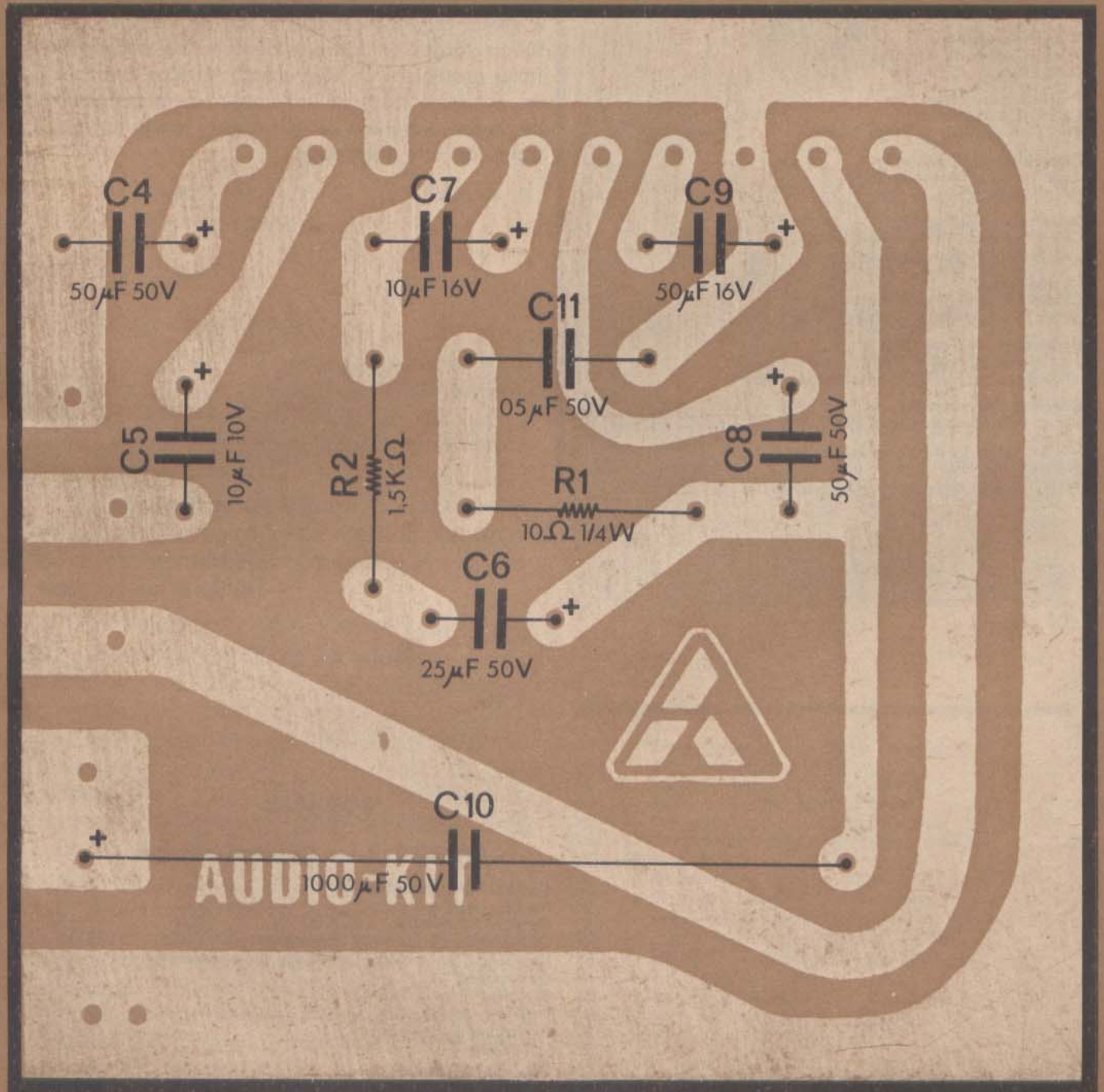


Circuitos elétricos



MEC/FENAME/PREMEN

PEF — PROJETO DE ENSINO DE FÍSICA, constituído de quatro conjuntos destinados ao Ensino de 2.º Grau, foi planejado e elaborado pela equipe técnica do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP), mediante convênios com a FENAME e o PREMEN.

Coordenação

Ernst Wolfgang Hamburger
Giorgio Moscati

Mecânica

Antonia Rodrigues
Antonio Geraldo Violin
Diomar da Rocha Santos Bittencourt
Hideya Nakano
Luiz Muryilo Mantovani
Paulo Alves Lima
Plínio Ugo Meneghini dos Santos

Eleticidade

Eliseu Gabriel de Pieri
José de Pinho Alves Filho
Judite Fernandes de Almeida

Eletromagnetismo

Jesuina Lopes de Almeida Pacca
João Evangelista Steiner

Programação Visual

Carlos Egidio Alonso
Ettore Michele di San Fili Bottini

Fotografias e Reproduções

José Augusto Machado Calil
Washington Mazzola Racy

Secretaria e Datilografia

Carlos Eduardo Franco de Siqueira
Janete Vieira Garcia Novo

Linguagem

Claudio Renato Weber Abramo
Maria Nair Moreira Rebello

Construção de Protótipos

José Ferreira
Voanerges do Espírito Santo Brites

Conjunto Experimental

Plínio Ugo Meneghini dos Santos

Colaboram o pessoal da Secretaria, Oficina Gráfica, Administração, Oficina Mecânica e Oficina Eletrônica do IFUSP.
IFUSP: Caixa Postal 20 516, São Paulo — SP

CAPA

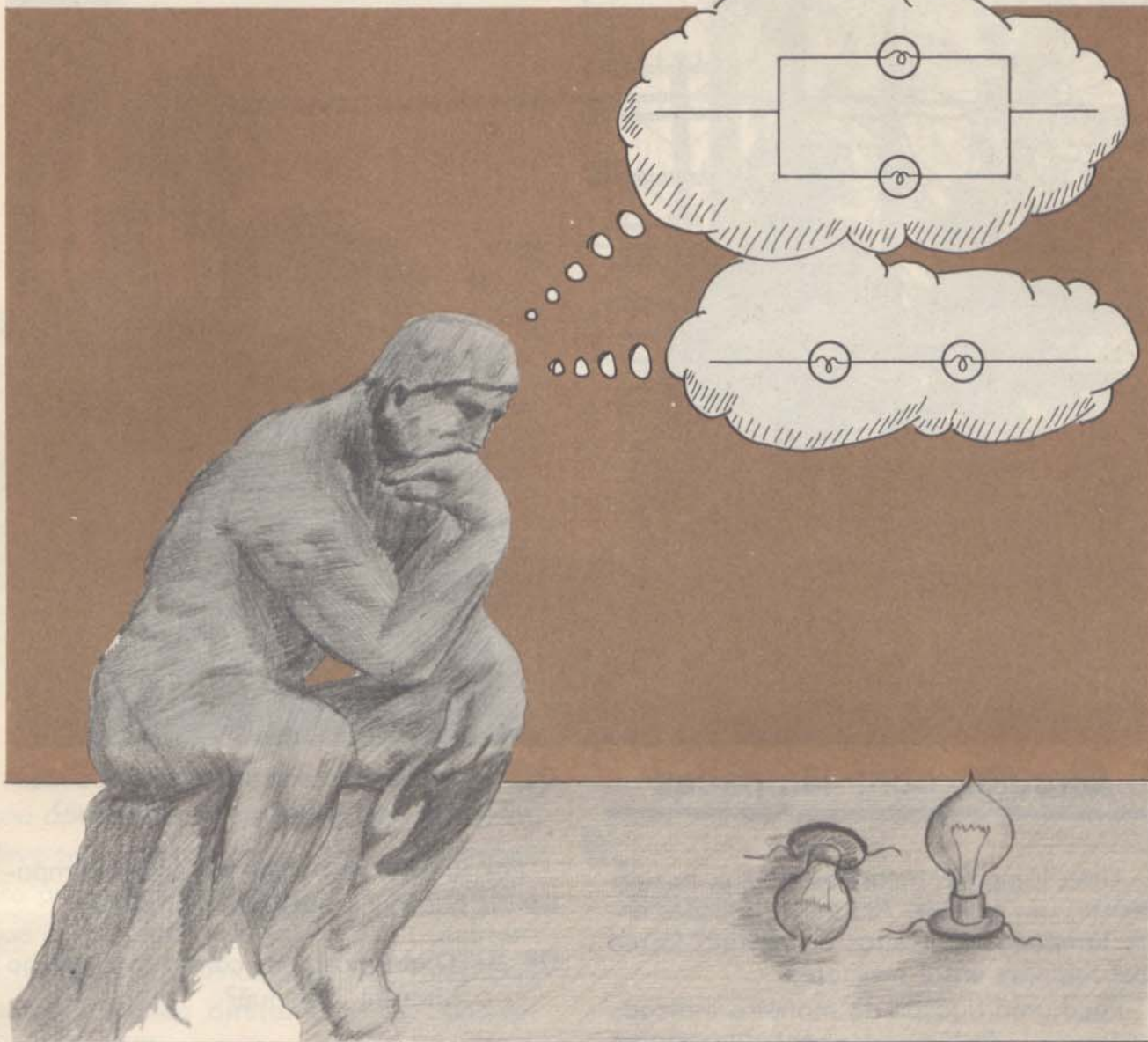
A utilização de circuitos impressos possibilitou a eletrônica reduzir os circuitos elétricos de

tal modo, que hoje em dia temos radiorreceptores do tamanho de caixas de fósforo. A obtenção de um circuito impresso é bastante simples: em placa isolante revestida de cobre desenha-se o circuito desejado, deixando indicado por linhas largas o que seriam os fios de ligação entre elementos elétricos e reveste-se com fita plástica (isolante) essas linhas. Por um processo químico bastante simples, retira-se o cobre que não ficou protegido pela fita plástica, deixando somente o isolante entre os componentes. Na figura da capa, o fundo escuro mostra a placa de isolante e as faixas largas e claras o depósito de cobre que ficou protegido. Os elementos elétricos (em preto) compõem parte de um circuito de amplificador de áudio (potência de 10 watts), usado em eletrolas de alta fidelidade.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 9 — Circuitos elétricos

1.	Circuito com lâmpadas	9—2
2.	Medida de V e i	9—4
3.	Tensões no circuito	9—6
4.	Distribuição da corrente no circuito	9—6
5.	Resistência equivalente (previsão do comportamento do circuito)	9—8
6.	Circuitos não-redutíveis	9—10
7.	Potência do circuito	9—12
8.	Exercícios de aplicação	9—12
9.	Conclusão	9—15
	Guia do Multímetro	9—17



Circuitos elétricos

Até o momento, estudamos o comportamento da tensão e da corrente em circuitos simples, isto é, circuitos com uma fonte de tensão ligada a apenas um ou dois resistores.

Em geral, os circuitos elétricos são mais complexos. Numa residência, por exemplo, são utilizados diversos aparelhos e lâmpadas que devem ser convenientemente ligados à rede elétrica.

Neste capítulo, você vai montar circuitos um pouco mais complicados do que os

já vistos. Você vai notar que a corrente, a tensão e a resistência dos resistores associados satisfazem determinadas propriedades. Estas propriedades são verificáveis em circuitos bem mais complexos, como circuitos internos de televisores, instrumentos de medida, computadores, e mesmo nos gigantescos circuitos de milhares de quilômetros das redes de distribuição de energia elétrica às cidades.



1. Circuito com lâmpadas

Uma lâmpada incandescente é, basicamente, um resistor. Assim, as ligações entre lâmpadas são feitas da mesma forma que ligações entre resistores.

Faça uma ligação da maneira indicada na figura 1. As lâmpadas utilizadas devem ter os valores que estão escritos na figura 1. Note que L_1 e L_2 são ligadas em paralelo entre si e ambas estão em série com L_3 .

Q1 — Observando o brilho, você pode dizer que as correntes que passam pelas lâmpadas L_1 e L_3 têm o mesmo valor?

Retire do soquete a lâmpada L_2 . Observe o brilho das outras duas (note que L_1 e L_3 estão ligadas em série).

Q2 — E agora, as correntes que percorrem L_1 e L_3 têm o mesmo valor?

Recoloque a lâmpada L_2 no soquete e retire a L_1 .

9-2

Q3 — A corrente que percorre L_2 é a mesma que percorre L_3 . Por quê?

Por último, retire do soquete a lâmpada L_3 ; observe e desligue o circuito.

Q4 — O que acontece com a corrente no circuito. Por quê?

Das observações feitas com essas ligações, podemos concluir que a parte ligada em paralelo se comporta como elemento independente do circuito, pois qualquer de seus componentes pode ser retirado sem interrompê-lo.

Assim, qualquer aparelho ligado a um circuito em paralelo fechará o circuito e será percorrido por corrente.

Por outro lado, na ligação em série a retirada de um elemento interrompe a corrente no circuito.

Q5 — As ligações elétricas residenciais, em geral, são feitas em série ou em paralelo com a rede de tensão de 110 V (ou de 220 V)? Explique a razão disto.

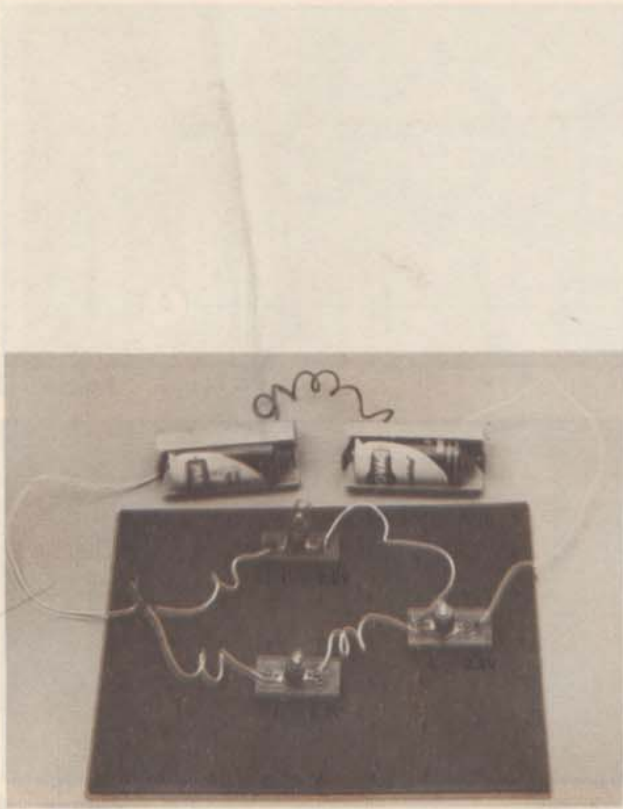


figura 1

Quando você retirou a lâmpada L_2 e ficou apenas com L_1 e L_3 ligadas em série, deve ter observado que o brilho de ambas era praticamente o mesmo. Isso significa que a corrente que passava por elas era a mesma. Se apenas uma das lâmpadas estivesse ligada diretamente às duas pilhas, seu brilho seria maior do que quando ligada em série com a outra.

Q6 — O que significa isto em relação à resistência do circuito com uma lâmpada só, e depois com duas em série?

E se somente duas lâmpadas fossem ligadas em paralelo? Faça a ligação com duas lâmpadas em paralelo ligadas a duas pilhas em série. Observe o brilho das duas e, a seguir, retire uma delas do soquete.

Q7 — O que você observou e qual sua conclusão a respeito da corrente?

RESPOSTAS

R_1 -

R_2 -

R_3 -

R_4 -

R_5 -

R_6 -

R_7 -

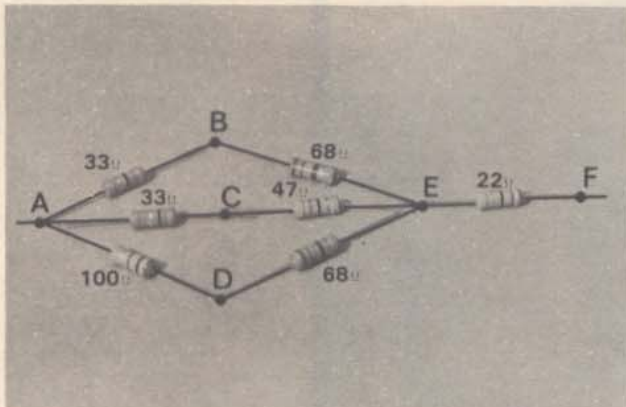


figura 2

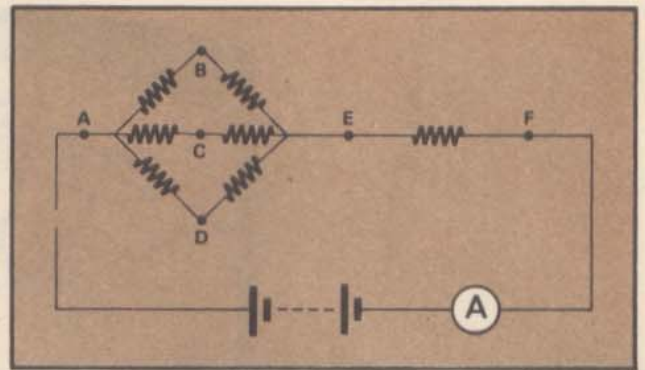


figura 3

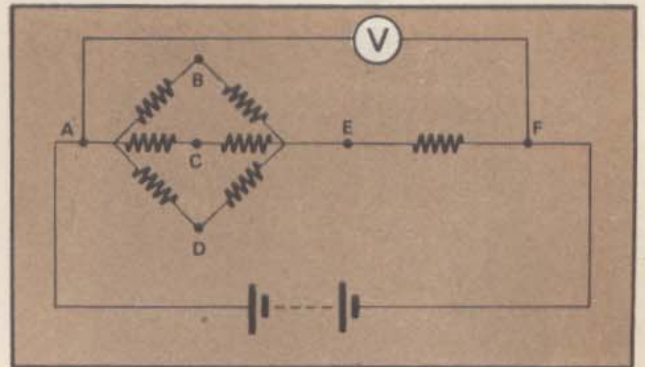


figura 4

- R1 — L_3 está mais brilhante, portanto é percorrida por corrente maior.
- R2 — Sim.
- R3 — Porque as lâmpadas estão ligadas em série.
- R4 — A retirada da lâmpada L_3 interrompeu o circuito; com isto a corrente cessou.
- R5 — Em paralelo, pois quando necessitamos ligar uma lâmpada ou um rádio ou outro aparelho qualquer, não é necessário que todos os outros estejam em funcionamento, o que aconteceria se a ligação fosse em série. Além disso, no caso da ligação em série, todos os dispositivos seriam percorridos pela mesma corrente, que certamente não seria adequada para todos. E os interruptores de luz, como são ligados? Pense nisso, discuta com seu professor ou colegas.
- R6 — A resistência aumenta.
- R7 — O brilho da lâmpada aumentou, pois aumentou a corrente que a percorre.

2. Medida de V e i

Inicialmente você vai montar um circuito com vários resistores ôhmicos e verificar se o circuito, como um todo, é ôhmico.

Selecione sete resistores, cujas resistências podem ter, por exemplo, os seguintes valores: dois de 33Ω , dois de 68Ω , um de 47Ω , um de 22Ω e um de 100Ω . Verifique, com o ohmímetro, se a resistência de cada resistor corresponde realmente ao seu valor nominal.

O arranjo que você deve fazer com os sete resistores está indicado na figura 2. Indique por letras (A, B, ...) os pontos de contato de resistores ou dos resistores e fios. Isso facilitará a indicação das medidas que serão feitas.

Será que esse arranjo se comporta como um único resistor?

Quando você for fazer as medidas de tensão e corrente, preste atenção à polaridade ao ligar os terminais do multímetro ao circuito. Ligue uma pilha em série ao circuito. O terminal positivo da sua pilha está ligado a A ou a F da figura 3?

Número de pilhas	$V_{AF}(V)$	$i_{AF}(A)$
1		
2		
3		
4		
5		

tabela 1

Meça a tensão V_{AF} (figura 3) e depois a corrente i_{AF} (figura 4) entre os pontos A e F. Registre os resultados na tabela 1. Faça outras medidas de tensão e corrente para duas, três, quatro e cinco pilhas ligadas em série, anotando os resultados na tabela 1.

Com esses dados, construa na figura 5 o gráfico $V_{AF} \times i_{AF}$.

Q8 — Que tipo de curva você obteve?

Q9 — De acordo com o que você conhece de resistor linear, o arranjo utilizado na sua experiência se comporta como se fosse um único resistor linear?

Quando um conjunto de resistores se comporta como um único resistor linear, o conjunto obedece à Lei de Ohm; nesse caso:

$$\frac{V_{AF}}{i_{AF}} = R_{AF}$$

onde R_{AF} = resistência equivalente do circuito entre A e F.

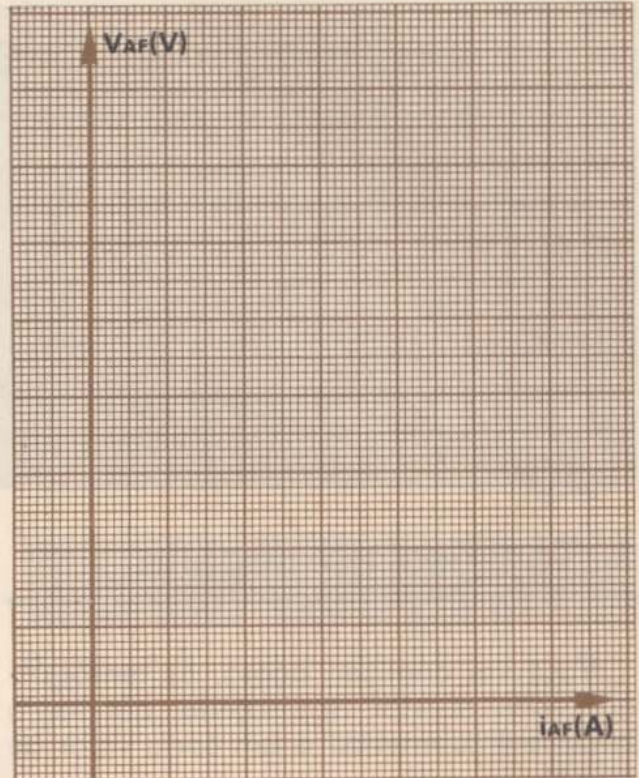


figura 5

RESPOSTAS

R₈ -

R₉ -

	A-B	B-E	A-C	C-E	A-D	D-E	E-F	A-E	A-F
V (V)									
R (Ω)									
i (A)									
V \times i (watts)									

tabela 2

3. Tensões no circuito

Você vai analisar, agora, as tensões a que cada resistor fica sujeito, quando o circuito é submetido a um certo valor de tensão.

O arranjo a ser utilizado é o mesmo da seção anterior (figura 2), submetido à tensão de cerca de 7,5 V.

Ligue, então, cinco pilhas em série ao circuito e meça a tensão em cada resistor, encostando os terminais do medidor às extremidades de cada resistor; preste atenção à polaridade em que você está ligando o medidor. Anote os resultados nas primeiras duas linhas da tabela 2 (a 3.^a e 4.^a linhas serão preenchidas quando você estudar a seção 4 e a seção 8).

A figura 6 é um esquema do circuito que você montou. Escreva, ao lado de cada resistor, o valor de tensão que você mediu.

Preencha os valores abaixo:

$$V_{AB} + V_{BE} = \dots\dots\dots V$$

$$V_{AC} + V_{CE} = \dots\dots\dots V$$

$$V_{AD} + V_{DE} = \dots\dots\dots V$$

$$V_{AE} = \dots\dots\dots V$$

Q10 — Os valores que você obteve acima são aproximadamente iguais?

Estes resultados mostram que a tensão entre os pontos A e E do circuito é igual à soma das tensões nos resistores encontrados em qualquer caminho entre esses pontos.

Preencha os valores abaixo:

$$V_{AE} + V_{EF} = \dots\dots\dots V$$

$$V_{AF} = \dots\dots\dots V$$

Q11 — Escreva as conclusões que você pode tirar desses valores.

Concluindo, verifica-se que a tensão entre dois pontos de um circuito é a mesma, qualquer que seja o "caminho" considerado, vide tabela 2 e figura 6. Além disso, é igual à soma das tensões em cada resistor, no "caminho" considerado. Ou seja:

$$V_{AB} + V_{BE} = V_{AC} + V_{CE} = V_{AD} + V_{DE} = V_{AE}.$$

4. Distribuição da corrente no circuito

Considerando que os resistores utilizados são ôhmicos, calcule, com os valores de V e R medidos (tabela 2), a corrente que percorre cada resistor. Preencha a 3.^a linha da tabela 2.

A figura 7 é o esquema do arranjo de resistores e pilha, montado por você. Nessa figura, as setas indicam o sentido do deslocamento das correntes, onde $i_1, i_2, i_3 \dots$ etc. representam as correntes nos resistores $R_1, R_2, R_3 \dots$ etc. Se você fez a ligação das pilhas ao contrário, o sentido das correntes será oposto.

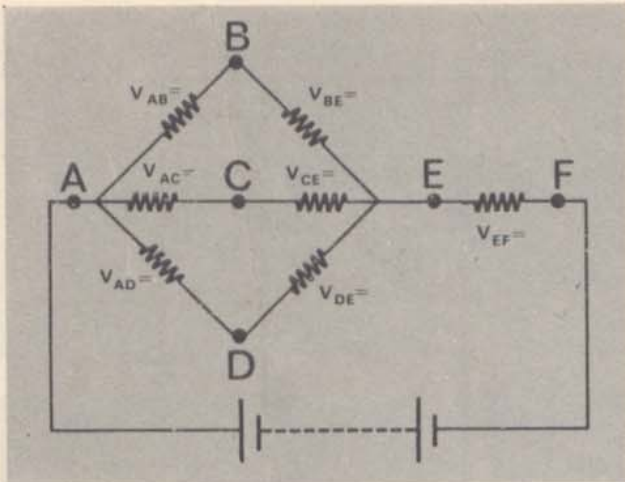


figura 6

Escreva, na figura 7, o valor da corrente que passa em cada trecho do circuito (em cada resistor) e a corrente total i_T (i_{AF}).

Fixe sua atenção no ponto A. À esquerda do ponto A, a corrente flui com determinado valor (i_T). À direita desse ponto existem três caminhos (AB, AC e AD), pelos quais a corrente se distribui.

Preencha os valores abaixo:

$i_T = \dots\dots\dots$
 $i_1 + i_3 + i_5 = \dots\dots\dots$

Q12 — Que relação existe entre o valor da corrente que "entra" no ponto A (que é a corrente total do circuito, i_{AF}) e os valores das correntes que "saem" do ponto A, nos trechos AB, AC e AD?

Observe agora o ponto B (figura 7).

Q13 — Qual é o valor da corrente que "entra" no ponto B? E o valor da corrente que "sai" desse mesmo ponto?

Q14 — Quais os valores das correntes que entram e que saem dos pontos C e D?

Os resultados obtidos acima mostram que a corrente que entra num ponto do circuito é igual à corrente que sai desse mesmo ponto. Isto é válido para qualquer arranjo de resistores. Assim, $i_1 = i_2$; $i_3 = i_4$; $i_5 = i_6$. Olhe a figura 7 e comprove esse fato.

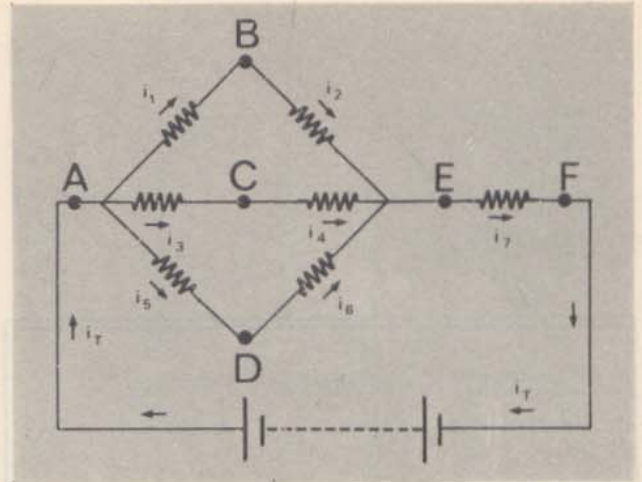


figura 7

RESPOSTAS

R₁₀ -

R₁₁ -

R₁₂ -

R₁₃ -

R₁₄ -

R8 — Uma reta passando pela origem.

R9 — Sim.

R10 — Sim.

R11 — Veja o texto após a questão.

R12 — A corrente que entra no ponto A é igual à soma das correntes que percorrem os trechos AB, AC e AD.

R13 — A corrente que entra (i_1) é igual à que sai (i_2).

R14 — Veja o texto após a questão.

5. Resistência equivalente (previsão do comportamento do circuito)

Os resultados anteriores servirão para analisarmos dois arranjos simples. Monte-os conforme mostrados nas figuras 8 e 9.

Q15 — Indique, nas figuras 8 e 9, o sentido da corrente que percorre os circuitos.

Escreva, nas tabelas 3 e 4, os valores das resistências dos resistores utilizados.

Antes de ligar as pilhas, meça a resistência total de cada um dos circuitos e registre nas tabelas.

Ligue uma pilha a cada circuito, meça os valores da tensão em cada um dos resistores e complete as tabelas 3 e 4.

Desligue as pilhas dos arranjos.

Vamos considerar inicialmente os resultados obtidos no circuito no qual os resistores estão ligados em série (figura 8). Você pode verificar que as conclusões an-

9-8

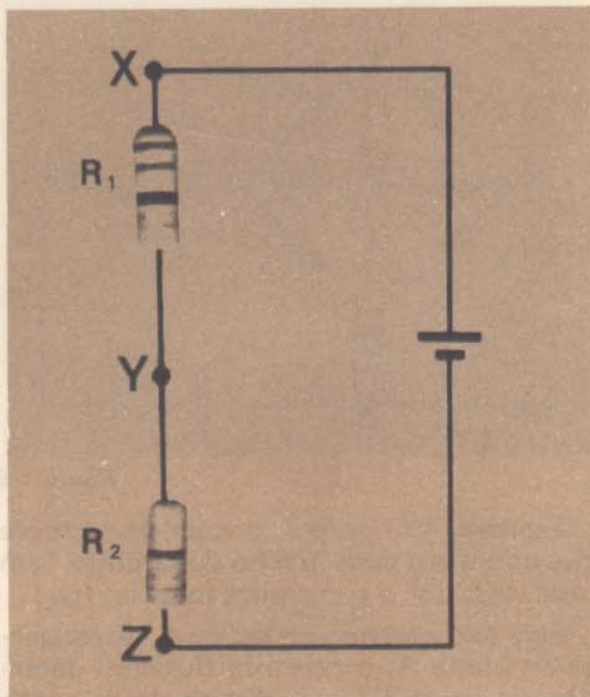


figura 8

teriores são válidas também para este arranjo, ou seja:

$$a) V_{XZ} = V_{XY} + V_{YZ}$$

$$b) i_{XZ} = i_{XY} + i_{YZ}$$

Observe que, neste caso, a corrente não se divide em nenhum ponto. Vamos chamar R_{ZX} de R_E (resistência equivalente).

Q16 — Com base nos dados da tabela 3, escreva a relação matemática que existe entre R_1 , R_2 e R_E .

Vamos analisar, agora, os valores da tabela 4, correspondentes ao circuito com resistores ligados em paralelo.

Q17 — A distribuição de corrente e os valores de tensões estão de acordo com as conclusões anteriores? Explique.

Vamos chamar R_{LM} de R_E (resistência equivalente).

No circuito esquematizado na figura 8, verifica-se facilmente que R_E é igual a $R_1 + R_2$. Qual será, então, no circuito da figura 9, a relação entre R_1 , R_2 e R_E ?

Temos que:

trecho	R(Ω)	V(V)	i(A)
xy			
yz			
xz			

tabela 3

trecho	R(Ω)	V(V)	i(A)
R ₁			
R ₂			
R _{LM}			

tabela 4

$$i_{LM} = i_{Total} = i_1 + i_2 \quad (1)$$

$$V_1 = V_2 = V_{Total} = V \quad (2)$$

Aplicando a Lei de Ohm, $V/i = R$, podemos representar as correntes da expressão (1) como:

$$i_1 = \frac{V}{R_1}; i_2 = \frac{V}{R_2}; i_T = \frac{V}{R_E}$$

Substituindo os valores destas correntes na equação (1), obtemos:

$$\frac{V}{R_E} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2}$$

e finalmente:

$$\frac{1}{R_E} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (3)$$

Esta relação, que foi deduzida para o caso de dois resistores, pode ser aplicada para qualquer número de resistores em paralelo.

Q18 — A partir dos valores de R_1 e R_2 , calcule R_E pela equação (3).

Q19 — Compare o valor de R_E encontrado na **Q18**, com o valor de R_E medido diretamente (tabela 4).

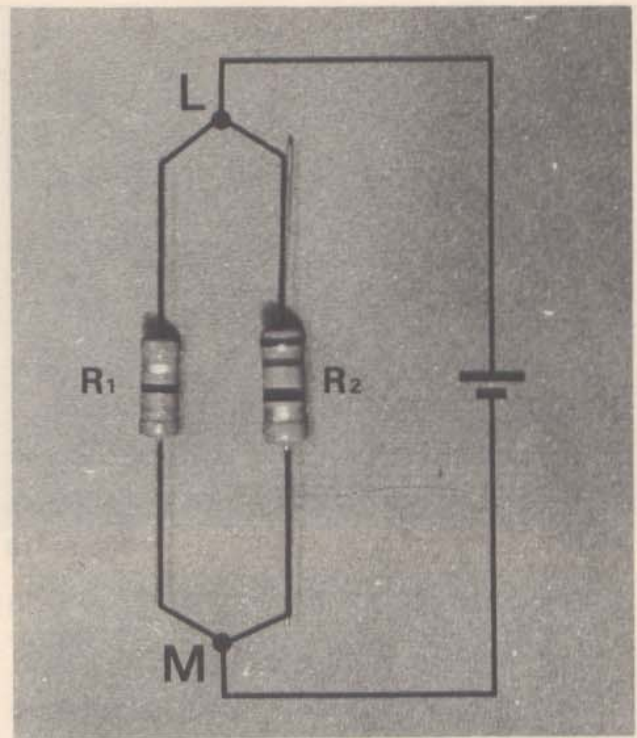


figura 9

RESPOSTAS

R₁₆ -

R₁₇ -

R₁₈ -

R₁₉ -

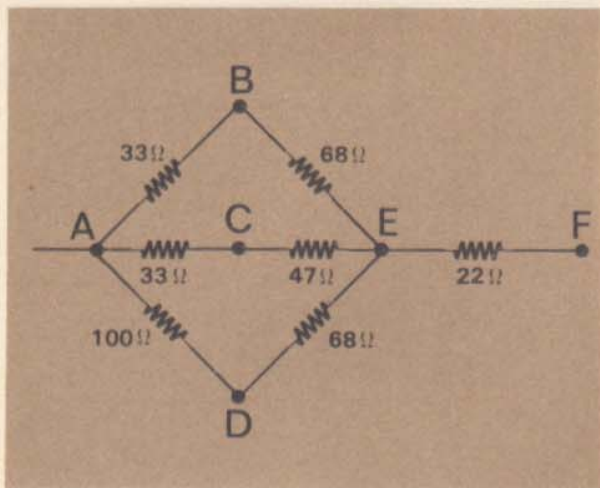


figura 10

O valor de R_E da tabela pode diferir do valor calculado pela equação 3. Na equação, R_E é calculado apenas tendo em conta o arranjo de resistores. Este cálculo não apresenta erros experimentais, enquanto que as medidas de V e i apresentam.

Neste ponto, é interessante você resolver os exercícios de aplicação **E1** e **E2**.

A resistência total do circuito estudado na seção anterior (figura 2) podia ter sido calculada sem ser medida diretamente. Bastava decompor o circuito nas partes ligadas em série e em paralelo. Obtém-se a resistência equivalente dos resistores em série, somando: $R_E = R_1 + R_2 + \dots + R_n$; e dos ligados em paralelo obtém-se pelo cálculo de:

$$\frac{1}{R_E} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Tente calcular, numa folha à parte, a resistência equivalente do circuito. Só depois olhe a solução, que é apresentada a seguir.

Vamos, então, calcular a resistência equivalente daquele circuito, esquematizado na figura 10.

Os três ramos ABE, ACE e ADE estão ligados em paralelo entre si e em série com EF. Existem, em cada um dos três ramos, resistores ligados em série. É necessário calcular a resistência de cada um deles.

Então:

$$\begin{aligned} \text{ABE} \rightarrow R_{ABE} &= R_{AB} + R_{BE} = \\ &= 33\Omega + 68\Omega = 101\Omega \end{aligned}$$

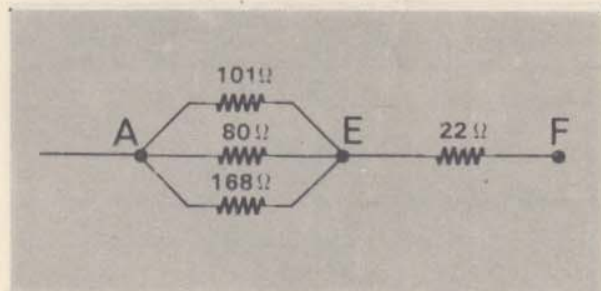


figura 11

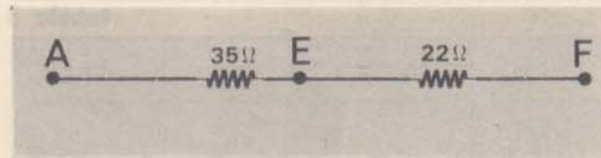


figura 12

$$\begin{aligned} \text{ACE} \rightarrow R_{ACE} &= R_{AC} + R_{CE} = \\ &= 33\Omega + 47\Omega = 80\Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ADE} \rightarrow R_{ADE} &= R_{AD} + R_{DE} = \\ &= 100\Omega + 68\Omega = 168\Omega \end{aligned}$$

Podemos, agora, simplificar o esquema (figura 11).

A resistência equivalente de A a E será:

$$\frac{1}{R_{AE}} = \frac{1}{101} + \frac{1}{80} + \frac{1}{168} = \frac{4811}{169680}$$

$$R_{AE} \approx 35\Omega$$

esquema se reduz a: (figura 12).

A resistência equivalente será, então:

$$R_E = R_{AE} + R_{EF} = 35\Omega + 22\Omega = 57\Omega$$

É possível aplicar este cálculo da resistência equivalente a qualquer circuito?

6. Circuitos não-redutíveis

A figura 13 é o esquema de um circuito que você irá montar.

Os resistores utilizados poderiam ser outros, ou a distribuição dos resistores pode ser diferente. O arranjo é que deve manter-se o mesmo.

Após montá-lo, você vai fazer as medidas de corrente e tensão nos resistores utilizando no máximo 5 pilhas. Efetue as medidas de tensão e preencha a 1.^a linha da tabela 5. Na 2.^a linha escreva os valores

	M-N	N-Q	M-P	P-Q	M-O	N-O	O-P	M-Q
V(V)								
R(Ω)								
i(A)								
V x i								

tabela 5

das resistências; na 3.^a calcule as correntes.

Q20 — Meça a resistência equivalente do circuito (R_{MQ}). Escreva o valor encontrado na tabela.

Q21 — Calcule a mesma R_{MQ} , pela Lei de Ohm. O circuito comporta-se ou não como um único resistor ôhmico?

Verifique atentamente os dados da tabela 5 e, observando o esquema do circuito (figura 13), responda às questões a seguir (i_1 é a corrente em R_1 , i_2 em R_2 , etc.):

Q22 — $i_1 + i_2 + i_3 = i_6 + i_7$?

Q23 — $i_1 + i_4 = i_3 + i_5$?

Q24 — $V_{MN} + V_{NQ} = V_{MP} + V_{PQ} = V_{MQ}$?

Q25 — $V_{MN} + V_{NO} + V \dots = V_{TOTAL}$?

Tente agora calcular a resistência equivalente do circuito.

Embora todas as conclusões já vistas nas seções anteriores, a respeito de tensão, corrente e potência, sejam válidas também para este circuito, não é possível calcular a R_E apenas com o que foi visto neste capítulo. Você poderá obtê-la medindo diretamente.

Para a resolução deste circuito, são necessários mais alguns conhecimentos, como as Leis das Malhas, que não serão tratados aqui.

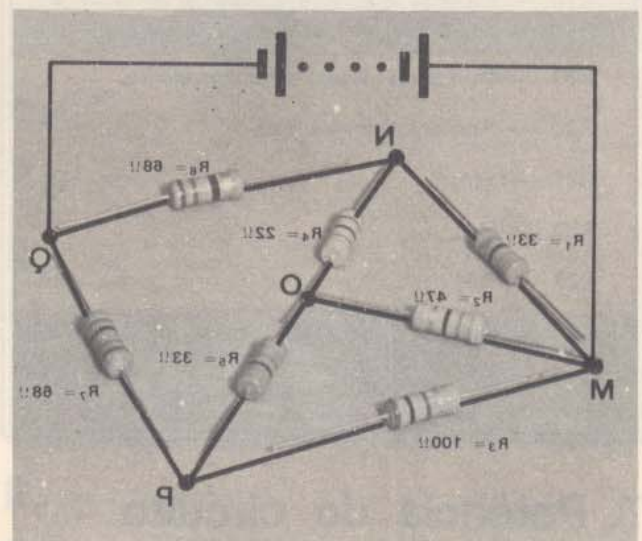


figura 13

RESPOSTAS

R₂₁ -

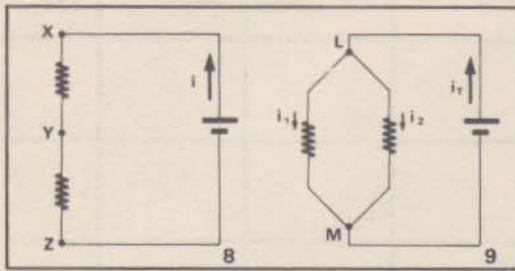
R₂₂ -

R₂₃ -

R₂₄ -

R₂₅ -

R15



R16 — $R_B = R_1 + R_2$.

R17 — Sim. A soma das correntes em cada resistor é igual à corrente total; e a tensão elétrica em cada resistor é a mesma.

R18 — Supondo que você utilize $R_1 = 22\Omega$ e $R_2 = 68\Omega$ $R_B \cong 17\Omega$

R19 — Os valores devem ser aproximados.

R20 — Aproximadamente 75Ω .

R21 — Sim.

R22 — Sim.

R23 — Não.

R24 — Sim.

R25 — Sim.

7. Potência do circuito

Voltando à tabela 2, pág. 9-6, calcule os produtos $V \cdot i$ para cada resistor; escreva os resultados na quarta linha.

Q26 — Quanto vale o produto $V \times i$ no trecho A-F?

Q27 — E a soma dos produtos $V \times i$ nos outros trechos?

Q28 — Os valores encontrados nas questões 26 e 27 são próximos?

A comparação acima é um exemplo de que, em qualquer circuito elétrico, a soma das potências dissipadas em cada um dos seus componentes é igual à potência total ($V_T \times i_T$) dissipada nesse circuito.

9-12

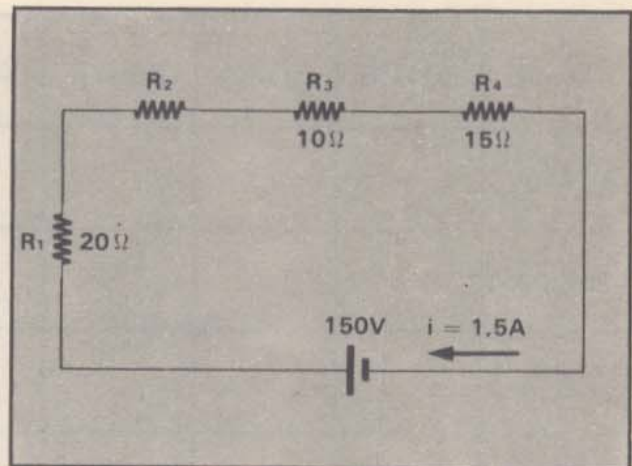


figura 14

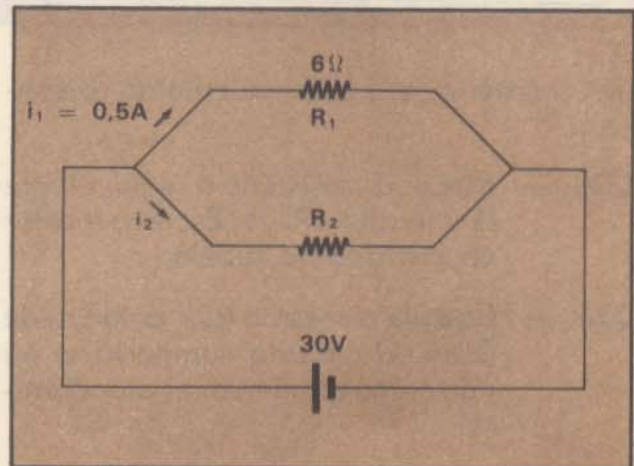


figura 15

8. Exercícios de aplicação

E1 — O circuito da figura 14 foi montado com resistores do tipo usado por você neste capítulo. Foram feitas as medidas de tensão total, das resistências dos resistores R_1 , R_3 e R_4 , e da corrente total. A partir destas medidas, calcule:

- o valor da resistência R_2 ;
- a queda de tensão em cada resistor.

E2 — Agora observe o circuito da figura 15. A resistência total do circuito é $R_t = 27\Omega$. Qual é o valor da resistência de R_2 , se a corrente que percorre R_1 é $0,5\text{ A}$ e a tensão aplicada é 30 V ?

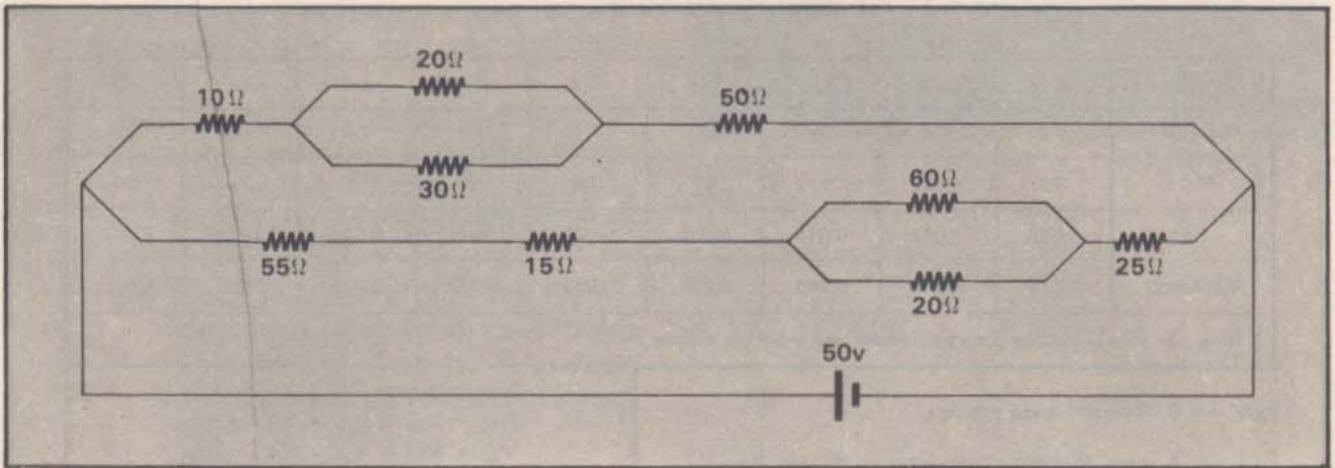


figura 16

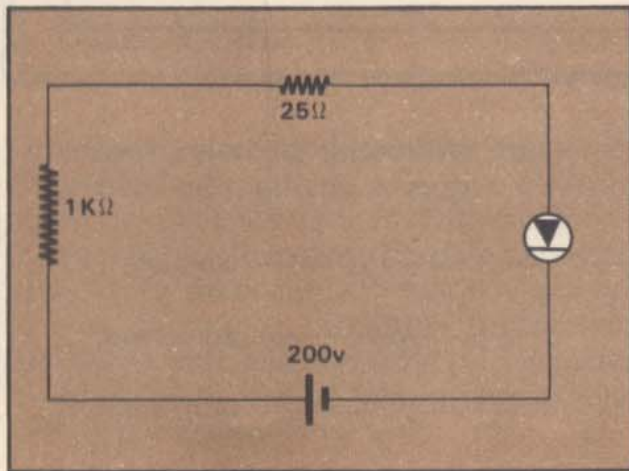


figura 17

E3 — A figura 16 mostra um circuito em que a ligação entre os resistores é do tipo misto, isto é, ligação em série e em paralelo. Resolvendo o circuito por partes (por exemplo, substituindo dois resistores por um, cuja resistência tem um valor equivalente), calcule o valor da resistência total e da corrente total, sendo o valor de tensão igual a 50 V.

E4 — O circuito da figura 17 é formado por dois resistores e um díodo. As resistências máxima e mínima do díodo são, respectivamente, $1\,200\Omega$ e 80Ω . Determine:

- o valor da corrente que flui, quando o díodo tem resistência máxima (a pilha invertida);
- a corrente, quando o díodo tem resistência mínima.

RESPOSTAS

$$R_{26} -$$

$$R_{27} -$$

$$R_{28} -$$

RESPOSTAS DE EXERCÍCIOS

$$R_1 -$$

$$R_2 -$$

$$R_3 -$$

$$R_4 -$$

	A-B	B-E	A-C	C-E	A-D	D-E	E-F	A-E	A-F
V(V)	1,2	2,6	1,5	2,3	2,3	1,5	2,4	4,0	7,0
R(Ω)	33	68	33	47	100	68	22	35	60
i(A)	0,036	0,038	0,045	0,048	0,023	0,022	0,011	0,011	0,011
V.i (watts)	0,043	0,099	0,068	0,011	0,053	0,033	0,026	0,044	0,077

Nota: Os valores obtidos por vocês devem ser próximos a estes.

R26 — 0,77 watt (vide tabela)

R27 — A soma de todos os produtos $V \times i$ resulta em 0,666 watt.

R28 — Sim.

$$V_{AB} + V_{BE} = 1,2 + 2,6 = 3,8V$$

$$V_{AC} + V_{CE} = 1,5 + 2,3 = 3,8V$$

$$V_{AD} + V_{DE} = 2,3 + 1,5 = 3,8V$$

$$V_{AE} + V_{EF} = 4,0 + 2,4 = 6,4V$$

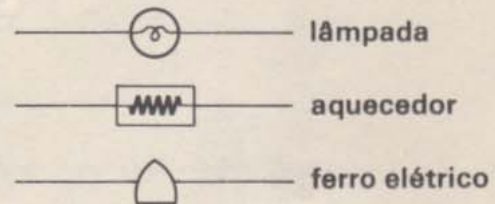
$$V_{AF} = 7,0V$$

E5 — Um sistema de alarma (pega-ladrão) está em uma sala escura. Ele é construído com um resistor comum de 20Ω e um LDR, ligados em série. O sistema está ligado a uma fonte de tensão de 20 V. Quando certa luminosidade incide no LDR, sua resistência diminui, permite a passagem de uma corrente que aciona o alarma e este dispara. Suponha que o alarma dispara com uma corrente de 0,05 mA. Qual deve então ser o valor da resistência do LDR iluminado?

E6 — Pretende-se fazer um cordão de lâmpadas coloridas para árvore-de-natal, com lâmpadas que têm cada uma resistência $R = 15\Omega$ e suportam uma corrente máxima $= 1,0$ A. Deve-se ligar o cordão a uma tomada que fornece uma tensão de 110 V. Como devem ser ligadas as lâmpadas e quantas são necessárias?

E7 — Na sala de uma residência temos um aquecedor elétrico (2 000 W), um ferro de passar (400 W) e uma lâmpada (60 watts). A ligação do circuito na fonte de 110 V deve ser tal, que permita utilizar os aparelhos ao mesmo tempo, sem danificá-los.

a) Utilizando símbolos, faça o esquema das ligações elétricas.



b) Qual o valor da corrente exigida pelo circuito?

E8 — Suponha que, uma residência cuja tensão é de 220 V, sejam ligados (em paralelo) os seguintes aparelhos:

1 chuveiro (2 000 W; 25Ω)

1 lâmpada (100 W; 480Ω)

1 ferro elétrico (500 W; 100Ω)

a) Qual o valor da corrente que percorre cada um dos aparelhos?

b) Usando os valores da corrente e da resistência de alguns dos aparelhos acima, calcule a potência e verifique se corresponde ao valor especificado.

c) Quanto vale a resistência total do circuito?

E9 — Deseja-se construir um chuveiro para aquecer 2 litros de água por minuto, de uma temperatura inicial de 25°C até uma temperatura final de 40°C . O material que vai

constituir a resistência do aquecimento é o Ni-Cr, cuja resistividade é $1,1 \times 10^{-6} \Omega \cdot m$.

- a) Usando um fio de $0,33 \text{ mm}^2$ de área, calcular o comprimento necessário, fazendo cálculos para rede de alimentação com 110 V e 220 V.
- b) Caso se queira ter dois terminais, um para inverno e outro para verão, qual dos dois deve corresponder à resistência menor? Por quê?

9. Conclusão

Termina aqui este primeiro curso de Eletricidade. Esperamos que você conheça agora os conceitos básicos deste campo da Física e suas aplicações: carga e corrente, resistência, potencial, campo, energia potencial elétrica e mecânica. Esperamos ainda que você seja capaz de utilizar estes conceitos para resolver alguns dos problemas que encontrará na vida.

Todos estes são conceitos essencialmente **macroscópicos**, ou seja, referem-se a grande número de átomos.

Uma parte importante de nosso curso foi dedicada a explicar as propriedades macroscópicas em função das propriedades microscópicas da matéria, ou melhor, das propriedades dos átomos nas redes cristalinas.

Talvez você também tenha percebido como se processa a evolução científica, em paralelo com o desenvolvimento da sociedade. Por volta de 1800, em vários países da Europa, filósofos naturais, mais tarde chamados cientistas, passaram a observar sistematicamente fenômenos elétricos, e puderam fazê-lo com certa precisão, pois a evolução tecnológica da época para a qual eles mesmos também contribuíram possibilitou-lhes a construção de aparelhos adequados e criou o clima cultural adequado. Do trabalho destes cientistas surgiram nos laboratórios descobertas novas como a pilha de Volta, a interação eletromagnética (Faraday e Ampère),

RESPOSTAS DE EXERCÍCIOS

R₅ -

R₆ -

R₇ -

R₈ -

R₉ -

efeito Joule, motores elétricos, etc. Essas invenções, tendo aparecido num momento em que a sociedade européia estava em processo de aumento de consumo de energia em rápida incorporação de novas técnicas no processo produtivo (revolução industrial), foram rapidamente aplicadas em grande escala e contribuíram para o aparecimento do mundo tecnológico em que vivemos.

Como todas as áreas científicas, a Eletricidade não pode ser estudada sozinha. Já apontamos algumas de suas inter-relações com a Mecânica e com a teoria atômica. O magnetismo é hoje compreendido como parte do estudo da Eletricidade,

criando uma área nova, o eletromagnetismo, que é tratado no volume 4 do PEF. A óptica é também considerada hoje parte do eletromagnetismo.

O aprofundamento do estudo das propriedades elétricas dos átomos leva à teoria do estado sólido, que permite entender o funcionamento de transistores, circuitos integrados e outros dispositivos eletrônicos modernos, que fazem funcionar desde o rádio de pilha até grandes computadores.

Esperamos, enfim, que você tenha gostado do curso, que ele tenha lhe ensinado algo sobre o mundo em que você vive e aguçado a sua curiosidade para conhecer mais.

$$R1 - a) R_T = \frac{V}{i_T} = \frac{150V}{1,5A} = 100\Omega$$

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = 100\Omega$$

$$R_2 = 55\Omega$$

$$b) V_1 = R_1 \times i_T = 30V$$

$$V_2 = R_2 \times i_T = 82,5V$$

$$V_3 = R_3 \times i_T = 15V$$

$$V_4 = R_4 \times i_T = 22,5V$$

$$R2 - i_T = \frac{V}{R_T} = \frac{30V}{27\Omega} \cong 1,1A$$

$$i_2 = i_T - i_1 = 0,6A$$

$$R_2 = \frac{V}{i_2} = \frac{30V}{0,6A} = 50\Omega$$

$$R3 - R_T \cong 42\Omega$$

$$i_T = \frac{50V}{42\Omega} \cong 1,1A$$

R4 - a) **resistência máxima**

$$R_T = 1200 + 25 + 1000 = 2225\Omega$$

$$i_{\max} = \frac{200V}{2225\Omega} = 0,09A$$

b) **resistência mínima**

$$R'_T = 80 + 25 + 1000 = 1105\Omega$$

$$i_{\min} = \frac{200V}{1105\Omega} \cong 0,18A$$

$$R5 - R_T = R_{LDB} + 20\Omega$$

$$R_T = \frac{20V}{0,05A} = 400\Omega$$

$$R_{LDB} = R_T - 20\Omega = 380\Omega \text{ ou menor}$$

$$R6 - R_T = \frac{120V}{1A} = 120\Omega$$

$$R_T = n \cdot R \text{ onde } R = 15\Omega$$

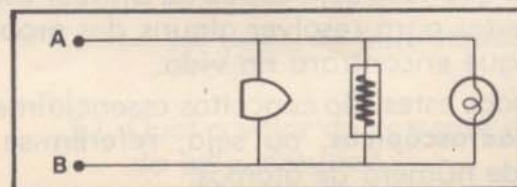
$$n = \frac{120}{15} = 8$$

São necessárias 8 lâmpadas ligadas em série.

R7 - a) Para que possam ser utilizados ao mesmo tempo, **não** devemos ligar os elementos em série, mas sim em paralelo.

$$b) P_T = V \times i_T$$

$$i_T \cong \frac{2460 \text{ watt}}{110V} = 22,3A$$



R8 - a) chuveiro $i \cong 8,9A$

lâmpada $i \cong 0,45A$

ferro elétrico $i \cong 2,2A$

b) $P = Ri^2$

chuveiro $P = 1980 \text{ watts}$

lâmpada $P = 96 \text{ watts}$

ferro elétrico $P = 484 \text{ watts}$

c) $P = V^2/R \rightarrow R_T = V^2/P_T$

$$R_T = \frac{48400}{2600} \cong 18\Omega$$

R9 - $Q = mc \Delta t$

$$P = \frac{\epsilon}{t} = \frac{Q}{t} = 2090 \text{ watts}$$

a) $V = 110V$

$$R = V^2/P = 6\Omega$$

$$R = \frac{\rho l}{A} \rightarrow l = \frac{RA}{\rho} = 1,8m$$

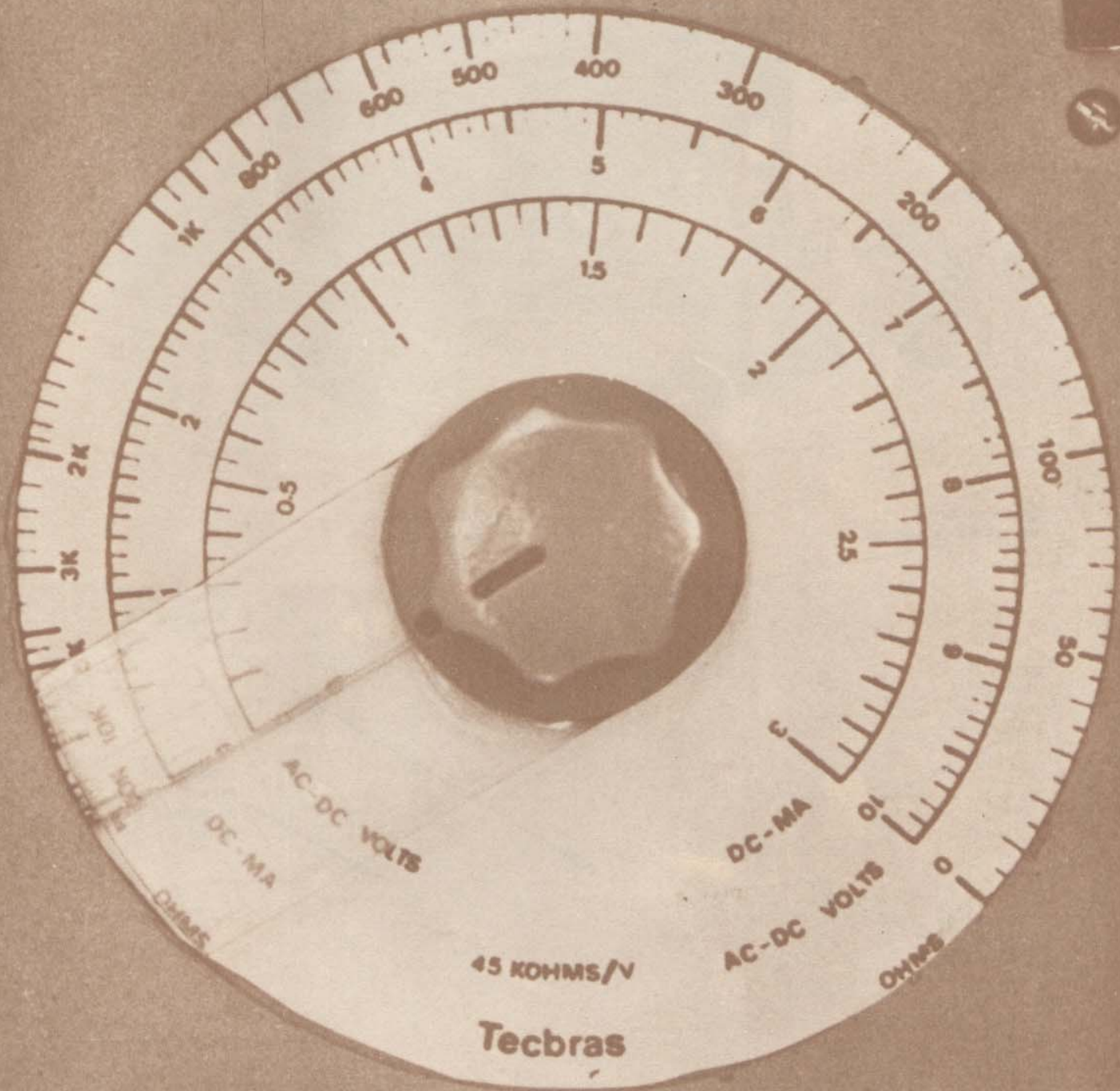
$V = 220V$

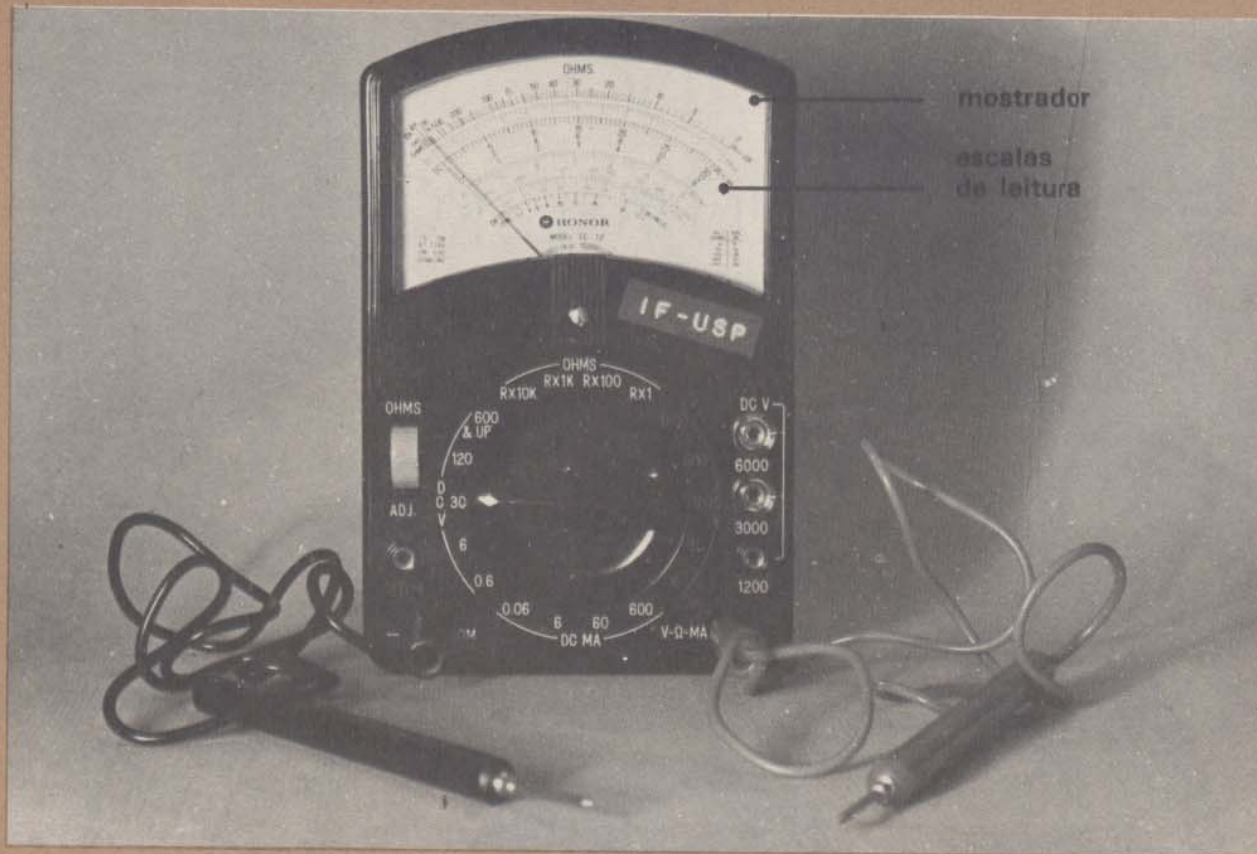
$$R = 24\Omega \rightarrow l = 7,2m$$

b) Inverno. A resistência é menor, mas a corrente é maior.

$$P = Ri^2$$

GUIA DO MULTÍMETRO





ajuste do zero da escala de tensão

fundos de escala de resistência

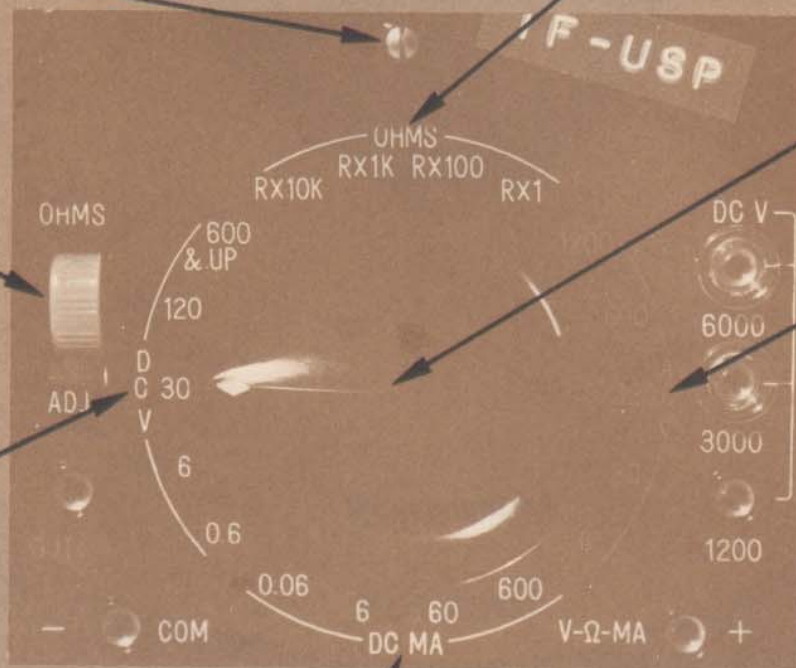
ajuste do zero da escala de resistência

chave seletora

fundos de escala de tensão (C.A.)

fundos de escala de tensão

fundos de escala de corrente



Guia do multímetro

Introdução

Durante este curso você precisará medir grandezas elétricas: tensão, corrente elétrica e resistência elétrica. Existem aparelhos especiais para a medida de cada uma delas: voltímetros para medir tensão, amperímetro para correntes e ohmímetros para resistências. Seriam então necessários três aparelhos. Entretanto é possível reunir esses três medidores em um só aparelho, chamado **multímetro** (ou **multitester**).

O multímetro é um instrumento caro e delicado, e deve ser utilizado somente **depois** de você conhecer bem as instruções que seguem. Caso contrário há o risco de você "queimar" o aparelho.

Se, durante o curso, você tiver dúvidas sobre como fazer uma medida, volte a consultar o guia antes de tentar fazê-la.

O multímetro pode medir tensão, corrente ou resistência elétrica. Em alguns tipos de aparelhos (figura 1) a posição da **chave seletora** determina que grandeza será medida. Em outros tipos, (figura 2 na página seguinte) a grandeza a ser medida é determinada pelos orifícios em que ligamos os **pinos** dos fios de ligação.

Q1 — De que tipo é o seu multímetro?

R1 —

Vamos explicar inicialmente o tipo com chave seletora.

1. Multímetro com chave seletora

Além de poder medir grandezas diferentes, o multímetro tem várias **escalas** para cada grandeza. Por exemplo o medidor da figura 1 tem 4 escalas de **corrente**, podendo medir correntes elétricas entre 0 e 0,06 mA, entre 0 e 6 mA, entre 0 e 60 mA, ou ainda entre 0 e 600 mA, dependendo da posição da chave seletora.

Q2 — Qual a vantagem de ter várias escalas de corrente? Não bastaria a escala de 0 a 600 mA, que inclui as outras?

R2 —

Se você medir uma corrente de 12 mA na escala de 600 mA, a precisão da medida será pobre, pois a menor divisão da escala de leitura no mostrador já corresponde a 10 mA. Para fazer esta medida com boa precisão você deve usar uma escala em que a máxima corrente que pode ser medida não seja muito maior que a corrente que se quer medir. Neste exemplo a escala adequada seria de 60 mA.

O limite máximo de cada escala chama-se **fundo de escala**: ele será indicado pela posição da chave seletora.

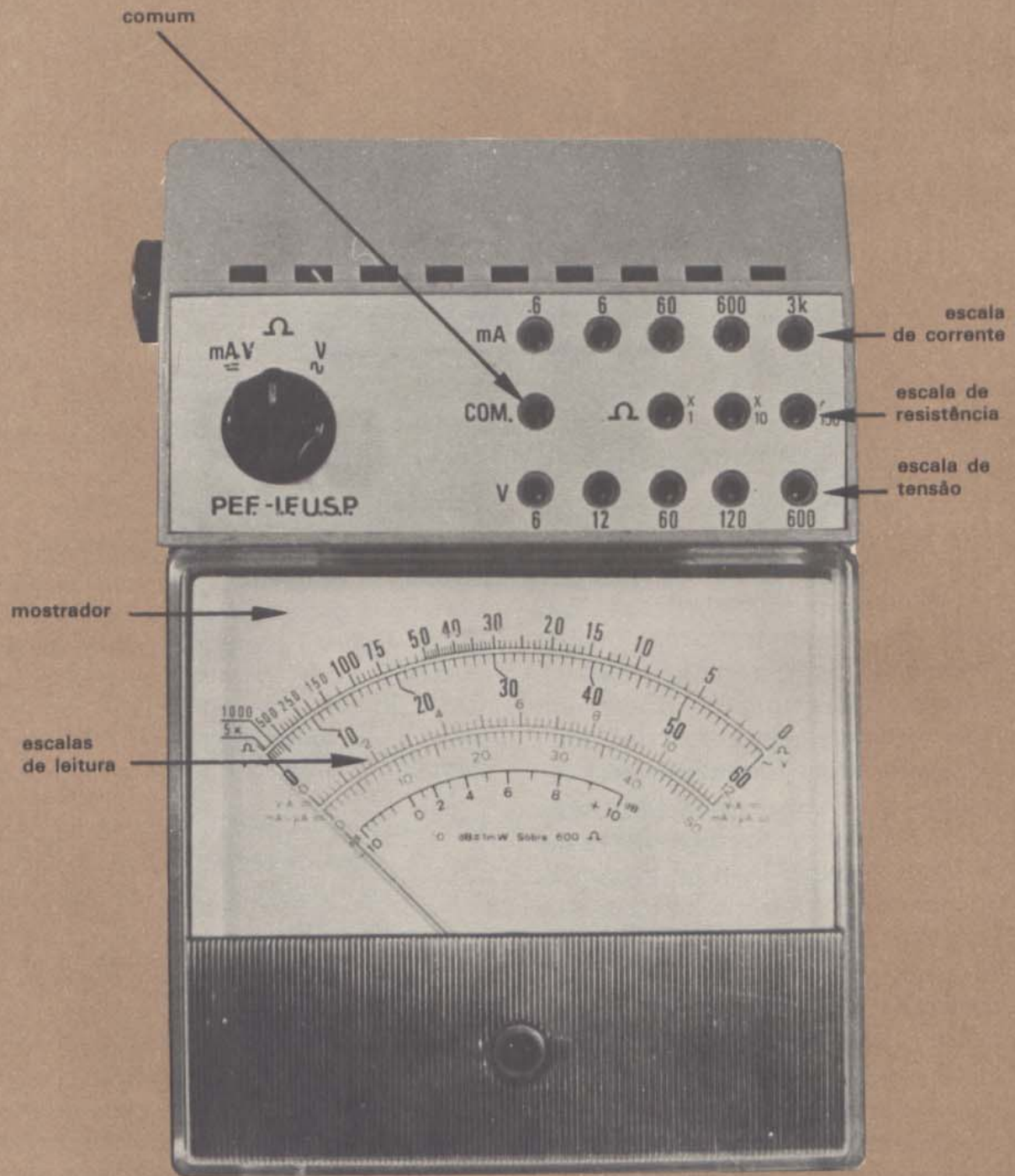



figura 2



Q3 — Quais os 4 fundos de escala de **corrente** do medidor da figura 1?

R3 —

Q4 — Quais os 5 fundos de escala (DC) de **tensão** do medidor da fig. 1?

R4 —

Observe que os terminais do multímetro com chave seletora (figura 1) são dois orifícios que trazem os sinais (+) e (-). Nesses orifícios, adaptamos os fios de ligação que acompanham o aparelho (um vermelho e outro preto). Uma extremidade do fio vermelho é adaptada no orifício (+) e a do fio preto no orifício (-).

Q5 — Em que orifício deve ser ligado o fio vermelho? E o fio preto?

R5 —

Ficamos assim com duas pontas livres, que estão ligadas aos terminais (+) e (-) do multímetro. Tocando as pontas em vários lugares em um circuito elétrico, podemos efetuar medidas. O fio vermelho deve ser tocado no ponto de tensão mais positiva e o fio preto no ponto de tensão mais negativa. Se houver inversão, o ponteiro se moverá para a esquerda, em vez de para a direita.

Quando você coloca a chave seletora em certa posição, por exemplo 30 (DC), você está limitando a 30 V o valor da tensão que pode ser medido por seu aparelho (DC é a abreviatura da expressão inglesa "direct current". Em português dizemos "corrente contínua" — CC). Sempre que você escolhe uma escala de leitura para tensão ou corrente através da chave seletora, você fixa o **fundo de escala**.

Isto quer dizer que a **medida** que você irá fazer **não** poderá ultrapassar esse valor. No exemplo acima, você não poderá exceder 30 V, pois caso contrário você pode danificar o aparelho. Antes de iniciar a medida deve-se ter uma idéia aproximada do valor da corrente ou da tensão a ser medida. Para medida de resistência isto não é necessário.

Em resumo

Para obter boa precisão de leitura, deve-se escolher o fundo de escala **mais baixo** dentre aqueles que são **maiores** que o valor que se deseja medir. Por exemplo, na figura (1), o fundo de escala escolhido é de 30 V.

Q6 — Para o medidor da figura 1, qual seria o fundo de escala apropriado para se medir a tensão de duas pilhas em série (cerca de 3 V)?

R6 —

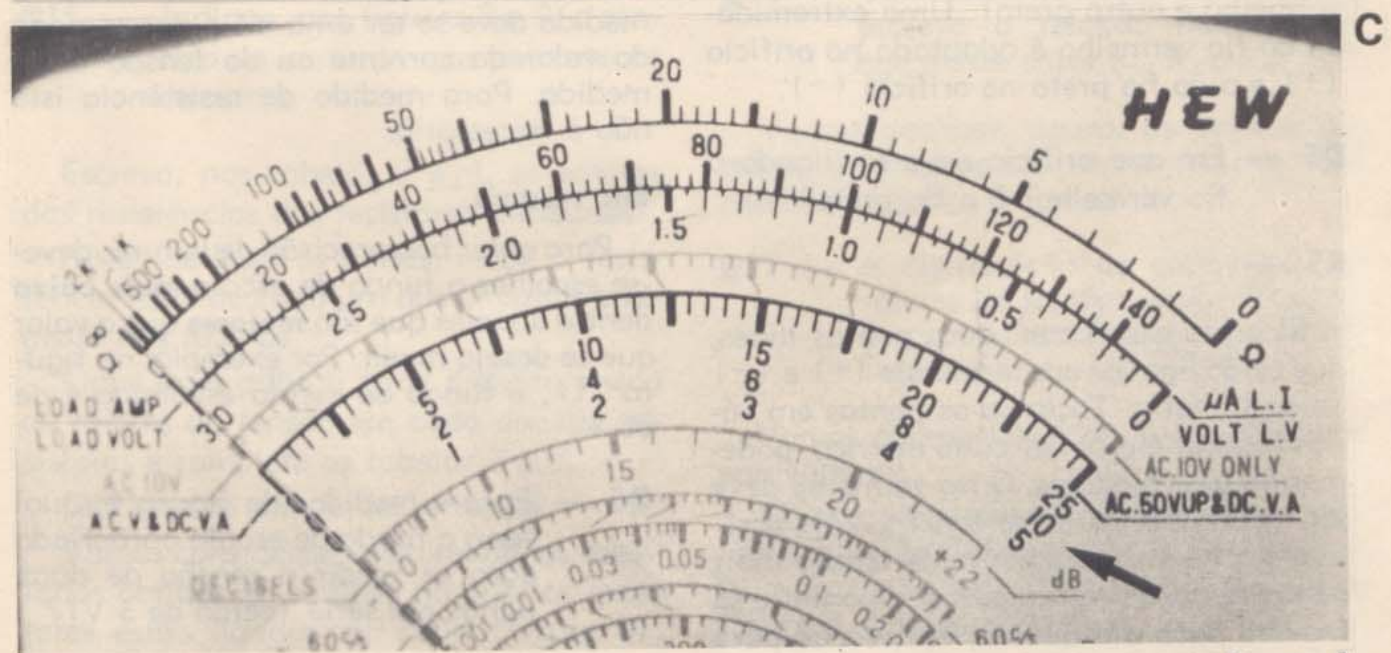
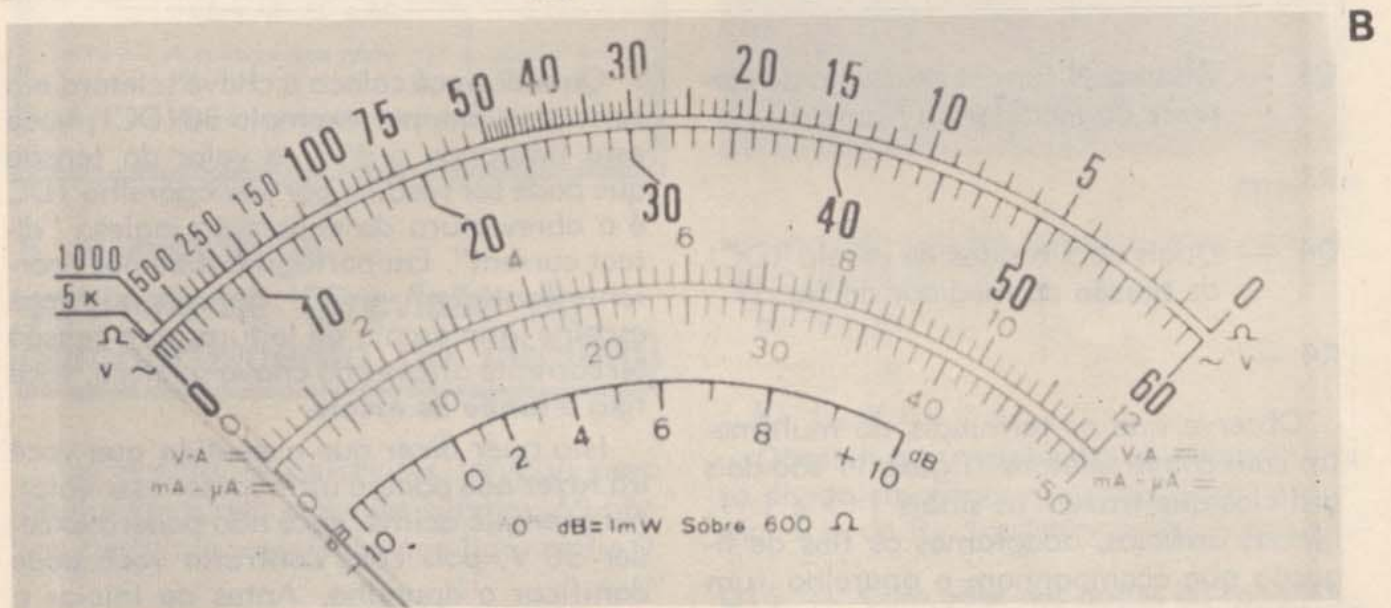
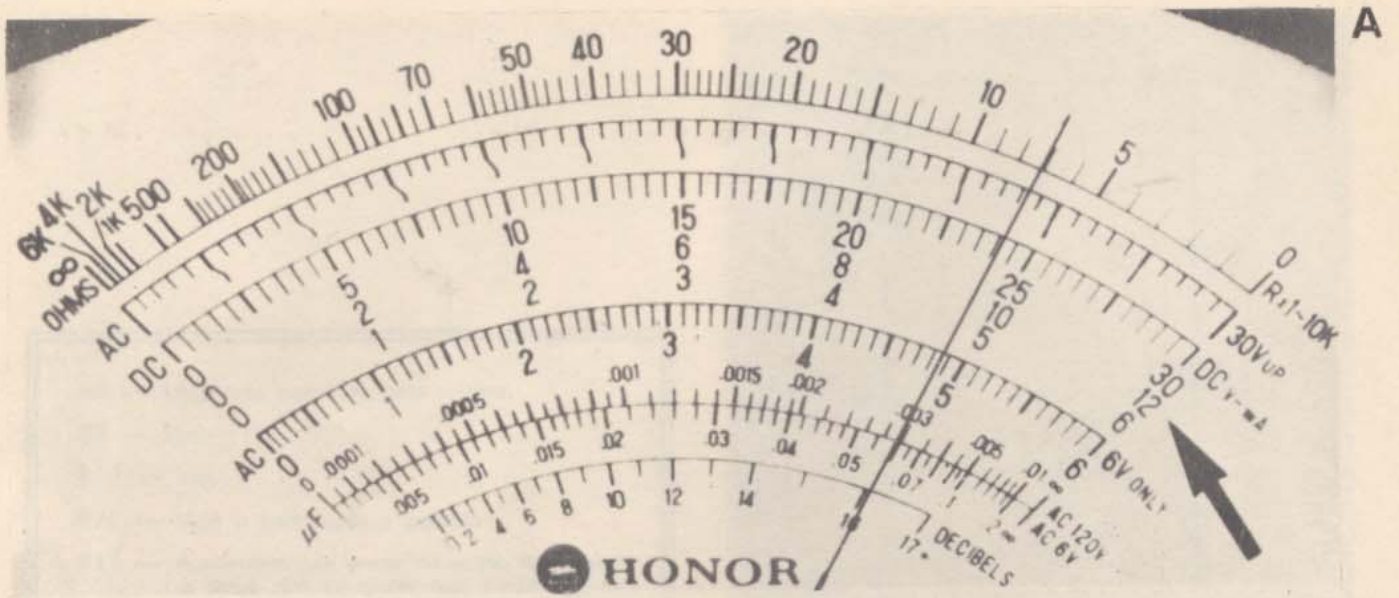


figura 3

Q7 — É possível medir uma corrente de 2 mA com o medidor da figura 1? Qual o fundo de escala escolhido?

R7 —

Q8 — Para o multímetro da figura 1, qual o fundo de escala que você escolheria para medir uma corrente de cerca de 40 mA? E uma corrente de cerca de 25 mA?

R8 —

Fixado o fundo de escala, você deverá fazer a leitura em uma das escalas do mostrador. Antes de discutir o mostrador, vejamos o multímetro sem chave seletora.

2. Multímetro sem chave seletora

Em um multímetro como o da figura 2 a seleção da grandeza a ser medida e do fundo de escala é feita pela escolha dos orifícios onde são ligados os pinos dos fios de ligação do multímetro. Por exemplo, para medir uma **tensão** contínua, devemos ligar o fio preto no orifício DC (ou **comum**) — e o fio vermelho, em um dos orifícios 6 V(DC), 12 V(DC), 60 V(DC), 120 V(DC) e 600 V(DC). O fundo de escala será, respectivamente, 6 V, 12 V, 60 V, 120 V e 600 V.

Q9 — Em que orifícios devem ser ligados os terminais do medidor da figura 2 para medir a **tensão** de duas pilhas em série cerca de 3 V(DC)?

R9 —

Para medir o valor de uma corrente elétrica (CC), o fio vermelho deve ser ligado a um dos orifícios 0,6 mA(DC), 6 mA(DC), 60 mA(DC) ou 600 mA(DC), e o fio preto, ao mesmo orifício DC (ou **comum**) já mencionado acima.

Q10 — Em que orifícios devem ser ligados os terminais do medidor da figura 2 para medir uma corrente de 10 mA?

R10 —

3. Escalas no mostrador

No multímetro, você pode observar várias escalas de leitura graduadas. A figura 3 mostra escalas de leitura de 3 multímetros diferentes.

Observe a escala A da figura 3.

A escala de leitura mais externa do medidor é usada para ler medidas de **resistência elétrica**, e será discutida em detalhe mais adiante. Observe que o zero desta escala está em geral do lado direito. Todas as outras escalas têm o zero do lado es-

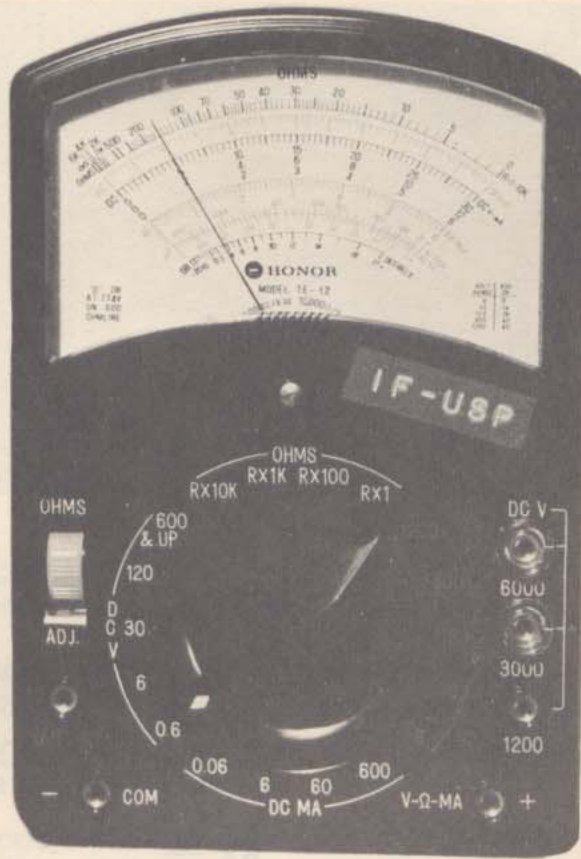


figura 4

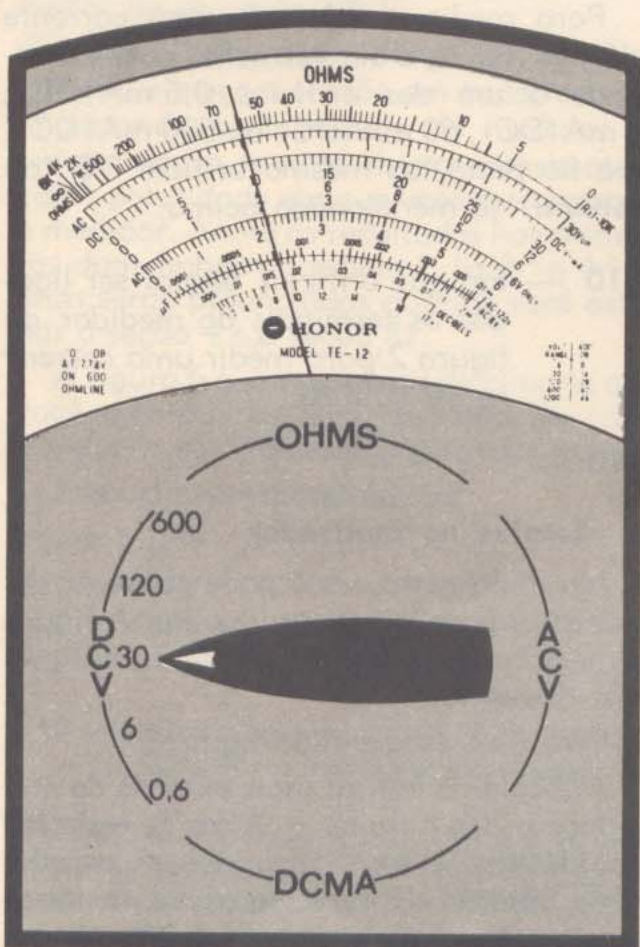


figura 5

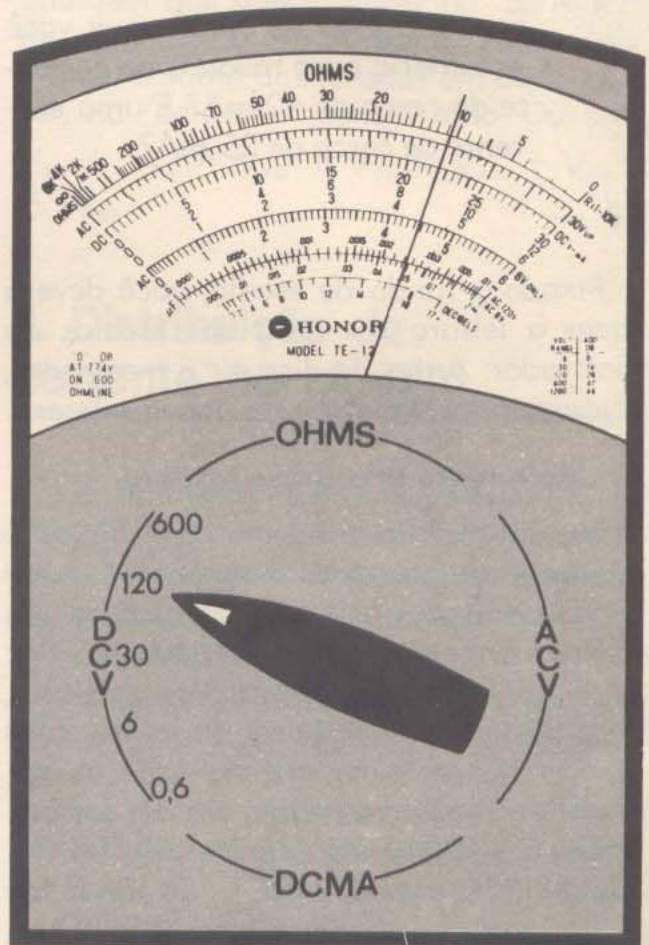


figura 6

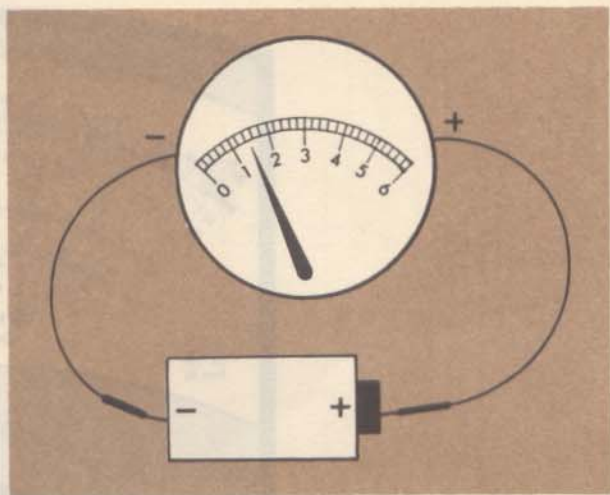


figura 7

querdo. Abaixo, você observa outra escala onde a graduação é feita entre os valores: 0 a 30, 0 a 12 e 0 a 6. Ao lado das escalas aparece a indicação DC (ou CC).

Outros multímetros podem trazer valores diferentes, como 0 a 50, 0 a 12; ou ainda 0 a 25, 0 a 10 e 0 a 5. Esta escala pode ser usada para medir **tensão** ou **corrente elétrica**. Vamos dar exemplo de algumas medidas de **tensão**.

A escala de leitura deve ser escolhida de acordo com o fundo de escala fixado.

Se a chave seletora indica o valor 0,6 V, por exemplo, devemos fazer leituras na escala, tomando como extremos os valores de 0 a 0,6 V. Se a escala do mostrador não tem o valor 0,6 V como extremo mas tem o valor 6 V, não tem importância; fazemos a leitura tomando como extremos os valores 0 a 6 V e dividimos por dez (10) todos os valores lidos nesta escala.

Na figura 4, por exemplo, o ponteiro do medidor coincide com o valor 1 V na escala graduada. Como a chave seletora indica o valor 0,6 V, o valor da medida é 0,1 V, pois a chave seletora indica o valor **máximo** da tensão, ou seja, fixa os extremos da escala; no nosso caso, 0 e 0,6 V.

Q11 — Nas figuras 5 e 6 os medidores indicam valores de **tensão** em duas situações diferentes. Quais são estes valores?

R11 —

O extremo da escala deve ser sempre maior do que o valor que se quer medir. Quando em dúvida sobre o valor aproximado da grandeza a ser medida, coloque inicialmente a chave ou pino na posição correspondente ao fundo de escala **mais alto**. Este procedimento só pode ser usado quando se tem **certeza** que o valor a ser medido não ultrapasse o fundo de escala mais alto.

4. Medidas de tensão

Inicialmente você deve fixar o fundo de escala na escala de tensão (DCV) para a medida. Feita a ligação, passa-se à leitura no mostrador.

Os terminais (+) e (-) do medidor devem ser ligados aos pontos entre os quais se deseja medir a tensão de forma que a corrente passa pelo voltímetro do terminal (+) para o (-). Por exemplo, para medir a tensão entre os terminais de uma pilha, o terminal (+) do medidor deve ser ligado ao terminal (+) da pilha; o terminal (-) do medidor, ao terminal (-) da pilha (figura 7).

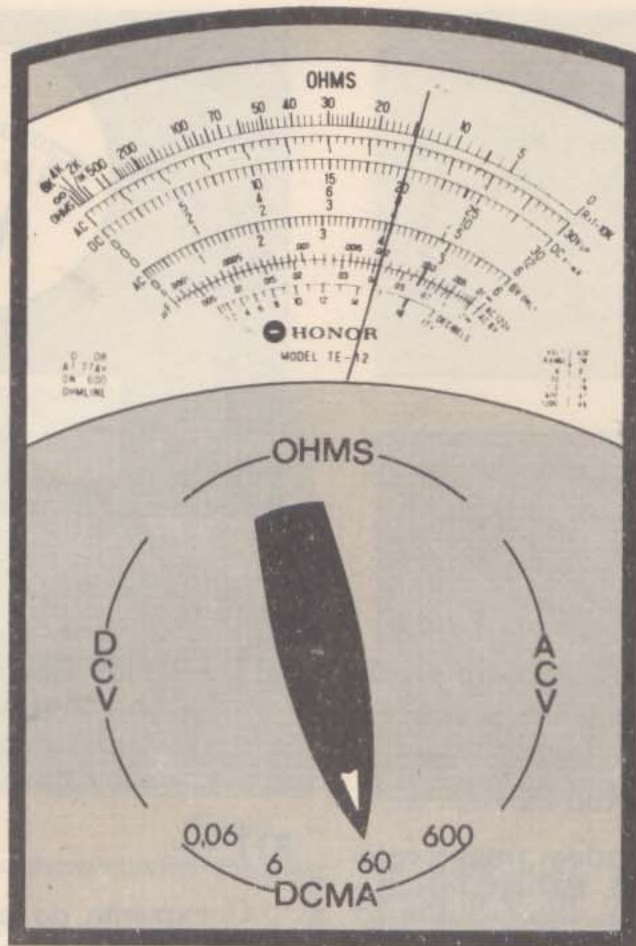


figura 8

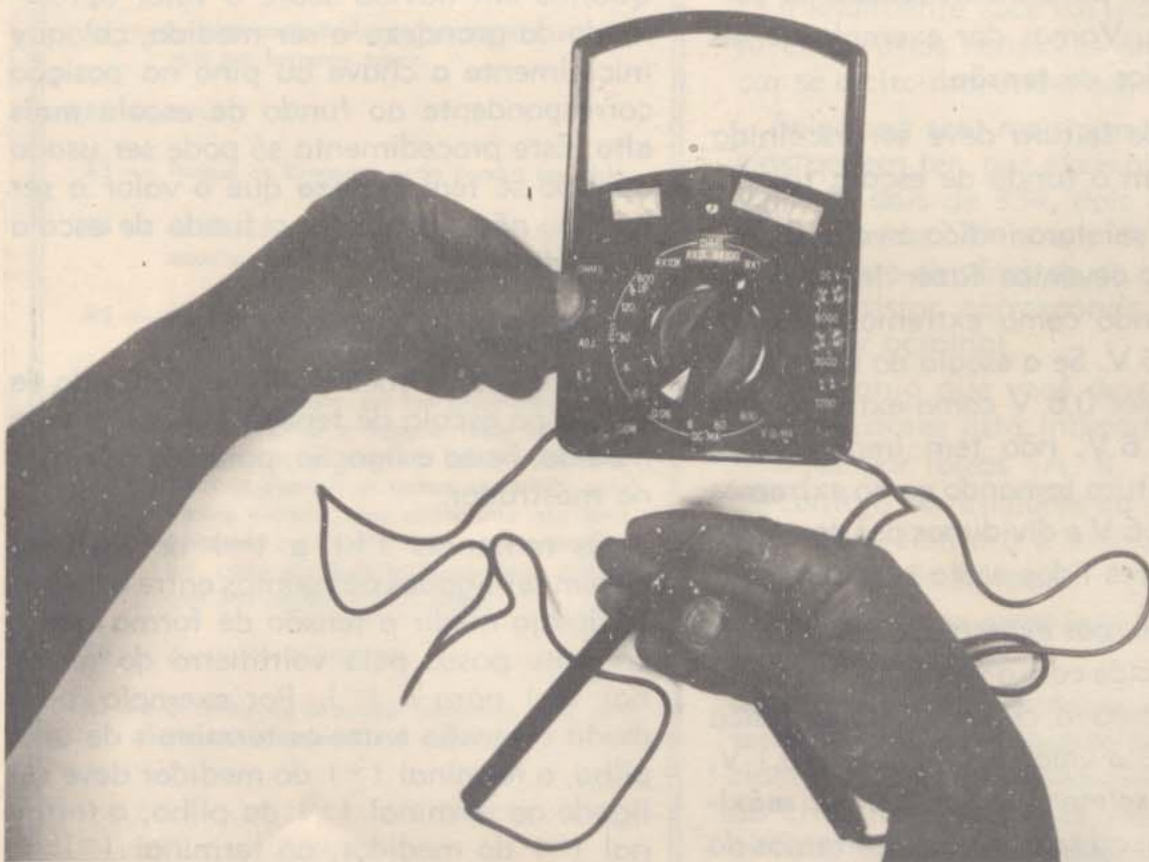


figura 11

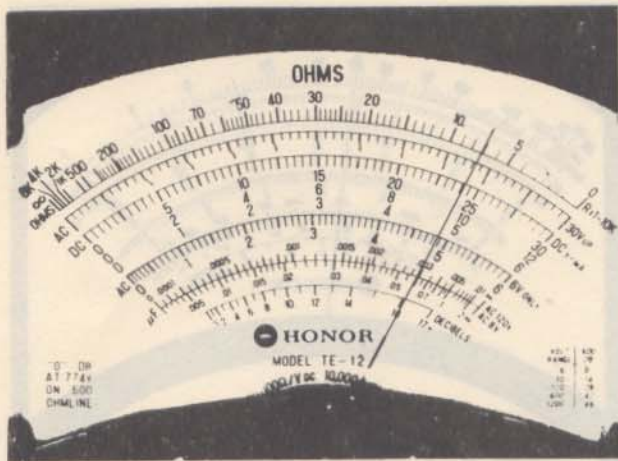


figura 9

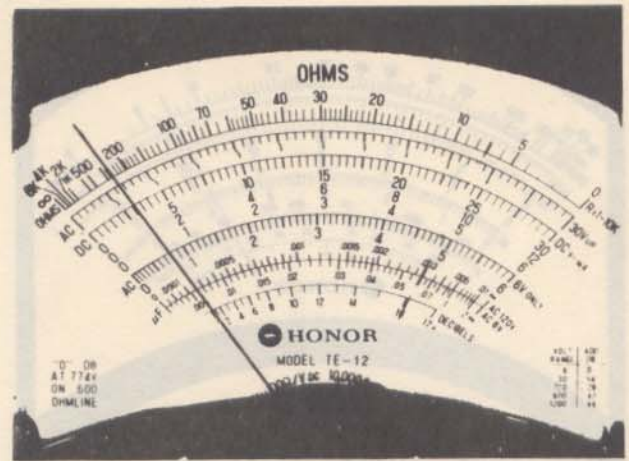


figura 10

5. Medidas de corrente elétrica

Para o caso de medirmos corrente contínua, a chave seletora ou os pinos devem indicar a posição DC A ou CC A.

A leitura da medida é feita na mesma escala em que se lê a tensão. A figura 8 ilustra a medida da corrente que passa em um circuito.

No caso da figura 8 a leitura da corrente é 40 mA (40 miliampères), pois a escala cujo extremo é 6 (que corresponde a 60 mA) deve ser multiplicada por 10, pois o fundo de escala fixado é de 60 mA.

Q12 — Que medidas de corrente estão indicando os medidores da figura 9 (fundo de escala 600 mA) e da figura 10 (fundo de escala 0,06 mA)?

R12 —

6. Medida de resistência elétrica

O ohmímetro é utilizado para efetuar medidas de resistência elétrica. A escala de resistência é a escala mais extrema e tem o seu zero do lado direito. Note que essa escala não é linear; por exemplo, a distância na escala entre 1Ω e 2Ω é muito diferente da distância entre 11Ω e 12Ω .

A medida de resistência é feita inserindo o resistor entre os terminais do instrumento. Ao medir um resistor em um cir-

cuito, este deve estar **desligado** da fonte de energia (pilha, tomada, etc.). Além disso, deve-se tomar cuidado para que outros elementos do circuito não interfiram com a medida.

Na medida da resistência é usada uma pilha que está dentro do multímetro. Para compensar o eventual enfraquecimento desta pilha é necessário **ajustar o zero** do aparelho. Para isso, coloca-se a chave ou os pinos na posição de medida de resistência e une-se as pontas livres dos fios vermelho e preto (figura 11). O ponteiro se deslocará e deverá atingir o zero da escala, indicando um valor nulo de resistência. Se não coincidir com o zero, ainda com as pontas dos fios unidas, gire o controle de ajuste, até fazer com que o ponteiro coincida com a posição zero. Isto deve ser feito para cada escala. Caso você tenha que passar da escala $R \times 1$ para a escala $R \times 100$, o ajuste deverá ser feito novamente.

A escolha da escala para medida de resistência é feita por tentativa, isto é, você iniciará as medidas com a escala mais alta ($R \times 10 K$). Se o ponteiro indicar um valor de resistência alto, próximo ao fundo da escala, do lado esquerdo, você deverá escolher uma escala mais baixa.

Na medida de resistência, a precisão é maior se a leitura for feita na região média da escala de leitura. Você deve saber

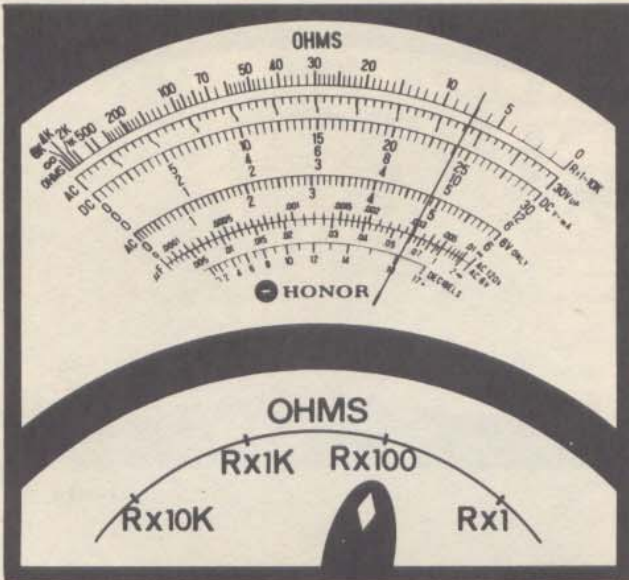


figura 12

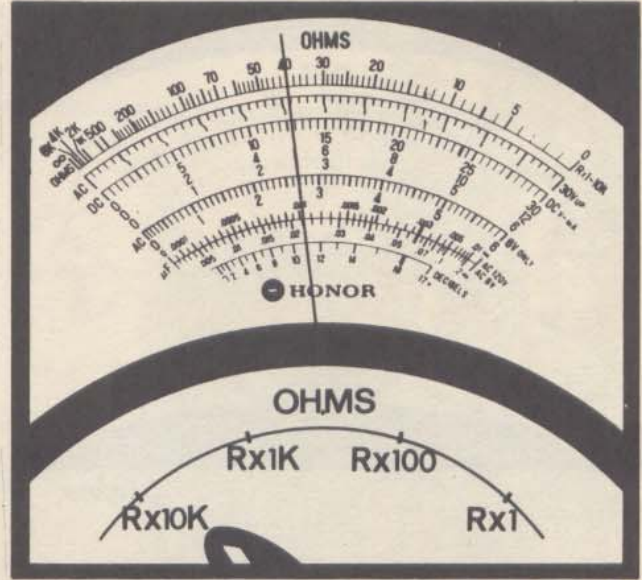


figura 13



figura 14

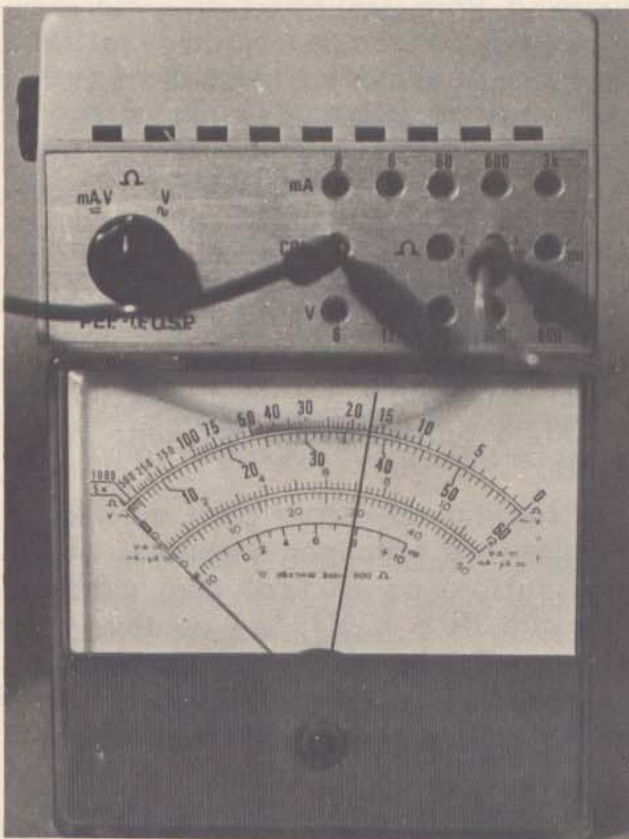


figura 15

também que ao medir resistências de pequeno valor (menor que 10Ω) nos instrumentos comuns, a pilha do instrumento fornece correntes altas (maior que 100 mA), que podem danificar o resistor e gastar a pilha rapidamente. Isto ocorre também no ajuste do zero, da menor escala, que deve ser feito com rapidez.

Q13 — Na figura 12 um multímetro indica leitura de resistência. Qual o valor indicado? Observe a posição da chave seletora.

R13 —

Q14 — Na figura 13 o multímetro indica medida de uma resistência. Qual o seu valor?

R14 —

Q15 — Quando a chave seletora indica $R \times 1 k$ ($1 k = 10^3$), o multímetro da figura 14 está medindo quantos ohms?

R15 —

Q16 — Qual o valor de resistência que está sendo medido pelo instru-



figura 16

mento da figura 15? Observe a posição dos pinos.

R16 —

7. Outros multímetros

Além dos multímetros em que a indicação de leitura é dada por um ponteiro que se move sobre uma escala, há outros em que isso é feito por processos diferentes (figuras 16 e 17).

O instrumento da figura 16 é eletrônico e digital. O resultado da medida é indicado diretamente pelos números que se acendem no mostrador.

O instrumento da figura 17 funciona por um processo de comparação.

Para a medida de tensão, seleciona-se a escala, gira-se o cursor até que o indicador mude de estado. Isto ocorre quando a tensão indicada no cursor coincide com a tensão aplicada. Para a medida de corrente e resistência usa-se processo análogo.

No multímetro da figura 17 o indicador é um conjunto de duas lâmpadas. Se a tensão indicada é maior que a aplicada, uma das lâmpadas está acesa e a outra apagada; no caso inverso a situação das lâmpadas também se inverte. A leitura é feita na posição do cursor que corresponde à inversão do estado das lâmpadas.

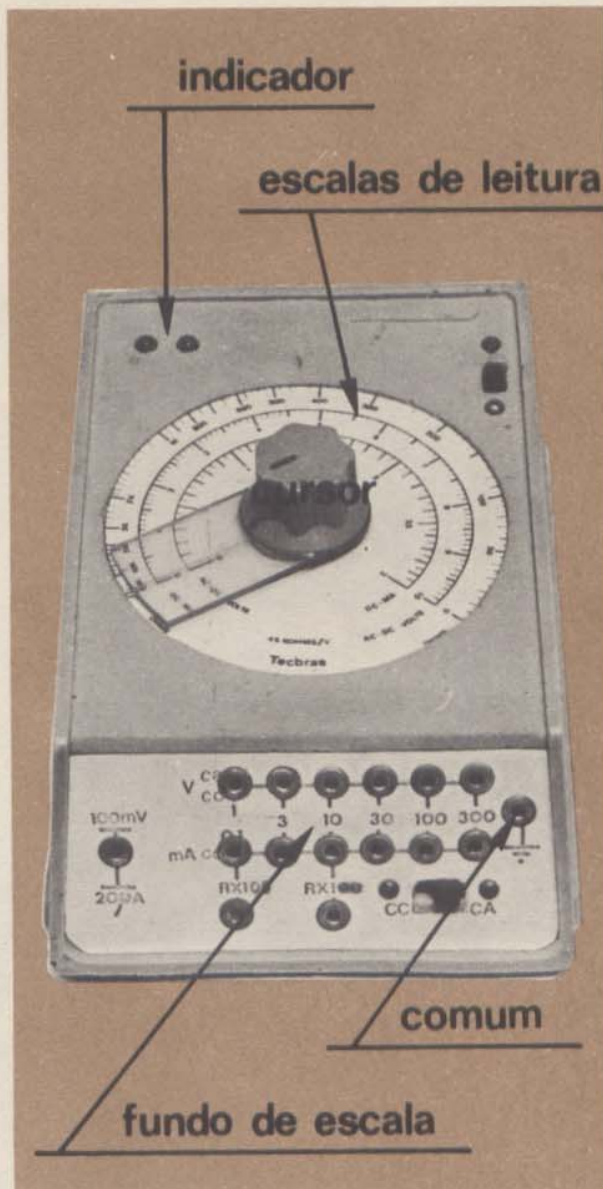


Figura 17

- R1 — Chave seletora, de orifícios ou outro tipo.
- R2 — Vide texto após a questão.
- R3 — 0,06mA, 6mA, 60mA e 600mA.
- R4 — 0,6V, 6V, 30V, 120V e 600V.
- R5 — Fio vermelho (+); fio preto (-).
- R6 — O fundo de escala apropriado é de 6V.
- R7 — Sim; 6mA.
- R8 — Em ambos os casos o fundo de escala é 60mA.
- R9 — Fio preto (comum); fio vermelho (6V).
- R10 — Fio preto (comum); fio vermelho (60mA).
- R11 — Figura 5 — 10V; figura 6 — 88V.
- R12 — Figura 9 — 480mA; figura 10 — 0,006mA.
- R13 — $(7 \times 100) = 700\Omega$.
- R14 — $40 \times 10K = 400K\Omega = 400\,000\Omega$.
- R15 — $28 \times 1K = 28K\Omega = 28\,000\Omega$.
- R16 — $(17 \times 10) = 170\Omega$.

Preço único em todo o Brasil: Cr\$ 90,00

Esta obra foi impressa pela
AGGS — Indústrias Gráficas S.A.
Rua Luis Câmara, 535 — Olaria — Rio de Janeiro — RJ
para a
FENAME — Fundação Nacional de Material Escolar
Rua Miguel Ângelo, 96 — Maria da Graça — Rio de Janeiro — RJ
República Federativa do Brasil