensidade de corrente elétrica e do valor de resistência elétrica, bem como de intervalos de tempo e/ou de frequências. Pretende-se também comparar os resultados de medições de ddp feitas com o osciloscópio e com as medidas feitas com o multímetro.

## 1. Apresentação

### *Medição e medida*

Em Física, a descrição dos fenómenos que ocorrem no Universo é feita em termos de um certo número de características, designadas por grandezas físicas. A medição de uma grandeza física consiste em atribuir-lhe um número (valor numérico) através do seu confronto com uma grandeza padrão (a que chamamos unidade), mediante a interposição entre o fenómeno e o observador de um instrumento de medida. O processo de medição nunca é ideal pelo que o valor numérico obtido vem sempre afetado pelas limitações e imprecisões dos instrumentos e métodos usados (o erro). Sendo assim, a medida definida como o resultado da medição, deve-se exprimir sob a forma:

$$\text{MEDIDA} = [\text{VALOR NUMÉRICO}] \pm [\text{ERRO}] [\text{UNIDADE}]$$

Um instrumento de medida pode-se considerar genericamente como sendo formado por 3 elementos:

- um elemento revelador, sensível à grandeza a medir - sinal de entrada;
- um transdutor, que transforma a informação obtida pelo revelador numa grandeza de fácil manipulação por parte do experimentador;
- um dispositivo ("mostrador") que dá visualmente ou graficamente o resultado da medida - sinal de saída.

Basicamente um instrumento de medida funciona como um transdutor que transforma um sinal qualitativo e/ou inacessível aos nossos sentidos num sinal que podemos quantificar. Na sua grande maioria, os instrumentos de medida usados no laboratório para quantificar grandezas que não sejam comprimentos ou intervalos de tempo, realizam a transdução da grandeza física num sinal elétrico, normalmente uma diferença de potencial (ddp) ou sinal de tensão. As vantagens deste tipo de sinal são inúmeras:

- podem ser enviados a grandes distâncias sem perda de informação;
- podem ser gravados de forma analógica ou digital;
- podem ser filtrados, amplificados ou processados de forma complexa;
- podem ser facilmente visualizados com instrumentos adequados.

Por estas razões, o estudo dos sinais elétricos é muito importante na Física ou em qualquer outra Ciência Experimental. Neste primeiro trabalho prático iremos trabalhar com alguns aparelhos usados para medir e visualizar sinais elétricos que devem ser entendidos como a própria grandeza física a medir ou como podendo resultar da saída de um conjunto

[revelador+transdutor] adequado à medição de uma outra grandeza física.

### *Medição de sinais elétricos*

A escolha do instrumento de medida mais adequado para a medição de uma diferença de potencial (ddp) ou outro sinal elétrico, depende da rapidez com que esse sinal varia. O tempo de resposta de um instrumento de medida é o tempo necessário para o instrumento responder a um estímulo, o qual deve ser breve de modo a que quando receba um segundo estímulo já tenha respondido ao anterior. O tempo de resposta deve ser sempre inferior ao tempo de variação das grandezas.

Quando um sinal elétrico é constante ou varia lentamente, o aparelho mais adequado para a sua medição é o **multímetro digital**, cujo tempo de resposta (em modo DC) é de 1 ou 2 segundos. Em modo AC o multímetro faz uma leitura correta do valor eficaz (RMS) do sinal para frequências entre aproximadamente 10 Hz e 5 kHz (dependendo das características do aparelho). No entanto, o multímetro não fornece nenhuma outra informação sobre a grandeza a medir, nomeadamente a sua rapidez de variação, ou a forma como se processa essa variação. Para obter esta informação adicional, que é essencial em muitas aplicações, torna-se necessário recorrer ao **Osciloscópio**.

## 2. A lei de Ohm<sup>1</sup>

A **intensidade de corrente elétrica**, ou abreviadamente corrente, é o número de cargas elétricas que por segundo atravessam uma secção reta do circuito. O símbolo para corrente elétrica é  $I$  (ou  $i$ ) e a unidade é o ampere (A). Um ampere corresponde a um fluxo de carga de um coulomb por segundo.

A **diferença de potencial elétrico (ddp)** entre dois pontos de um circuito elétrico é a medida do trabalho que é necessário realizar para mover uma carga unitária de um ponto a potencial elétrico mais baixo para um ponto com potencial mais elevado. Usa-se habitualmente o termo **tensão** para designar esta diferença de potencial elétrico. O símbolo de ddp é  $V$  e a unidade de medida é o volt (V).

Para certos materiais condutores a ddp aos seus terminais é diretamente proporcional à corrente que os atravessa. A relação entre  $V$  e  $I$  é linear e a sua expressão é conhecida como a **lei de Ohm**

$$V = R \cdot I$$

Nesta equação a constante de proporcionalidade  $R$  representa a resistência do componente. A unidade de resistência é o ohm ( $\Omega$ ). Num circuito elétrico uma resistência representa-se pelo símbolo  ou

Para que se estabeleça uma corrente elétrica num circuito são necessárias duas condições: 1) que o circuito seja fechado, isto é que todos os elementos se liguem entre si sem interrupções; 2) que haja no circuito uma fonte de tensão (ou de corrente). Uma **fonte de tensão** é um elemento que estabelece de forma autónoma uma diferença de potencial aos seus terminais (também conhecida como força eletromotriz). Essa ddp pode ser contínua ou alternada e então poderemos

<sup>1</sup> Ver também a Leitura 4 de Abreu et al., 1994

falar de geradores de tensão **DC** ou **AC**. Uma fonte de tensão contínua num circuito representa-se habitualmente por  e uma fonte de tensão alternada por .

### 3. O Multímetro Digital<sup>2</sup>

Os instrumentos de medida habitualmente usados na medição das grandezas elétricas, intensidade de corrente, diferença de potencial e resistência elétrica, designam-se respetivamente por amperímetros, voltímetros e ohmímetros. Um multímetro é um aparelho que reúne num mesmo corpo estas três funções. No multímetro digital a leitura do valor numérico da grandeza elétrica é feita diretamente no mostrador, podendo esse valor estar afetado de um sinal.

No multímetro digital a escolha da grandeza a medir assim como a escala mais adequada é feita por seleção de botões e também pela posição das pontas de prova. Quando não conhecer a ordem de grandeza do valor a medir, deve sempre começar pela escala mais elevada até obter no mostrador o maior número de algarismos significativos possível. Se o valor ultrapassar a escala escolhida então o mostrador deve indicar esse facto com um símbolo especial. Em alguns modelos esse símbolo é 1 (um) alinhado à esquerda sem mais nenhum algarismo.

Para medir uma diferença de potencial com o multímetro digital regulado para voltímetro o instrumento deve ser colocado **em paralelo** com o elemento a estudar. O símbolo de um voltímetro é habitualmente dado por



Para medir a intensidade de corrente elétrica que atravessa um dado ponto de um circuito com o multímetro digital regulado para amperímetro o instrumento deve ser colocado **em série, isto é, a corrente que se quer medir deve entrar por o terminal de “entrada da corrente” e sair pelo terminal de “saída da corrente” do aparelho (durante medição o amperímetro faz parte do circuito sendo atravessado pela corrente elétrica)**. O símbolo de um amperímetro é habitualmente dado por



Para medir a resistência de um elemento de um circuito devem-se, sempre que possível, remover o componente do circuito e colocar as pontas de prova do multímetro digital, regulado para a função ohmímetro, nas extremidades do elemento. Caso não seja possível retirar completamente o elemento do circuito deve-se assegurar que o mesmo não é atravessado por qualquer corrente elétrica (i.e., o elemento está em circuito aberto).

**NOTA:** todos os instrumentos de medida de grandezas elétricas alteram as características do circuito que pretendem analisar. Por vezes esse efeito não pode ser desprezado. Uma das características que define a interferência do instrumento no circuito é a sua **resistência interna**. Um multímetro operando na função voltímetro deve ter uma resistência interna idealmente infinita para que não drene corrente do circuito em análise. Por sua vez um multímetro operando na função amperímetro deve ter uma resistência interna muito pequena quando comparada com as resistências existentes no circuito, idealmente zero.

<sup>2</sup> Ver também o Apêndice 2.4 de Abreu et al., 1994

## 4. O Osciloscópio

O osciloscópio é um aparelho que permite observar num ecrã uma diferença de potencial (ddp) em função do tempo ou em função de uma outra ddp. A ddp lê-se a partir da posição de uma linha no ecrã. Uma série de divisões marcadas no ecrã auxiliam na leitura das coordenadas do ponto luminoso. O rigor que se obtém é normalmente da ordem de 1 mm, mas a precisão da medida depende das escalas escolhidas para os eixos XX (tempo ou ddp) e YY (ddp). Para converter as leituras de amplitudes  $X$  e  $Y$  feitas em unidades de comprimento (normalmente cm) em unidades de ddp ou de tempo, devem-se usar os fatores de amplificação selecionados para o canal horizontal  $A_x$  e vertical  $A_y$ :

$$V_y = A_y * Y \quad T = A_x * X \quad (\text{modo Y-T}) \quad \text{ou} \quad V_x = A_x * X \quad (\text{modo Y-X})$$

Por isso, todas as medições efetuadas com o osciloscópio devem mencionar o valor das amplitudes em cm, a escala de amplificação usada, e a incerteza da medida (normalmente  $\pm 1$  mm). Por exemplo:

$$V_{pp} = (3.20 \pm 0.1 \text{ cm}) \times 0.5 \text{ V/cm} = 1.60 \pm 0.05 \text{ V}$$

$$V_o = V_{pp}/2 = 0.80 \pm 0.03 \text{ V} = 8.0 \times 10^{-1} \pm 0.03 \text{ V}$$

Como quase todas as grandezas físicas são medidas através de um sinal elétrico, o osciloscópio é utilizado em qualquer tipo de laboratório e em situações tão diversas como o diagnóstico médico, mecânica de automóveis, prospeção mineira, etc. Sendo, em geral, um aparelho de controlo e observação. Uma escolha justa das escalas permite medidas com uma precisão relativa de 2 a 5%.

### *Medição de tensões alternas periódicas*

O osciloscópio permite o estudo das principais características de ddp variáveis no tempo produzidas por geradores de sinais. Uma ddp que varia no tempo de modo periódico é caracterizada por parâmetros como

$V(t)$	Valor da ddp em cada instante
$V_o$	Amplitude (valor máximo)
$T$	Período
$f = 1/T$	Frequência
$\omega = 2\pi f$	Frequência angular
$\phi$	Fase inicial
$V_{pp} = 2V_o$	Amplitude de pico a pico
$V_{ef} = \left[ \frac{1}{T} \int_0^T V^2(t) dt \right]^{1/2}$	Valor eficaz ou RMS ( <b>Root Mean Square</b> ). É o equivalente contínuo da ddp alternada que provocaria a mesma dissipação de energia numa resistência.

Entre muitos sinais possíveis, os mais usuais em grande número de aplicações são os sinais

sinusoidais  $V(t) = V_0 \sin(\omega t + \phi)$ , em que a ddp eficaz é dada por  $V_{ef} = V_0 / \sqrt{2} = 0.707 \cdot V_0$ .

Para caracterizar uma ddp alternada é necessário medir a sua amplitude (valor máxima)  $V_0$  e período  $T$ . Com tensões sinusoidais, sem componente contínua, o mais cómodo é medir a tensão pico a pico  $V_{pp}=2V_0$ . Para diminuir o erro relativo de leitura, o ganho do amplificador vertical deve ser o máximo permitido pelo nível do sinal.

Para medir o período  $T$  de um sinal periódico, deve-se ajustar o OSC de forma a visualizar no ecrã uma figura estável com um pequeno número de ciclos completos. Para minimizar o erro de leitura relativo, deve-se medir no ecrã o tempo correspondente a todos os períodos representados. Com um ecrã de 10 cm de largura e um erro de leitura de 1 mm, a precisão máxima que se pode obter é de 1%, ou seja, dois algarismos significativos. A figura 1 ilustra as operações descritas para a caracterização de um sinal sinusoidal.

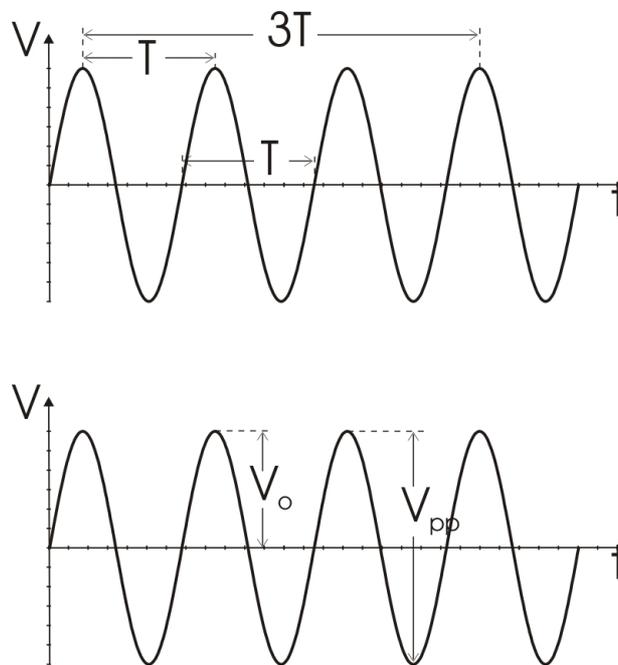


Figura 1: Ilustração das operações de medida descritas para a caracterização de um sinal sinusoidal.

**NOTA:** para maximizar a precisão de leitura, o OSC deve ser ajustado para que a distância lida no ecrã seja sempre a maior possível, quer na horizontal, quer na vertical.

## 5. Leitura Complementar

O Osciloscópio (Apêndice 1, *Física Experimental - Uma Introdução*, de Abreu et al., 1994).

O Multímetros (Apêndice 2, *Física Experimental - Uma Introdução*, de Abreu et al., 1994).

Sistema Internacional (SI) de Unidade: ver regras de escrita, [Decreto-Lei nº 128/2010, DL que regula o sistema de unidades de medida legais em vigor em Portugal](#).

Ver também <https://sites.google.com/site/josefigueiredoffcul/ensino/SI>: [Desdobrável elaborado pelo IPQ sobre o SI \(para impressão\)](#).

# 1º Trabalho Prático: O OSCILOSCÓPIO E O MULTÍMETRO DIGITAL

## 1. EQUIPAMENTO NECESSÁRIO

- Osciloscópio
- Multímetro digital
- Fonte de tensão e gerador de sinais periódicos
- Circuito com lâmpada, interruptor, resistência
- Cabos com garras

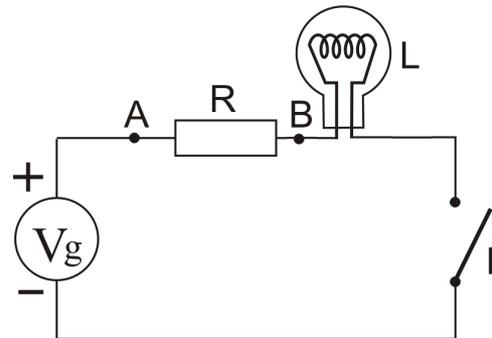
## 2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Notas:

- 1) Todos os valores medidos devem ser registados com o erro de leitura.
- 2) As tarefas indicadas com (\*) destinam-se a ser realizadas apenas na fase de análise de dados, posterior ao cumprimento de todas as tarefas de medição exigidas.
- 3) Inclua sempre as unidades de cada valor medido ou calculado.

### 2.1 Montagem de um circuito simples e medições com multímetro digital

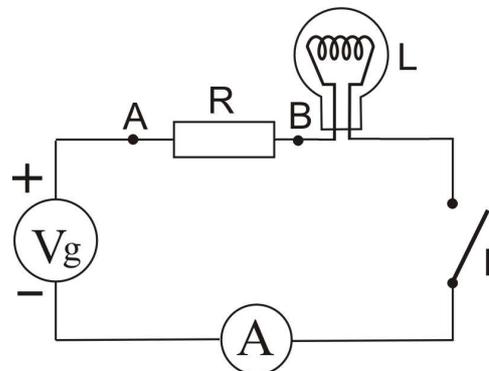
Usando o equipamento à sua disposição, construa o circuito elétrico indicado na figura com a lâmpada L, a resistência R, a fonte de tensão  $V_g$  e o interruptor I. Mantenha o interruptor aberto. Verifique que o circuito funciona fechando o interruptor apenas por alguns segundos. A resistência permite efetuar a verificação da lei de Ohm e serve também de proteção para impedir que a lâmpada seja atravessada por uma corrente elétrica excessiva.



a) Com o circuito aberto, determine o valor da resistência R, usando o multímetro digital no modo ohmímetro. Indique o valor da resistência, da incerteza na sua medida e a escala que usou.

b) Para medir a diferença de potencial (ddp) aos terminais da resistência R use agora o multímetro no modo de voltímetro. Coloque as pontas de prova nos pontos A e B do circuito. E escolha a escala inicial que lhe pareça mais apropriada.

Feche o circuito e meça a ddp na escala mais adequada, indicando a incerteza na sua medida e a escala que usou.



c) Para medir a intensidade de corrente que atravessa o circuito deve introduzir no circuito o multímetro, no modo de amperímetro, tal como se indica na figura ao lado.

Feche o circuito e meça a intensidade de corrente na escala mais adequada, indicando a incerteza na sua medida e a escala que usou.

d) Altere a ddp do gerador de tensão. Repita as medições efetuadas nas alíneas b) e c). Repita este processo para pelo menos 5 valores de ddp's diferentes (não ultrapasse os 10 V). Organize os seus dados numa tabela.

### **(\*).2.2 Verificação da lei de Ohm**

a) Usando os valores da intensidade de corrente e diferença de potencial obtidos anteriormente faça um gráfico e aplique o Método dos Mínimos Quadrados para verificar a lei de Ohm. Indique qual o valor da resistência obtido desta forma e a incerteza que lhe está associada.

b) Compare o valor obtido com o valor medido no ponto 2.1a). Discuta os resultados obtidos.

### **2.3 Medição de uma ddp sinusoidal**

Use o gerador de sinais para obter um sinal sinusoidal com uma frequência próxima de 1 kHz. Com o OSC proceda aos ajustes necessários de forma a obter no ecrã uma representação estável do sinal sinusoidal.

Meça a amplitude e o período da tensão sinusoidal. Assegure-se antes do ajuste do nível 0 V. Indique as escalas de amplificação vertical e da base de tempo que escolheu.

(\*). Exprima as medidas anteriores em termos do seu erro relativo.

(\*). Calcule a frequência do sinal escolhido.

### **2.4 Características dos sinais de ddp variáveis no tempo**

Regule o gerador de sinais para uma frequência próxima de 20 kHz.

a) Observe no OSC sinais sinusoidais e quadrados. Para cada sinal deve medir a amplitude pico-pico, amplitude máxima, período e calcular a sua frequência.

b) Para cada sinal meça a amplitude com o multímetro digital em modo ACV.

(\*). Compare as medidas de amplitude obtidas por ambos os instrumentos, multímetro e osciloscópio. Discuta as diferenças observadas.

(\*). Discuta os valores obtidos estabelecendo as relações matemáticas entre as ddp medidas com os dois aparelhos.

## **3. PROBLEMAS**

a) Considere a situação em que a base de tempo do OSC se encontra na escala de 0.5 ms/cm. Faça um gráfico da figura que observaria no OSC quando no canal I estiver aplicada a tensão sinusoidal  $V_1(t)=2.0\sin(6283t)$  V, ao mesmo tempo que no canal II se aplica a tensão  $V_2(t)=2.0\cos(6283t)$  V.

**b)** No canal I do OSC aplica-se um ddp sinusoidal  $v_1(t)=2.0\sin(3141t)$  V e no canal II uma ddp também sinusoidal  $v_2(t)=3.0\sin(3141t+\phi)$  V. Utiliza-se a escala vertical de 1 V/cm em ambas as entradas e a escala horizontal vale 0.5 ms/cm. A ddp  $v_1(t)$  é aplicada no instante  $t=t_0$  e nesse instante  $v_1(t)$  é crescente e tem o valor de 0 V. Faça um gráfico da figura que se veria no ecrã do OSC quando a diferença de fase  $\phi$ , entre os dois sinais tomar o valor de  $45^\circ$ .

**c)** Diga o que sucederia se a escala horizontal fosse de 5 ms/cm. Explique a necessidade de seleccionar as escalas de acordo com o sinal em observação.