

Prova Experimental

Quinta-feira, 7 de Julho de 2005

Ler o texto completamente antes de iniciar a montagem da experiência!

Por favor, ler estas instruções antes de iniciar a prova:

1. O tempo disponível para a prova experimental é de 5 horas.
2. Utilizar apenas o lado da frente das folhas.
3. Iniciar a resposta a cada tarefa numa folha separada.
4. Para cada questão, além das *folhas de papel em branco* onde pode escrever, existe também uma *folha de respostas* onde *deve* fazer o sumário dos resultados que obteve. Os resultados numéricos devem ser escritos com o número de algarismos significativos apropriado.
5. Escrever nas folhas em branco os resultados de todas as medidas e tudo o mais que considerar relevante para a resolução da questão. Por favor, utilizar o *mínimo de texto*; deverá procurar exprimir-se sobretudo com equações, números, tabelas, figuras e gráficos.
6. Preencher as caixas no topo de cada folha de papel que utilizar, registando o país (**Country code**), o seu número de estudante (**Student code**) e o número da questão (**Question number**). Numerar cada página (**Page number**) indicando ainda o número total de folhas em branco usadas para cada questão (**Total number of pages**). Escrever o número da questão e a secção a que está a responder no topo de cada folha de papel. Se usar folhas de rascunho que não deseje que sejam corrigidas, marque-as com uma grande cruz sobre a folha e não as inclua na sua numeração.
7. No final da prova, ordenar as folhas de cada questão *pela seguinte ordem*:
 - Folha de respostas
 - Folhas utilizadas (ordenadas)
 - Folhas de rascunho inutilizadas
 - Folhas não utilizadas e enunciado da prova.

Colocar as folhas dentro do envelope e deixar tudo sobre a mesa. **Não é permitido retirar da sala quaisquer folhas de papel nem qualquer peça do equipamento.**

Antes de sair da sala, deixar todas as peças do equipamento experimental exactamente como as encontrou.

A CONSTANTE DE PLANCK À LUZ DE UMA LÂMPADA INCANDESCENTE

Em 1900 Planck introduziu a hipótese de a luz ser emitida em quanta de energia $h\nu$. Em 1905 Einstein propôs que, uma vez emitido, o quantum de energia permaneceria intacto na forma de um quantum de luz (este quantum recebeu mais tarde o nome de fóton). A luz é composta por um número enorme de fótons. Os fótons estão para a luz tal como os átomos individuais estão para a matéria; a sua existência é denunciada pela constante de Planck, h . O objectivo desta experiência é medir a constante de Planck.

Um corpo não se limita a emitir radiação, também a absorve do exterior. Um corpo que pode absorver toda a radiação nele incidente, independentemente do seu comprimento de onda, designa-se por corpo negro. Um corpo negro é um emissor perfeito. Do ponto de vista da radiação electromagnética, um corpo negro absorve tudo, reflecte nada e emite tudo. Os corpos reais não são completamente negros: a razão entre a energia emitida por um corpo e aquela que seria emitida por um corpo negro à mesma temperatura designa-se por emissividade, ε . Esta depende, normalmente, do comprimento de onda da radiação emitida.

Planck verificou que a densidade de potência radiada por um corpo à temperatura absoluta T sob a forma de radiação electromagnética de comprimento de onda λ pode ser escrita na forma

$$u_{\lambda} = \varepsilon \frac{c_1}{\lambda^5 (e^{c_2/\lambda T} - 1)} \quad (1)$$

onde c_1 e c_2 são constantes. Nesta questão irá determinar c_2 experimentalmente. Esta constante é proporcional a h .

Para pequenos comprimentos de onda, bem à esquerda do máximo da Figura F-1, é permitido omitir o “-1” no denominador da Eq. (1), que se reduz então a

$$u_{\lambda} = \varepsilon \frac{c_1}{\lambda^5 e^{c_2/\lambda T}} \quad (2)$$

Os elementos básicos desta questão experimental estão esquematizados na Figura F-2.

- O corpo emissor é o filamento de tungsténio de uma lâmpada incandescente A que emite um largo espectro de comprimentos de onda λ , e cuja luminosidade pode variar.
- O tubo de ensaio B contém um filtro líquido que transmite apenas uma banda estreita do espectro visível em torno do valor λ_0 (ver Figura F-3). Informação adicional sobre as propriedades do filtro será dada na página 5.
- Finalmente, a radiação transmitida incide numa foto-resistência C (também conhecida por LDR, “Light-Dependent Resistor”). Algumas propriedades do LDR serão descritas na página 6.

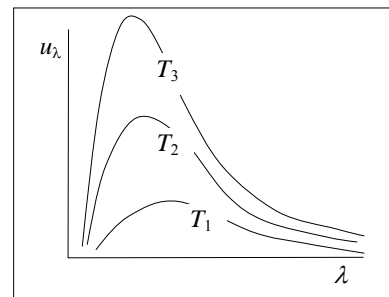
A resistência R do LDR depende da sua iluminação E , que é proporcional à densidade de potência radiada pelo filamento

$$\left. \begin{array}{l} E \propto u_{\lambda_0} \\ R \propto E^{-\gamma} \end{array} \right\} \Rightarrow R \propto u_{\lambda_0}^{-\gamma}$$

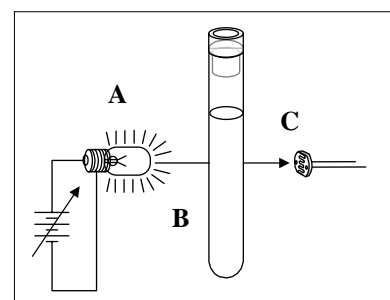
onde o parâmetro adimensional γ é uma propriedade do LDR que será determinada durante a experiência. Então a relação entre a resistência R do LDR e a temperatura do filamento T é

$$R = c_3 e^{c_2 \gamma / \lambda_0 T} \quad (3)$$

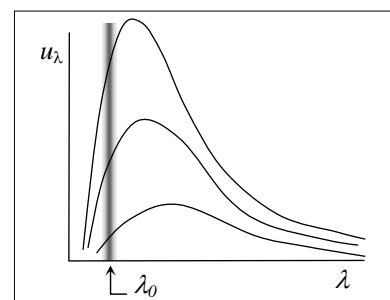
Esta expressão será usada na página 6. Nesta relação c_3 é uma constante de proporcionalidade desconhecida. Medindo R em função de T é possível obter c_2 , que é o objectivo desta experiência.



F-1



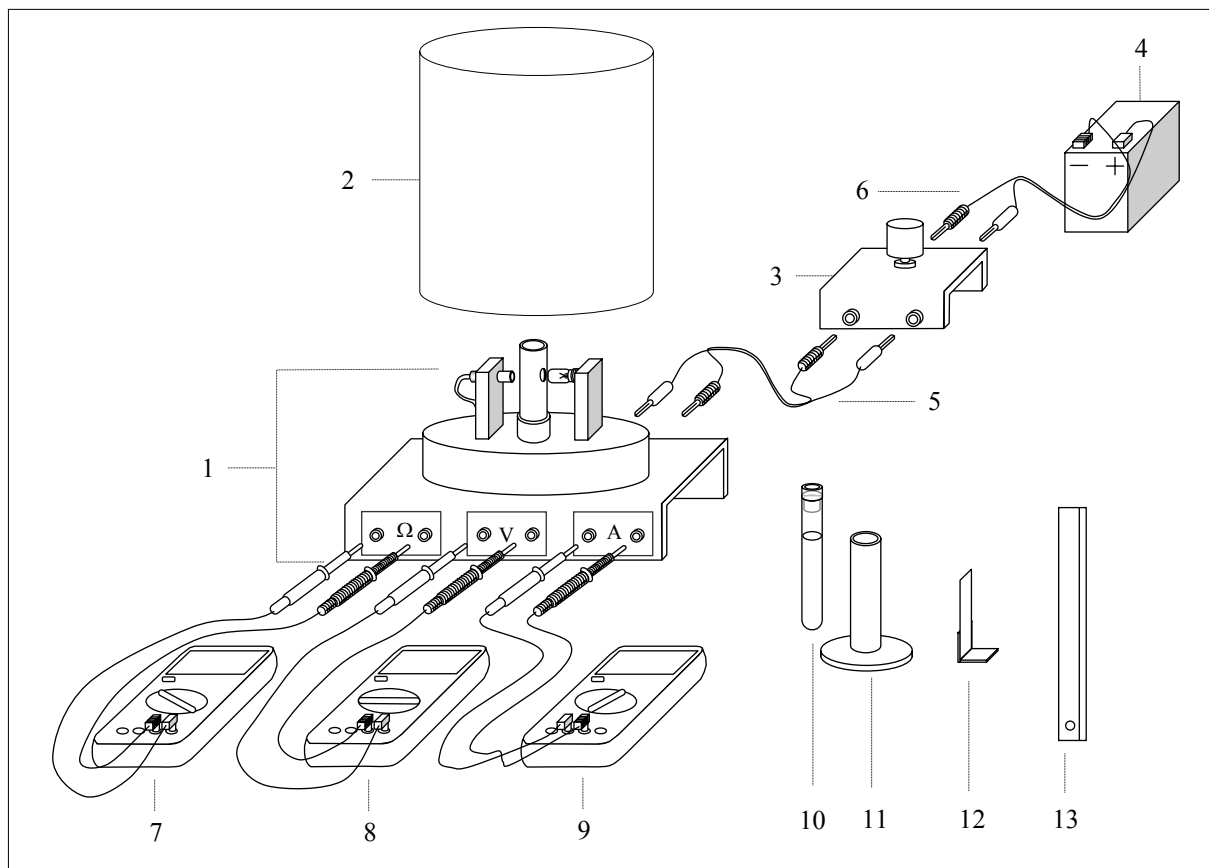
F-2



F-3

DESCRIÇÃO DA MONTAGEM EXPERIMENTAL

A montagem experimental está esquematizada na Figura F-4. Este esquema também inclui algumas indicações para a ligação dos vários componentes. Verifique que todos os componentes estão disponíveis, mas não faça qualquer ligação até ler as instruções na próxima página.



F-4

EQUIPAMENTO:

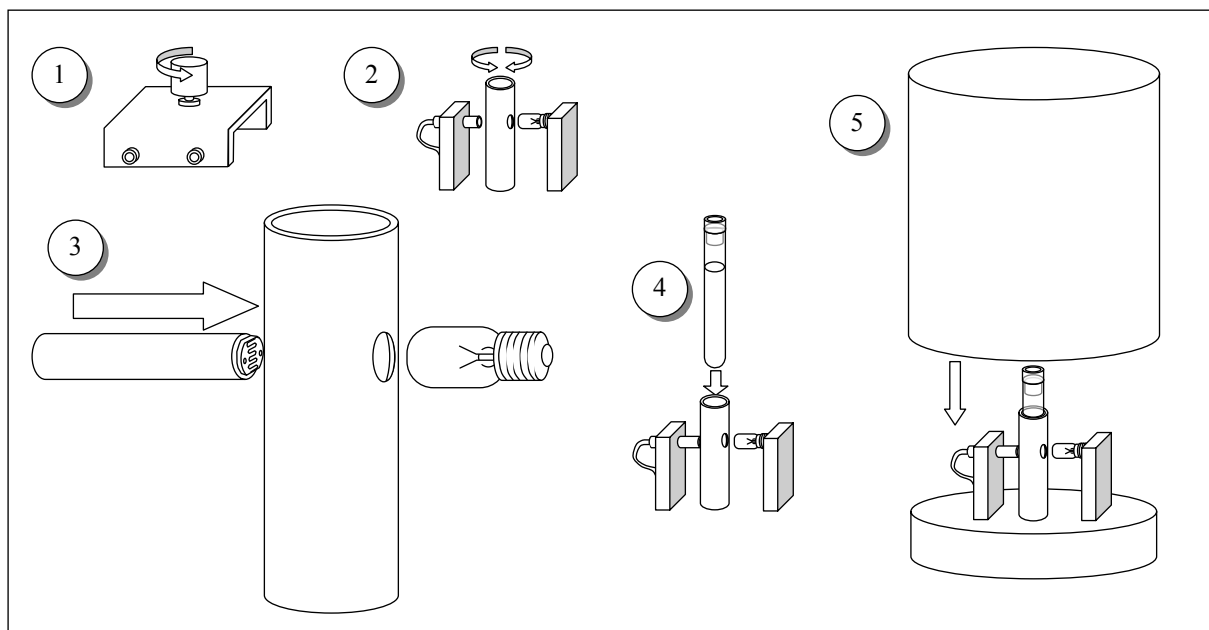
1. Plataforma. Contém um disco no topo onde existe um suporte para o LDR, um suporte para o tubo de ensaio e um suporte para a lâmpada eléctrica de 12 V, 0,1 A.
2. Tampa protectora.
3. Potenciômetro de 10 voltas e 1 k Ω .
4. Bateria de 12 V.
5. Fios preto e vermelho com fichas banana nas pontas para ligar a plataforma ao potenciômetro.
6. Fios preto e vermelho com fichas banana numa ponta e conectores para a bateria na outra ponta.
7. Multímetro que irá funcionar como ohmímetro.
8. Multímetro que irá funcionar como voltímetro.
9. Multímetro que irá funcionar como amperímetro.
10. Tubo de ensaio com filtro líquido.
11. Suporte para o tubo de ensaio.
12. Filtro cinzento.
13. Régua.

Um conjunto abreviado de instruções para o uso dos multímetros é fornecido num anexo, em conjunto com alguma informação sobre o método dos mínimos desvios quadrados.

MONTAGEM DO EQUIPAMENTO

Seguir as seguintes instruções:

- Efectuar cuidadosamente as ligações eléctricas indicadas na Figura F-4, mas não ligar os fios 6 ao potenciómetro.
- Tendo em atenção a Figura F-5, seguir os passos abaixo:



F-5

1. Rodar o potenciómetro no sentido anti-horário até atingir o fim.
2. Rodar lentamente o suporte para o tubo de ensaio de modo a que um dos furos laterais fique em frente à lâmpada e o outro em frente ao LDR.
3. Encostar ao de leve o LDR ao furo do suporte para o tubo de ensaio. É aconselhado orientar a superfície do LDR como está indicado na Figura F-5.
4. Inserir o tubo de ensaio no seu suporte.
5. Colocar a tampa na plataforma para a proteger da luz ambiente. Antes de tirar quaisquer medidas da sua resistência, o LDR deve permanecer em escuridão total durante pelo menos 10 minutos, visto que as variações de resistência do LDR são lentas e a sua resistência não atinge imediatamente o valor nominal na escuridão.

Tarefa 1

Desenhar na Folha de Respostas 1 os circuitos eléctricos do interior das caixas e entre as caixas quando todos os fios do circuito estão devidamente ligados. Por favor, ao fazer os desenhos, ter em atenção as indicações dadas na Fig. F-4.

Medição da temperatura do filamento

A resistência eléctrica R_B de um filamento condutor é dada pela relação

$$R_B = \rho \frac{l}{S} \quad (4)$$

onde ρ é a resistividade do condutor, l é o comprimento e S a área da secção do filamento.

A resistência depende da temperatura devido a vários factores:

- A resistência de um metal aumenta com a temperatura. Para o tungsténio, e no intervalo de temperatura entre 300 K e 3655 K, a relação entre a temperatura e resistividade é dada, no SI, pela seguinte expressão empírica:

$$T = 3,05 \times 10^8 \rho^{0,83} \quad (5)$$

- A dilatação térmica modifica o comprimento do filamento e a sua secção. Contudo, os efeitos na resistência do filamento são desprezáveis nesta experiência.

De (4) e (5), e desprezando os efeitos de dilatação, obtemos

$$T = a R_B^{0,83} \quad (6)$$

- Desta forma, para obter T é necessário determinar a . Para tal, podemos medir a resistência do filamento $R_{B,0}$ à temperatura ambiente T_0 .

Tarefa 2

- Medir a temperatura ambiente T_0 com o multímetro.
- Não é uma boa ideia usar o ohmímetro para medir a resistência do filamento $R_{B,0}$ à temperatura T_0 porque durante a medida circula no filamento uma pequena corrente de valor desconhecido, o que aumenta a sua temperatura. Para determinar $R_{B,0}$ ligar a a bateria ao potenciómetro e fazer um número suficiente de medições da intensidade de corrente para diferentes tensões desde os valores mais baixos que conseguir obter até 1 V (é importante medir pelo menos 15 valores distintos abaixo de 100 mV). No final, deixar o potenciómetro na posição inicial e desligar um dos cabos que ligam a bateria ao potenciómetro.

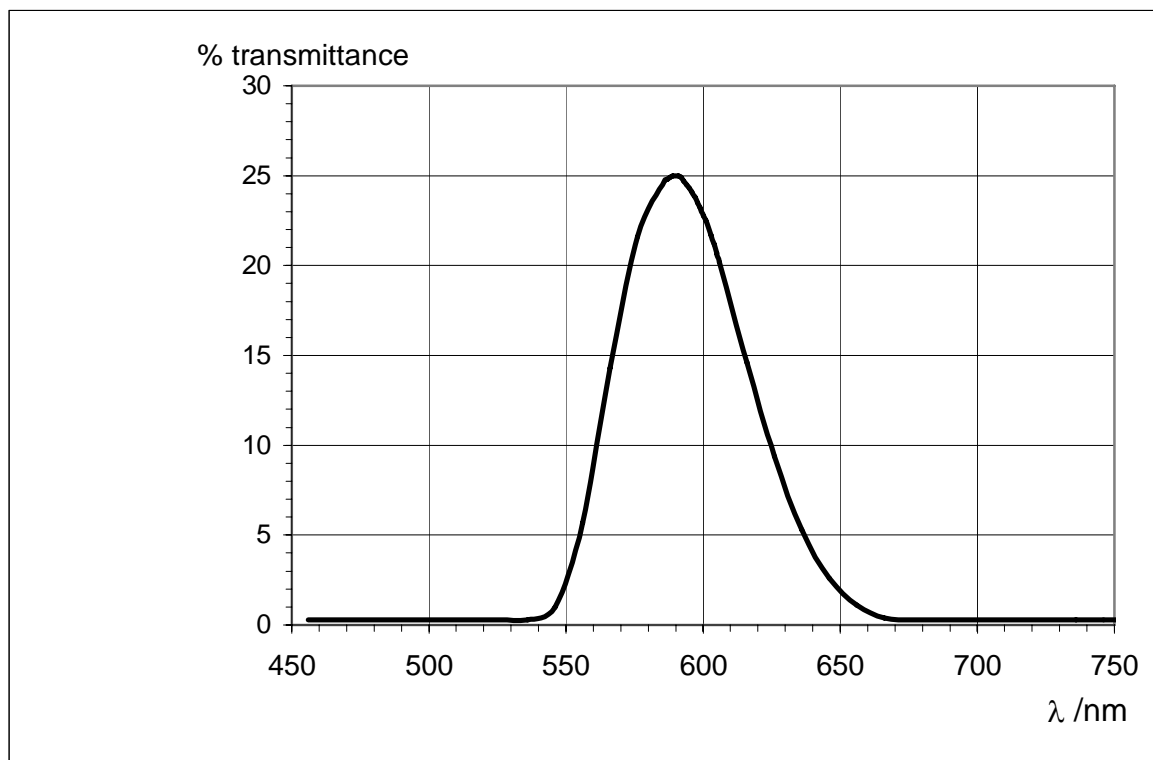
Determinar R_B para cada par de valores de V e I e copiar estes valores para a Tabela 2.b) da Folha de Respostas. Indicar na tabela a tensão mais baixa que conseguiu usar. Representar num gráfico R_B , em ordenada, em função de I .

- Após inspecção dos gráficos obtidos na alínea anterior, seleccionar uma gama de valores apropriada para fazer um ajuste linear aos dados que permita uma extrapolação para a ordenada na origem, $R_{B,0}$. Escrever na Tabela para a Tarefa 2.c) na Folha de Respostas os valores escolhidos. Finalmente obter $R_{B,0}$ e a sua incerteza $\Delta R_{B,0}$.
- Calcular os valores numéricos de a e Δa usando a equação (6) e exprimindo $R_{B,0}$ em Ω e T_0 em K.

PROPRIEDADES ÓPTICAS DO FILTRO

O líquido que actua como filtro no tubo de ensaio é uma solução aquosa de sulfato de cobre (II) e corante de anilina laranja. A finalidade do sulfato de cobre é absorver a radiação infravermelha emitida pelo filamento.

A transmitância do filtro (razão entre a intensidade transmitida e a intensidade incidente) em função do comprimento de onda está indicada na figura F-6.



F-6

Tarefa 3

Determinar λ_0 e $\Delta\lambda$ usando a figura F-6.

Ter em atenção que $2\Delta\lambda$ é a largura total da curva medida a meia altura e λ_0 o comprimento de onda do máximo.

PROPRIEDADES DO LDR

O material de que é feito o LDR não conduz a electricidade no escuro. Quando iluminado, são activados alguns portadores de carga que transportam alguma corrente. Isto resulta na seguinte relação para a resistência do LDR

$$R = bE^{-\gamma} \quad (7)$$

onde b é uma constante que depende do material e forma do LDR e γ é um parâmetro adimensional que mede a variação da resistência com a iluminação E . Em teoria, um LDR teria $\gamma = 1$, mas, devido a vários factores, na prática $\gamma < 1$.

É necessário determinar γ . Para o efeito, basta medir um par de valores de R e E (Fig. F-7) e, de seguida, introduzir entre a lâmpada e o tubo de ensaio o filtro cinzento F , que tem uma transmissão conhecida de 51,2%, valor que se considera exacto. Nesta situação a iluminação é $E' = 0,512E$. Depois de medir a resistência R' correspondente a esta situação, temos

$$R = bE^{-\gamma} \quad ; \quad R' = b(0,512E)^{-\gamma}$$

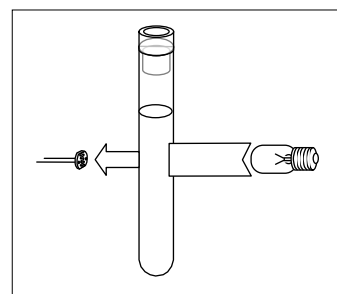
Destas relações,

$$\ln \frac{R}{R'} = \gamma \ln 0,512 \quad (8)$$

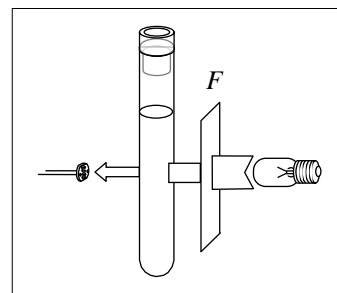
Não efectuar este procedimento antes de chegar à parte b) da tarefa 4 descrita abaixo.

Tarefa 4

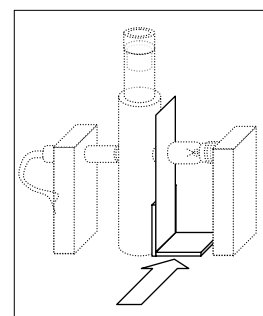
- Verificar que o LDR se manteve em perfeita escuridão pelo menos 10 minutos antes de iniciar esta parte. Ligar a bateria ao potenciômetro e, rodando o botão muito devagar, aumentar a tensão aos terminais da lâmpada. Ler pares de valores V e I para V no intervalo entre 9,50 e 11,50 V, e determinar os correspondentes valores da resistência R do LDR (é útil medir pelo menos 12 pares de valores). Copiar estes valores para a tabela da Folha de Respostas. Para ter em conta o atraso no tempo de resposta do LDR, recomenda-se o seguinte procedimento: após atingir uma tensão $V > 9,5\text{ V}$, esperar aproximadamente 10 minutos antes de fazer a primeira medição. Esperar então 5 min entre cada uma das medidas seguintes. Antes de efectuar quaisquer cálculos, avance para o próximo passo.
- Após a obtenção do menor valor da resistência R , tirar a tampa protectora e, muito rapidamente, colocar o filtro cinzento como indicado na Figura F-9 e recolocar a tampa. Registar o novo valor da resistência R' . Utilizando estes resultados em (8) determinar γ e $\Delta\gamma$.
- Modificar a Eq. (3) de modo a que $\ln R$ dependa linearmente de $R_B^{-0,83}$. Escrever a equação na Folha de Respostas 4 e numerá-la como Eq. (9).
- Usando de novo os dados da alínea a), conceber uma tabela que permita depois fazer o gráfico da Eq. (9).
- Fazer o gráfico referido na alínea anterior e, sabendo que $c_2 = hc/k$, determinar h e Δh pelo método que achar mais apropriado. (Pode recorrer às funções estatísticas da calculadora fornecida pela organização.)



F-7



F-8



F-9

(Velocidade da luz no vácuo, $c = 2,998 \times 10^8 \text{ m/s}$; constante de Boltzmann, $k = 1,381 \times 10^{-23} \text{ J/K}$)

MANUAL DO MULTÍMETRO DIGITAL (versão abreviada)

MEDIDAS DE TENSÃO CONTÍNUA (DC)

Ligar o fio preto (-) à entrada **COM** e o fio vermelho (+) à entrada **V / Ω** do multímetro. Rodar o botão FUNCTION para a escala de V apropriada e ligar as pontas de prova à carga que está a ser medida.

MEDIDAS DE CORRENTE CONTÍNUA (DC)

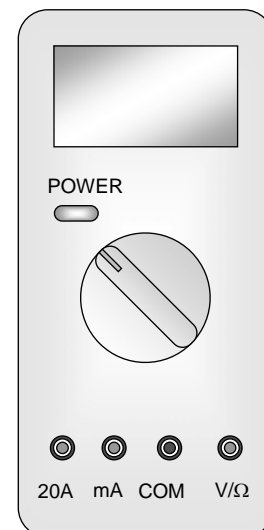
Ligar o fio preto à entrada **COM** e o fio vermelho à entrada **mA** do multímetro. Rodar o botão FUNCTION para a escala de A apropriada e ligar as pontas de prova EM SÉRIE com a carga que está a ser medida. Para correntes superiores a 200 mA, ligar o fio vermelho à entrada **20 A** do multímetro e proceder do modo descrito atrás.

MEDIDAS DE RESISTÊNCIA

Ligar o fio preto à entrada **COM** e o fio vermelho à entrada **V / Ω** do multímetro. Rodar o botão FUNCTION para a escala de Ω apropriada.

MEDIDAS DE TEMPERATURA

Rodar o botão FUNCTION para **K TEMP °C**. O uso do sensor de temperatura externo (termopar) não é necessário.



RESOLUÇÃO DO MULTÍMETRO

Considerar sempre que a resolução é dada pelo dígito mais pequeno do valor indicado no mostrador na escala escolhida.

INCERTEZAS DE MEDIÇÕES INDIRECTAS

Designemos por x e y os valores de duas variáveis independentes medidas com incertezas Δx e Δy . Seja a um parâmetro externo arbitrário, constante, e z a variável dependente cujo valor precisa de ser determinado. A incerteza Δz no valor de z pode ser obtida usando métodos estatísticos que resultam nas expressões seguintes:

DEPENDÊNCIA	INCERTEZA	DEPENDÊNCIA	INCERTEZA
$z = xy$ e $z = \frac{x}{y}$	$\left \frac{\Delta z}{z} \right = \sqrt{\left(\frac{\Delta x}{x} \right)^2 + \left(\frac{\Delta y}{y} \right)^2}$ ou $\left \frac{\Delta z}{z} \right = \left(\left \frac{\Delta x}{x} \right + \left \frac{\Delta y}{y} \right \right)$	$z = xy^a$	$\left \frac{\Delta z}{z} \right = \sqrt{\left(\frac{\Delta x}{x} \right)^2 + \left(a \frac{\Delta y}{y} \right)^2}$ ou $\left \frac{\Delta z}{z} \right = \left(\left \frac{\Delta x}{x} \right + a \left \frac{\Delta y}{y} \right \right)$
$z = x^a$	$\left \frac{\Delta z}{z} \right = \left a \frac{\Delta x}{x} \right $	$z = \ln x$	$\left \frac{\Delta z}{z} \right = \left \frac{\Delta x}{x} \right $

AJUSTE DE UMA RECTA USANDO O MÉTODO DOS MÍNIMOS DESVIOS QUADRADOS

Seja $y = mx + b$ a curva de regressão a obter por este método. Então:

$m = \frac{\sum x \sum y - n \sum xy}{(\sum x)^2 - n \sum x^2}$	$b = \frac{\sum x \sum xy - \sum y \sum x^2}{(\sum x)^2 - n \sum x^2}$
$\Delta m = \sqrt{\frac{n \sigma^2}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}}$	$\Delta b = \sqrt{\frac{\sigma^2 \sum x^2}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}}$

σ pode ser calculado através de $\sigma = \sqrt{\sigma_y^2 + m^2 \sigma_x^2}$. Para o efeito considere que $\sigma_x = \frac{\sum \Delta x}{n}$ e $\sigma_y = \frac{\sum \Delta y}{n}$ onde Δx e Δy são as incertezas individuais de n pares de medidas individuais.

COUNTRY NUMBER	COUNTRY CODE	STUDENT NUMBER	PAGE NUMBER	TOTAL No OF PAGES

Folha de Respostas 1

TAREFA 1 (2,0 pontos)

Desenhar no esquema as ligações eléctricas dentro das caixas e entre elas.

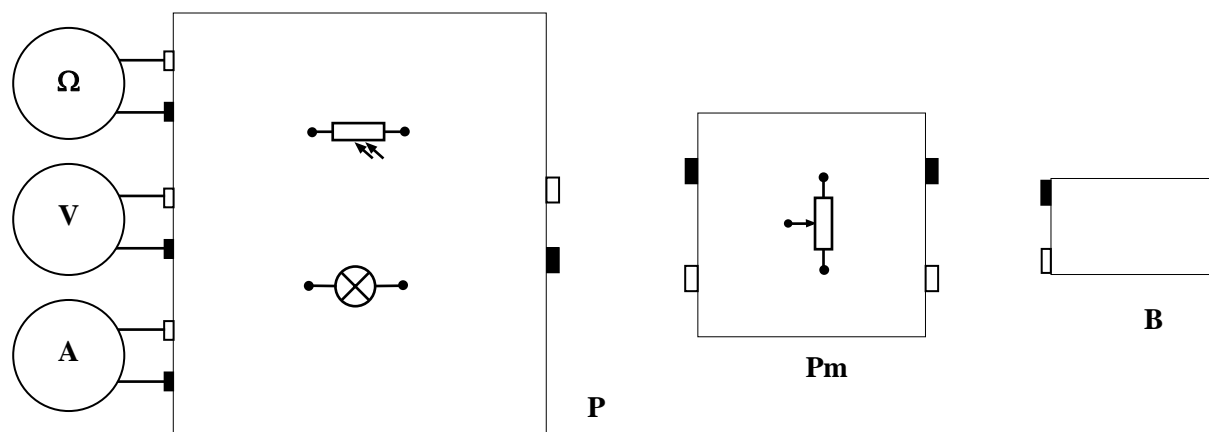


Foto-resistência	
Lâmpada incandescente	
Potenciômetro	
Ficha vermelha	
Ficha preta	

Ω	Ohmímetro
V	Voltímetro
A	Amperímetro
P	Plataforma
Pm	Potenciômetro
B	Bateria

COUNTRY NUMBER	COUNTRY CODE	STUDENT NUMBER	PAGE NUMBER	TOTAL No OF PAGES

Folha de Respostas 2

TAREFA 2

a) (1,0 pontos)

$t_0 =$ °C	$T_0 =$	$\Delta T_0 =$
------------	---------	----------------

b) (2,0 pontos)

V	I	R_B

$V_{min} =$
*

* Esta é uma característica do aparelho. Não poderá descer abaixo deste valor.

COUNTRY NUMBER	COUNTRY CODE	STUDENT NUMBER	PAGE NUMBER	TOTAL No OF PAGES

Folha de Respostas 3

TAREFA 2

c) (2,5 pontos)

V	I	R_B

$R_{B0} =$	$\Delta R_{B0} =$
------------	-------------------

d) (1,0 pontos)

$a =$	$\Delta a =$
-------	--------------

TAREFA 3 (1,0 pontos)

$\lambda_0 =$	$\Delta \lambda =$
---------------	--------------------

COUNTRY NUMBER	COUNTRY CODE	STUDENT NUMBER	PAGE NUMBER	TOTAL No OF PAGES

Folha de Respostas 4

TAREFA 4

a) (2,0 pontos)

V	I	R

b) (1,5 pontos)

$R =$	$\gamma =$
$R' =$	$\Delta\gamma =$

c) (1,0 pontos)

Eq. (9)

COUNTRY NUMBER	COUNTRY CODE	STUDENT NUMBER	PAGE NUMBER	TOTAL No OF PAGES

Folha de Respostas 5

TAREFA 4

d) (3,0 pontos)

V	I		R	

e) (3,0 pontos)

$h =$	$\Delta h =$
-------	--------------