

Introdução a Circuitos de Corrente Contínua

Nesta prática vamos nos familiarizar com os componentes e instrumentos que serão utilizados durante o curso. Também faremos a verificação experimental da Lei de Ohm e discutiremos alguns casos em que ela não é obedecida. Para tal, faremos uso da placa de montagem, fonte de tensão, resistores, lâmpada incandescente, diodo e instrumentos de medida como voltímetro, amperímetro e ohmímetro.

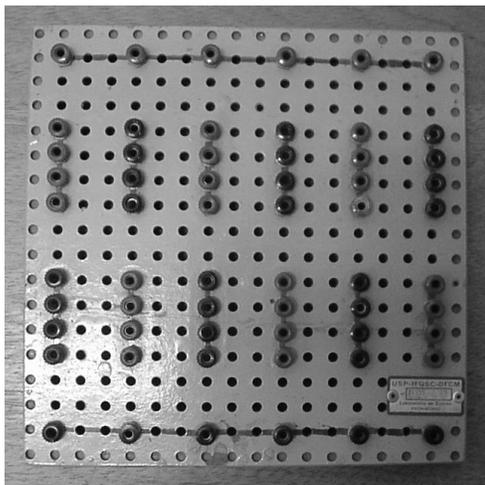
Quando for trocar a função de um multímetro, desconecte os fios, gire o botão e só então reconecte ao circuito. Lembre-se de que as entradas para medir voltagens e resistências são diferentes das entradas para medir corrente.

Sempre que surgir uma dúvida quanto à utilização de um instrumento ou componente, o aluno deverá consultar o professor para esclarecimentos.

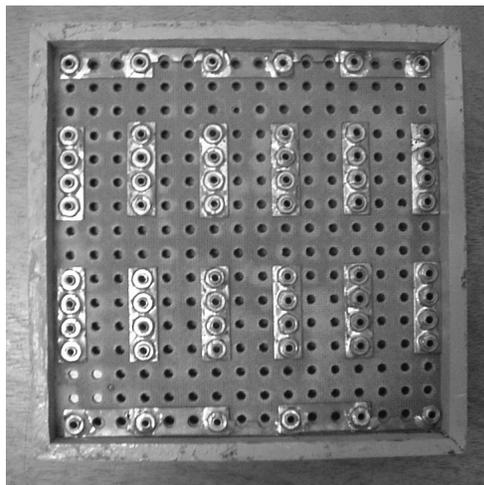
I. Componentes e Equipamentos

O material necessário para execução de cada prática estará disponível na bancada. A seguir discutiremos as características daqueles que são comuns a todas as práticas do curso. Instrumentos e materiais específicos de uma determinada prática serão descritos em detalhes durante a realização da mesma.

a) *Placa de Montagem*



Frente



Verso

Figura 1 – Placa de montagem de circuitos. O verso da placa mostra as conexões.

A principal função da placa de montagem é permitir a fixação e interligação dos componentes. Esta placa é constituída por conectores (conhecidos como conectores “bananas fêmeas”), que podem ou não estar interligados eletricamente entre si. Cada conjunto de 4 conectores lado a lado está conectado entre si, e os conectores isolados de cada lado da placa também são conectados. Para verificar a existência de tais conexões observe o lado oposto da placa. Recomenda-se que, sempre que se montar um circuito, conferir atentamente todas as ligações antes de conectá-lo a fonte de alimentação.

b) Fontes de Tensão Contínua

Na maioria dos experimentos serão utilizadas fontes de tensão contínua para a alimentação dos circuitos. Elas poderão ser pilhas convencionais (1,5 ou 9V) ou uma fonte especial, que transforma a tensão alternada da rede (110 ou 220V, 60Hz) em tensão contínua, que pode ser variada entre 0 e 30 V. Essas fontes possuem três conectores, [+], [-] e [terra]. O conector [terra] está ligado à carcaça do equipamento, e os demais [+] e [-] são usados para alimentar o circuito.



Figura 2 – Fonte de tensão DC.

A fonte que será utilizada é o modelo MPS-3003 da Minipa, mostrada na figura 2. Ela contém dois mostradores digitais, de corrente e de tensão. No lado esquerdo, dois cursores (um para ajuste grosso e outro para ajuste fino) permitem limitar a corrente máxima que a fonte pode fornecer. Do lado esquerdo, dois cursores controlam a tensão que a fonte fornece entre os conectores [+] e [-]. Para simplicidade da montagem (e conferência) recomenda-se que se usem fios vermelhos ligados ao terminal [+] e fios pretos ao terminal [-]. Para utilizar esse tipo de fonte recomenda-se o seguinte procedimento: i) com a fonte desligada zerar todos os cursores; ii) conectar os cabos para alimentação do circuito nas saídas da fonte (terminais [+] e [-]); iii) ligar a fonte;

iv) girar o cursor de ajuste de corrente (grosso) $\frac{1}{4}$ do curso máximo; v) ajustar a tensão desejada utilizando os cursores de ajuste de tensão.

c) *Multímetros*

São instrumentos de múltiplas funções e servem para medir grandezas elétricas como tensão, corrente e resistência. O multímetro apresenta, normalmente, quatro terminais de entrada e uma chave seletora de função, que o permite operar como voltímetro, amperímetro ou ohmímetro. Como voltímetro e amperímetro pode-se escolher ainda os modos de operação em regime de corrente contínua (DC) ou de corrente alternada (AC). A seleção de AC ou DC costuma ser feita em um botão deslizante, separado da chave seletora. No entanto, é possível que essas configurações variem de acordo com o fabricante do instrumento, sendo então muito importante consultar o manual do instrumento antes de usá-lo.

A figura 3 mostra um multímetro digital e um analógico dos modelos que serão utilizados no curso. O digital é um modelo ET-2060, e o analógico é um modelo ET-309, ambos da Minipa.

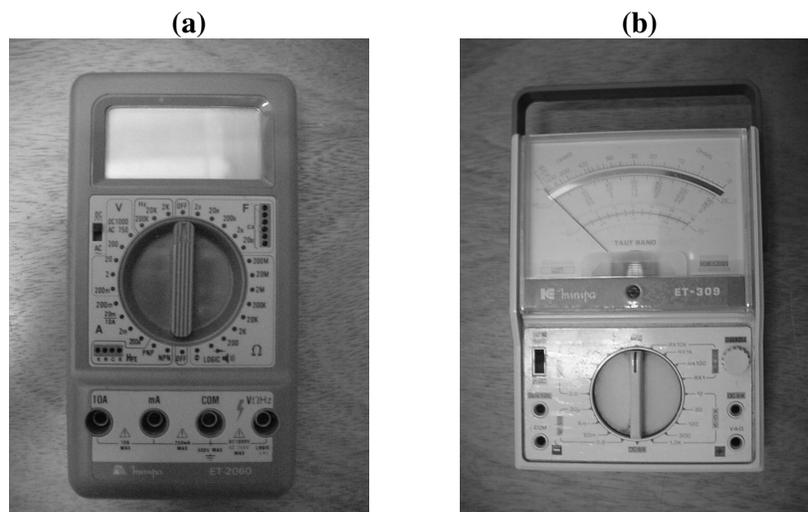


Figura 3 – (a) Multímetro digital. (b) Multímetro analógico

O procedimento mais seguro, quando se vai medir tensão ou corrente, é escolher uma escala de máxima tensão ou corrente, ligar o equipamento no circuito e só aí, se for possível, aumentar a sensibilidade, escolhendo escalas de mais baixa tensão ou corrente. O amperímetro deve ser conectado em serie com o ramo do circuito que se deseja medir

a corrente. **Nunca conecte um amperímetro em paralelo com qualquer fonte de tensão ou corrente.**

Quando usado como ohmímetro, **a medida não deve ser realizada com a fonte de tensão ligada.** Também não pode haver nenhum outro caminho entre os dois terminais do ohmímetro além daquele que se deseja medir a resistência. Deve-se cuidar para que os dedos não toquem os terminais durante a medida, pois a condução elétrica através da pele pode alterar a medida de resistências de valores altos ($\sim 100\text{ K}\Omega$).

O multímetro digital tem quatro entradas. Uma delas, chamada de COM, é uma entrada comum as todas as funções do instrumento, e, portanto, sempre é usada. Em circuitos de corrente contínua, ela é o pólo negativo dos voltímetros, amperímetros. Outra entrada é chamada de $V\Omega$, e é usada como pólo positivo quando o multímetro é operado como voltímetro. Por fim, temos duas entradas positivas para a operação como amperímetro, uma para medir correntes da ordem de mA e outra para correntes de até 10 A ou 20 A.

O multímetro analógico possui um controle chamado Ω ADJ, que serve para zerar a escala do ohmímetro. Antes de qualquer medida de resistência, é preciso ligar os dois terminais em curto e girar o controle de ajuste até posicionar o ponteiro na posição zero da escala (que corresponde à deflexão máxima).

As figuras 4, 5 e 6 mostram exemplos de voltímetros, amperímetros e ohmímetros conectados de modo correto ou incorreto nos circuitos :

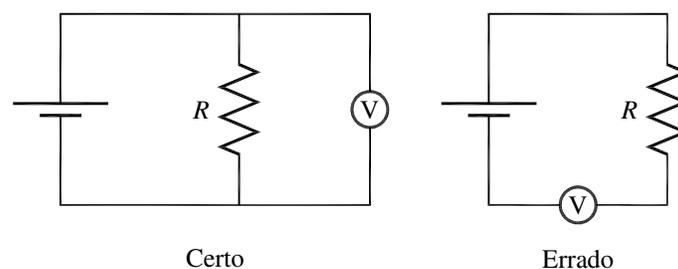


Figura 4 –Exemplos de um voltímetro conectado corretamente e incorretamente em um circuito.

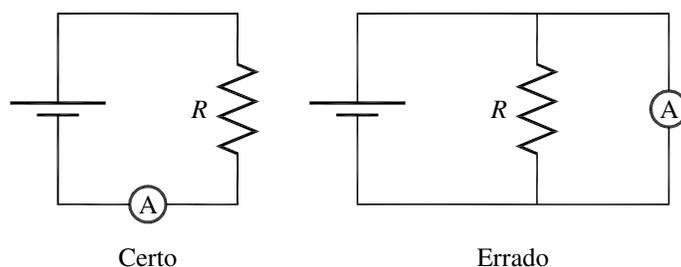


Figura 5 –Exemplos de um amperímetro conectado corretamente e incorretamente em um circuito.

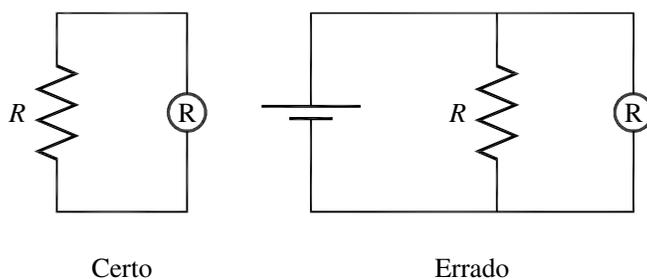


Figura 6 –Exemplos de um ohmímetro conectado corretamente e incorretamente em um circuito.

d) Resistores

De maneira geral, podemos dizer que um resistor é um elemento de circuito elétrico que produz uma oposição à passagem da corrente elétrica. Os resistores ôhmicos são aqueles cuja resistência elétrica independe da diferença de potencial aplicada entre os terminais. Existem resistores ôhmicos comerciais com diversos valores e poder de dissipação. A figura 7 mostra três modelos de resistores, cuja principal diferença está na potência que eles podem dissipar. As especificações disponibilizadas pelos fabricantes para essas características são usualmente denominados valores nominais.



Figura 7 – Exemplo de três modelos de resistores. Em ordem, da esquerda para a direita, quanto à potência que podem dissipar.

O valor nominal de alguns resistores comerciais é marcado com barras coloridas, de acordo com um código ilustrado na tabela 1. A leitura é feita tomando-se o componente de forma que a faixa mais próxima de um de seus terminais fique à sua esquerda (essa é a primeira faixa). A figura 8 mostra a ordem das faixas, e a tabela 1 mostra o código de cores.

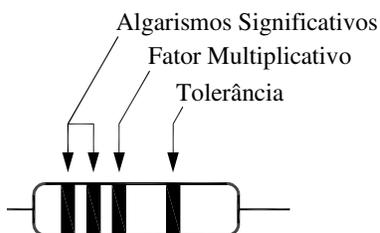


Figura 8 – Código para leitura do valor nominal da resistência de um resistor.

As duas primeiras faixas representam os dois algarismos significativos do valor da resistência. A terceira faixa dá o fator multiplicativo, em potência de dez. Por exemplo, se as duas primeiras faixas forem, respectivamente, vermelho (2) e violeta (7), lê-se 27. Se a terceira faixa for amarela (4), o fator multiplicativo é 10^4 . Multiplica-se, então, 27 por 10000 e obtém-se o valor nominal da resistência de 270000 Ω , ou 270 k Ω . A quarta faixa corresponde à precisão com que o fabricante garante o valor nominal, chamada tolerância. Outra indicação é o tamanho físico do resistor, que, para resistores fabricados utilizando o mesmo processo e material, determina a máxima potência que ele pode dissipar sem alterar suas características. No curso usualmente utilizaremos resistores capazes de dissipar potências de 1/8, 1/4, 1/2, 1 e 5 W (Watt).

Tabela 1 – Código de cores de resistores.

Cor	1º Faixa	2º Faixa	3º Faixa	4º Faixa
Preto	-	0	x1	-
Marrom	1	1	x10	1%
Vermelho	2	2	x10 ²	2%
Laranja	3	3	x10 ³	-
Amarelo	4	4	x10 ⁴	-
Verde	5	5	x10 ⁵	-
Azul	6	6	x10 ⁶	-
Violeta	7	7	-	-
Cinza	8	8	-	-
Branco	9	9	-	-
Ouro	-	-	-	5%
Prata	-	-	-	10%

e) Reostatos e Potenciômetros

Reostatos ou potenciômetros são resistores cujo valor da resistência pode ser ajustado externamente. Um potenciômetro típico está mostrado na figura 9, assim como o seu símbolo elétrico. Eles apresentam três terminais, sendo que dois deles estão ligados às extremidades de um resistor fixo. O terceiro terminal pode deslizar ao longo do resistor fixo. A resistência entre esse terminal e qualquer um dos outros dois é determinada pela posição do conector móvel, que pode ser alterada girando (ou transladando em alguns tipos de potenciômetros) um cursor. O valor indicado no potenciômetro corresponde à resistência entre os terminais fixos, que também é a maior resistência que pode ser ajustada entre um terminal fixo e um móvel.

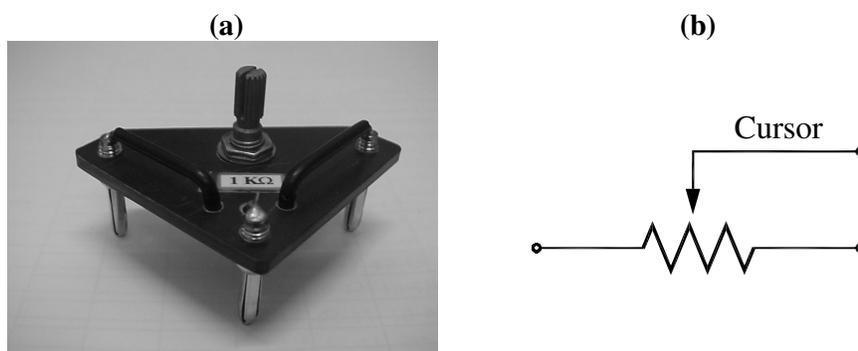


Figura 9 – (a) Exemplo de potenciômetro. (b) Símbolo elétrico do potenciômetro.

f) Diodos

O diodo é um elemento de circuito que só deixa passar corrente em um único sentido.. O diodo que será usado no laboratório tem um dos seus terminais marcado com uma faixa branca; esse terminal é o cátodo. A corrente só pode fluir do ânodo para o cátodo.

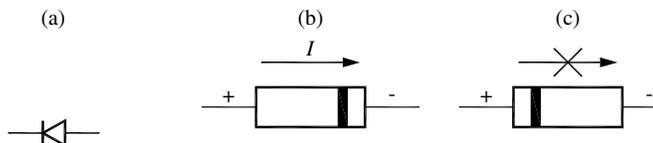


Figura 10 – (a) Fotografia e símbolo elétrico de um diodo semicondutor. (b) Diodo polarizado diretamente, conduzindo corrente. (c) Diodo polarizado reversamente; nesse caso, a corrente não pode fluir.

Quando o potencial no cátodo é mais baixo que o do ânodo, é dito que o diodo está polarizado *diretamente*, e pode conduzir. Caso contrário, o diodo está polarizado *reversamente*. Em uma abordagem mais precisa, a relação entre tensão e corrente em um diodo é dada por:

$$I = I_o \cdot (e^{V/V_o} - 1) \quad (2)$$

O parâmetro I_o é usualmente da ordem de nA. V_0 é a tensão que determina o limiar de condução, ou seja, a tensão mínima para que os portadores de carga superem uma barreira de potencial intrínseca do material que constitui o diodo e estabeleçam a corrente. Para o silício essa barreira é de aproximadamente 0,7 V enquanto que para o germânio ela é de 0,3 V. Nas situações de interesse, a corrente é muito maior que I_o , o que significa que a exponencial do segundo membro é muito maior do que a unidade. Assim, podemos simplificar a equação anterior para:

$$I = I_o \cdot e^{V/V_o} \quad (3)$$

II. Resistores e Correntes Elétricas

Uma das conseqüências básicas das leis da eletrostática é que o valor do potencial elétrico é o mesmo em todos os pontos de um condutor. Em outras palavras, não há diferença de potencial entre dois pontos quaisquer de um metal. Isto é característico da situação de equilíbrio em que as cargas se encontram. Entretanto, na presença de um campo elétrico surge uma força sobre essas cargas, colocando-as em movimento. Uma análise preliminar nos leva a imaginar que, sob a influência desta força, a velocidade das cargas aumente indefinidamente. Na verdade, isso não ocorre, pois os íons que compõem o material impõem resistência ao movimento ordenado dessas cargas, o que é caracterizado macroscopicamente pela resistência elétrica do material, R .

Existe um modelo simples, denominado *modelo de Drude*, que permite relacionar grandezas macroscópicas, como corrente elétrica, tensão e resistência, com propriedades microscópicas, como velocidade de migração das cargas, densidade

específica dos átomos, etc. Esse modelo será discutido em detalhes em outra oportunidade. Uma consequência direta da aplicação do modelo é a relação entre a corrente elétrica que atravessa certo material, sua resistência elétrica e a tensão aplicada, que é dada por:

$$V = RI \quad (1)$$

Essa expressão é a conhecida forma macroscópica da lei de Ohm, e será verificada experimentalmente nesta prática. No caso de resistores ôhmicos o valor da resistência R é independente de V e de I . No entanto, como veremos nos experimentos a seguir, existem muitos tipos de resistores que não obedecem à lei de Ohm; são os chamados resistores não ôhmicos.

Experimentos

1. Medidas com ohmímetro

a) Sobre sua bancada existem 8 resistores de valores distintos. Anote as cores e use o código para determinar o valor nominal dessas resistências. Note que alguns resistores são identificados pelo valor da resistência já impressa no resistor. No entanto, devido a dificuldade que alguns fabricantes possuem em imprimir a letra Ω , convencionou-se a utilização da letra R, K, M para indicar Ohms, kiloOhms e MegaOhms, respectivamente. Assim, resistores onde estão impresso 10R, 47K, 47M tem valores de resistência 10Ω , $47k\Omega$, $47M\Omega$. No caso de valores não inteiros a letra substitui a vírgula, ou seja, resistores onde estão impressos 4R7, 4K7, e 4M7, correspondem a resistências de $4,7\Omega$, $4,7k\Omega$ e $4,7M\Omega$.

b) Fixe os resistores na placa de circuitos e meça os valores das resistências com o ohmímetro. Compare os valores obtidos e verifique se a medida está dentro do intervalo de tolerância fornecido pelo fabricante.

c) Pegue o potenciômetro e fixe-o na placa, com o ohmímetro ligado entre o terminal móvel e um terminal fixo. Gire o cursor do potenciômetro totalmente para um lado e meça a resistência. Gire totalmente para o outro lado e meça a resistência novamente. Esses são os valores extremos de resistência que podem ser obtidos. Gire o cursor para uma posição arbitrária e meça a resistência. Como varia a resistência à medida que o botão é girado?

Resultados das medidas de resistência utilizando um Ohmímetro.

Valor nominal	Tolerância	Leitura do Ohmímetro analógico	Desvio	Leitura do Ohmímetro digital	Desvio

Resultados das medidas das características de um potenciômetro.

Valor Nominal	Resistência máxima	Resistência mínima	Cursor na posição arbitrária

2. Medidas com voltímetro

a) Ajuste o voltímetro digital para uma escala superior a 30 V. Conecte-o à fonte de tensão variável e meça os valores para diversas posições do botão de tensão. Verifique se o valor indicado pelo mostrador da fonte de tensão confere com o valor lido no voltímetro. Repita o procedimento para o voltímetro analógico.

Resultados das medidas de tensão.

Leitura da fonte	Leitura do voltímetro digital	Leitura do voltímetro analógico
	Escala de Medida:	Escala de Medida:

3. Curva tensão versus corrente (VxI) de um resistor

Os componentes eletrônicos são geralmente caracterizados por suas curva VxI. Para obter a curva VxI de um componente, devemos montar um circuito como o da figura 11. Um amperímetro ligado em série com o componente, mede a corrente que o atravessa, e um voltímetro ligado em paralelo com o componente mede a tensão em seus terminais. Assim é possível se obter uma curva que relaciona a tensão e a corrente a que está submetido o componente a ser caracterizado.

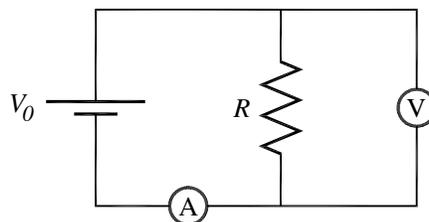


Figura 11 – Circuito utilizado na obtenção da curva VxI de um resistor

a) Monte o circuito da figura 7 com $R = 1 \text{ k}\Omega$. Use o voltímetro na escala de 20 V e o amperímetro na escala de 20 mA.

b) Varie a tensão da fonte no intervalo de 0 V a 10 V para obter diversos valores de corrente e tensão, e plote os pontos em um gráfico. A partir do gráfico, determine a resistência e compare com o valor medido com o ohmímetro.

Obs: antes de ligar a fonte, coloque o cursor de limitação de corrente em meio curso e o cursor de tensão em zero. Ligue a fonte somente quando todo o circuito estiver conectado, e então aumente gradativamente a tensão.

Resultados das medidas de tensão e corrente para obtenção da curva $V \times I$ de um resistor.

Corrente	Tensão	Corrente	Tensão

4. Curva $V \times I$ de uma lâmpada incandescente

a) Monte o circuito da figura 12, onde L representa uma lâmpada incandescente. Siga o mesmo procedimento anterior. Os pontos que você deve coletar devem cobrir toda a faixa de 0 a 10 V. Não aplique mais de 10 V sobre a lâmpada, pois isso pode queimá-la. Faça o gráfico de $V \times I$, e discuta o resultado obtido. A lâmpada é um dispositivo ôhmico? Discuta o formato do gráfico.

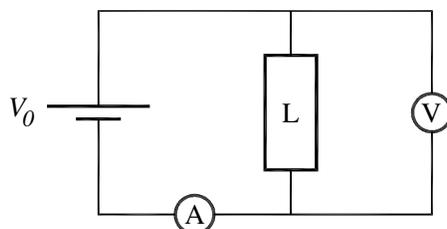


Figura 12 – Circuito para traçar uma curva $V \times I$ de uma lâmpada.

Discuta o comportamento da curva obtida, evidenciado a diferença entre a situação de baixa e alta corrente. Faça um gráfico em escala di-logaritmica e descubra a função que relaciona a tensão e corrente na lâmpada. Justifique fisicamente o porquê da escolha do tipo de função. Por que o comportamento observado acontece com as lâmpadas, e não acontece com os resistores que trabalham dentro do limite de potência especificado pelo fabricante?

Resultados das medidas de tensão e corrente para obtenção da curva $V \times I$ de uma Lâmpada.

Corrente	Tensão	Corrente	Tensão

5. Curva $I \times V$ de um diodo

a) Monte o circuito como o da figura 13, usando $R = 100 \Omega$. Esse resistor serve para limitar a corrente que passa pelo circuito. Preste atenção na polaridade do diodo; a marca na figura indica a marca branca que existe no diodo. Varie a tensão da fonte no intervalo de 0 V a 10 V, e meça a corrente e a tensão sobre o diodo. Lembre-se que, devido à presença do resistor, a tensão da fonte não é igual à tensão sobre o diodo. Faça de 10 a 15 medidas.

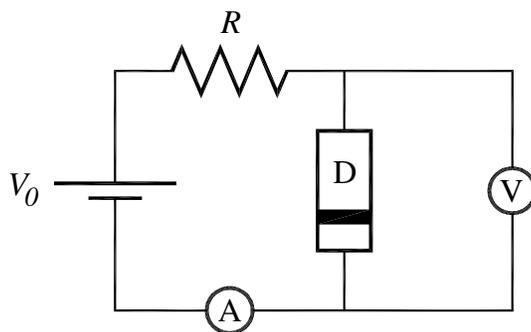


Figura 13 – Circuito para traçar uma curva $V \times I$ de um diodo (polarizado diretamente). A faixa escura representa a marca branca presente no diodo.

b) Nessa análise, é mais usual se fazer um gráfico de $I \times V$, colocando a corrente no eixo vertical e a tensão no eixo horizontal. Faça um gráfico em papel monolog e discuta o resultado obtido, buscando determinar os parâmetros que caracterizam o diodo (I_o e V_o).

c) Inverta o diodo de modo que ele fique polarizado reversamente e faça mais 5 medidas variando a tensão da fonte de 0 V a 10 V. Plote esses pontos em papel milimetrado. Esse resultado é consistente com a equação (2)? Explique o resultado obtido.

Resultados das medidas de tensão e corrente para obtenção da curva $I \times V$ de um diodo polarizado diretamente.

Corrente	Tensão	Corrente	Tensão
$I_o =$		$V_o =$	

Resultados das medidas de tensão e corrente para obtenção da curva $I \times V$ de um diodo polarizado reversamente.

Corrente	Tensão	Corrente	Tensão

6. Efeito da resistência interna de um voltímetro na medida de tensão.

a) No circuito da figura está mostrado um circuito denominado divisor de tensão. Justifique esse nome e explique o funcionamento do mesmo utilizando as equações adequadas em seu relatório. Monte o divisor de tensão mostrado na figura 14 utilizando $R = 1 \text{ k}\Omega$. Calcule a tensão esperada entre os terminais A e B, para uma tensão de alimentação de 1 V.

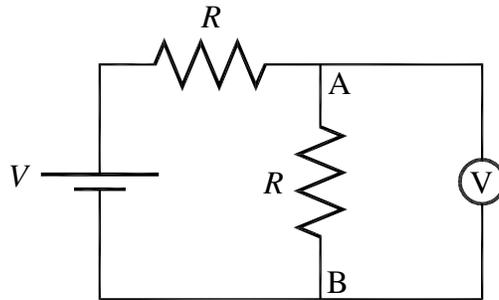


Figura 14 – Circuito divisor de tensão utilizado para observar o efeito da resistência interna do voltímetro nas medidas de tensão

b) Verifique o valor da resistência interna nominal do voltímetro analógico nas escalas de 0,6 e 15 V (valor indicado como $\text{k}\Omega/\text{V}$ impresso no voltímetro). Meça também a resistência interna nas escalas 0,6 e 15 V utilizando o multímetro digital e compare com os valores nominais.

c) Ajuste a saída da fonte para 1 V. Meça a tensão entre os pontos A e B usando o voltímetro analógico nas escalas de 0,6 e 15 V, e o voltímetro digital.

d) Para o mesmo circuito da figura 14, calcule a tensão esperada entre os terminais A e B se $R = 100 \text{ k}\Omega$. Repita as medidas do item c usando $R = 100 \text{ k}\Omega$. Compare as medidas realizadas com os dois valores de R e justifique as diferenças observadas.

e) Utilizando as informações das tabelas abaixo, faça uma análise qualitativa dos resultados obtidos, justificando os comportamentos observado.

Resistência interna do voltímetro, escala de 0,6 V: _____

Resistência interna do voltímetro, escala de 15 V: _____

Resultados das medidas de tensão do circuito da figura 14 com $R = 1\text{ k}\Omega$.

Escala do voltímetro analógico	Leitura direta com voltímetro analógico	Leitura com voltímetro digital
0,6 V		
15 V		

Resultados das medidas de tensão do circuito da figura 14 com $R = 1\text{ k}\Omega$.

Escala do voltímetro analógico	Leitura direta com voltímetro analógico	Leitura com voltímetro digital
0,6 V		
15 V		

Apêndice – Valores dos resistores comerciais

Os resistores comerciais são disponíveis em valores que a princípio parecem estranhos. Porque 4,7 e não 5? Por que 2,2 e não 2? Porque não usar uma seqüência com números inteiros (como é comum em outras áreas) em vez da seqüência 1, 1.2, 1.5, 1.8, 2.2, 2.7, 3.3, 3.9, 4.7, 5.6, 6.8, 8.2, 10?

A resposta está nos dois objetivos que foram estabelecidos na hora de determinar os valores dos resistores comerciais: que a quantidade de valores disponíveis seja a maior possível, e que um resistor de valor nominal maior tenha necessariamente um valor real também maior.

O primeiro objetivo serve para facilitar o trabalho dos projetistas de circuito. O segundo objetivo garante que, quando se substitui um resistor por outro de maior resistência, haja realmente um aumento de resistência, o que pode parecer óbvio mas não é, devido a tolerância. Por exemplo, um resistor de 50 Ω e tolerância 10% pode ter resistência de 53 Ω , enquanto um resistor de 55 Ω e tolerância 10% pode ter resistência de 52 Ω . Assim, o projetista que troca o de 50 Ω pelo de 55 Ω acha que aumentou a resistência, mas na verdade fez o oposto.

Normalmente os resistores comerciais têm tolerância de 10%, mas também existem tolerâncias de 5% e até 1%. Foi baseado na tolerância de 10% que a escala foi criada. Essa escala começa em 1, e o valor seguinte é o mais baixo tal que as barras de erro não se sobrepõem. Como as barras de erro são expressas em porcentagens, a escala que resulta desse processo é logarítmica. O intervalo de 1 a 10 fica dividido em 12 partes, de uma forma muito parecida com a escala musical ocidental (com uma diferença: na escala musical, uma oitava é dividida em 12 tons, enquanto na escala de resistores uma década é dividida em 12 intervalos). Os valores dos resistores são dados por $10^{i/12}$, com i variando de 0 a 12. Por questão de conveniência, foram arredondados para a primeira casa decimal, originando a escala 1, 1.2, 1.5, 1.8, 2.2, 2.7, 3.3, 3.9, 4.7, 5.6, 6.8, 8.2, 10.

A figura 15 mostra os valores dos resistores. Repare que, por causa do eixo vertical logarítmico, todas as barras de erro têm o mesmo comprimento e os valores são igualmente espaçados. O limite superior de uma resistência é igual ao limite inferior

para a resistência seguinte; isso garante ao mesmo tempo que não haja sobreposição de valores e que a diversidade de valores seja a maior possível.

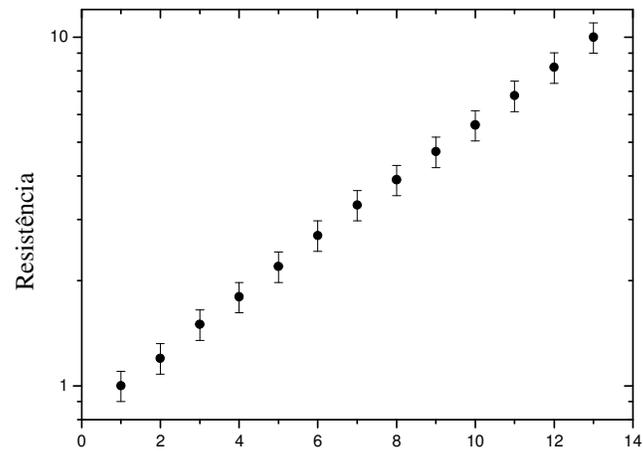


Figura 15 – valores dos resistores disponíveis comercialmente (com tolerância de 10 %)