



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

Instituto de Física

Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física

Mestrado Profissional em Ensino de Física

Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física



MNPEF

**UMA ELETRODINÂMICA PARA A ERA DIGITAL: A FÍSICA DOS SEMICONDUTORES
E A REVOLUÇÃO DO USO DE LEDS NA ILUMINAÇÃO**

(MATERIAL DO PROFESSOR)

José Miranda da Rocha

Deise Miranda Vianna

Sidnei Percia da Penha

Material instrucional associado à dissertação de Mestrado de José Miranda da Rocha, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2019

Sumário

1	Introdução.....	1
2	Orientações para as atividades didáticas	2
2.1	Atividade 1	2
2.2	Atividade 2	3
2.3	Atividade 3	4
2.4	Atividade 4	6
2.5	Atividade 5	8
2.6	Atividade 6	9
2.7	Atividade 7	10
2.8	Atividade 8	11
2.9	Atividade 9	13
2.10	Atividade 10	14
2.11	Atividade 11	15
2.12	Usando tablets e smartphones como luxímetro	16
2.13	Roteiro para construção de uma fonte de tensão variável que gere até 3V ...	17

1. Introdução

Este material é voltado aos professores que desejarem usar a nossa sequência didática sobre o funcionamento do LED. Nele, apresentaremos algumas características de nossa sequência didática, bem como sugestões de como aplicá-la. O material do aluno foi planejado de forma que o estudante sempre possa desenvolver alguma ação que o faça pensar sobre o conteúdo da aula, seja por meio da leitura de um texto, debates ou experimentos. No desenvolvimento do trabalho, utilizamos os referenciais teóricos de Ensino por Investigação, Alfabetização Científica e o enfoque CTS (Ciência Tecnologia e Sociedade).

O Ensino por Investigação requer que os estudantes tenham uma participação ativa na aula. Para isso, devem ser desafiados por um problema que os engajem no tópico estudado. No material do aluno, as atividades propostas visam a interação entre os estudantes e o professor de modo que eles possam levantar suas hipóteses, discuti-las e testa-las, transformando-se nos principais agentes no processo de construção do conhecimento. Para favorecer o diálogo entre os estudantes durante as atividades, recomendamos que a turma seja separada em grupos de alunos antes de iniciar nossas aulas.

As atividades descritas neste manual estão presentes no material do aluno, além dos textos de apoio para o estudo da Física dos semicondutores e do funcionamento do LED, todos numa linguagem adequada aos estudantes do ensino médio. Recomendamos que a leitura deste manual seja feita paralelamente ao Material do Aluno para que se possa entender melhor nossa proposta didática.

Como já aplicamos este material em seis aulas, durante um curso regular de Física, apresentamos os esquemas no quadro 1 com os tópicos abordados, as atividades desenvolvidas em cada aula e os pré-requisitos necessários para o desenvolvimento de cada aula.

Quadro 1 - Sugestão para a divisão das aulas da sequência didática.

Aula	Tópicos abordados	Atividades desenvolvidas	Pré – requisitos	Duração
1	Importância da luz para a vida humana As diferentes formas de produção de luz	Atividade 1 Atividade 2	Não há	50 min

	A proibição da venda das lâmpadas incandescentes.			
2	Características elétricas de uma lâmpada. Funcionamento da lâmpada incandescente. Montagem de um circuito elétrico. Apresentação do LED como um dispositivo bipolar	Atividade 3 Atividade 4	Voltagem Potência elétrica	50 min
3	Conceito de semicondutor Estrutura cristalina Dopagem	Atividade 5. Atividade 6.	Coeficiente de resistividade. Regra do octeto. Ligações químicas.	50 min
4	Diodo	Atividade 7 Atividade 8	Funcionamento do voltímetro e do amperímetro.	50 min
5	Funcionamento do LED e das lâmpadas LED	Atividade 9	Átomo de Bohr	50 min
6	Fluxo radiante Fluxo luminoso Iluminância Eficiência luminosa	Atividade 10 Atividade 11	Funcionamento do voltímetro e amperímetro.	100 min

Fonte: Autoria própria.

A seguir, apresentaremos orientações para a aplicação de cada uma das atividades presentes no material do aluno (Apêndice A).

2. Orientações aos professores para as atividades didáticas

2.1 Atividade 1

A primeira atividade tem o objetivo de discutir aspectos importantes relacionados à iluminação e à vida humana. Para iniciar a aula, sugerimos que seja feita a leitura do texto “A Criação” da Luz”, presente no apêndice A. No mesmo material, há uma foto

tirada por satélites da NASA, que mostra pontos de luz em diversos locais do globo terrestre no período noturno. Para iniciar a discussão sobre a importância da iluminação para a sociedade, sugerimos que o professor peça aos alunos que respondam sobre as seguintes questões:

Quais possíveis motivos para a diferença de luminosidade nas diferentes regiões na imagem do planisfério terrestre no período noturno?

Quais os principais aspectos de sua vida pessoal seriam modificados caso vivesse em uma região sem acesso à iluminação noturna?

Recomendamos que essa aula seja feita de maneira interdisciplinar com um professor de Geografia para que se possa aprofundar a discussão sobre as causas da diferença de iluminação em diferentes regiões do nosso planeta. Como vimos, a primeira atividade é dividida em duas perguntas: na primeira, busca-se discutir aspectos socioeconômicos relacionados à distribuição da iluminação nas diferentes regiões do globo terrestre; e, na segunda pergunta, os estudantes são estimulados a refletir sobre os aspectos de suas vidas que mudariam caso não tivessem acesso à iluminação noturna. Sugerimos que, inicialmente, seja dado um tempo para que os grupos possam elaborar suas respostas e discuti-las entre os integrantes do grupo e, depois, possam apresentá-las e discuti-las com os colegas e os professores.

2.2 Atividade 2

A segunda atividade é iniciada com a leitura dos textos “Do fogo às lâmpadas LED”, “Lâmpadas incandescentes saem do mercado a partir de julho de 2016” e “A relação entre a iluminação pública e a criminalidade”, todos presentes no apêndice A. A partir destas leituras, os grupos devem apresentar os principais aspectos presentes em cada texto.

O primeiro texto aborda algumas formas de iluminação artificial produzida pelo homem, apontando as principais dificuldades e motivações que o levaram a buscar fontes de luz cada vez mais duráveis e eficientes desde o fogo até a criação das lâmpadas LED. O segundo texto aborda os motivos que levaram à proibição da venda de lâmpadas incandescentes no Brasil e em diversos países do mundo. Já o terceiro texto é um fragmento de um artigo e discute a relação entre a iluminação pública e a criminalidade.

Sugerimos que a segunda atividade, assim como a primeira, seja dividida em dois momentos: no primeiro, os alunos devem ter um tempo para discutir as ideias presentes em cada texto entre os membros do grupo; e, num segundo momento, apresentem as suas respostas para a turma. Neste tipo de atividade, é importante que o professor estimule os alunos a participar da aula, se preciso indagando-os e dando subsídios para que possam continuar a discussão. Caso algum grupo não consiga apresentar suas ideias sobre um texto específico, sugerimos que o professor busque estabelecer uma interação dialógica com os membros do grupo de forma a elaborar questionamentos que ajudem os estudantes a identificar a temática central que está sendo abordada. Por exemplo, no caso do texto “Lâmpadas incandescentes saem do mercado a partir de julho de 2016”, o professor poderia elaborar questões como: “ Qual é o principal assunto abordado no texto? ”, “ Qual foi o motivo que levou à proibição da venda de lâmpadas incandescentes? ”.

Nessa atividade, sugerimos discussões de alguns tópicos a partir da leitura dos textos:

- As diferentes formas de iluminação artificial produzida pelo homem desde o fogo até a as lâmpadas LED;
- Os motivos para o fim da comercialização da lâmpada incandescente e as opções de lâmpada para substituí-la;
- A relação entre segurança pública e a iluminação noturna.

As duas primeiras atividades, busca-se trabalhar as relações entre a Ciência, Tecnologia e Sociedade ao abordar tópicos importantes para a vida cidadã.

2.3 Atividade 3

Na terceira atividade, os estudantes devem identificar alguns tipos de lâmpadas e o valor da tensão elétrica e da potência nominal de cada uma delas, quando possível. Estas informações, na maioria das vezes, estão impressas no próprio equipamento ou na sua embalagem.

Para esta atividade precisaremos dos seguintes materiais, por grupo: uma lâmpada fluorescente, uma lâmpada LED, uma lâmpada incandescente, uma lâmpada incandescente pingo d’água e um LED, como ilustrado na figura 1.



Figura 1 - Materiais necessários para a terceira atividade: (a) lâmpada fluorescente, (b) lâmpada LED, (c) lâmpada incandescente, (d) LED, (e) lâmpada incandescente pingo d'água.

Fonte: Autoria própria.

Recomenda-se que, inicialmente, o professor dê aos estudantes os materiais necessários para a atividade. Ao entregá-los, o docente deve pedir que identifiquem o tipo de lâmpada, a voltagem de funcionamento e a potência dissipada em funcionamento normal, quando possível.

Para as lâmpadas incandescentes, fluorescentes e LED, o valor da potência e tensão nominal está presente na embalagem das mesmas. Na rosca da lâmpada incandescente pingo d'água, está impresso o valor da tensão nominal e da corrente elétrica quando submetida a esta voltagem. Com esses valores, é possível calcular sua potência elétrica nominal. No caso do LED, o professor pode apresentar estas informações aos estudantes, as quais podem ser encontradas no datasheet do LED. A tabela 1 ilustra algumas características ópticas e elétricas de um LED vermelho de alto brilho. Nela, podemos identificar dados como o valor do comprimento de onda predominantemente emitido, os valores de tensão elétrica típica e máxima para o funcionamento do LED e o valor de sua corrente elétrica.

Tabela 1 - Algumas informações presentes no datasheet do LED vermelho.

Características elétricas e óticas a 20 °C				
Parâmetro	Valor típico	Valor máximo	Unidade	Condições de teste
Voltagem	1,85	2,5	V	i = 20 mA
Comprimento de onda predominante	640		nm	i=20 mA
Largura do espectro luminoso emitido	20		nm	i=20 mA

Fonte: Adafruit (2018)

Após a terceira atividade, sugere-se que seja explicado o funcionamento de uma lâmpada incandescente, cujo texto de apoio encontra-se no material do aluno.

2.4 Atividade 4

Na quarta atividade, os estudantes devem montar um circuito elétrico: primeiramente, para acender uma lâmpada incandescente pingo d'água; e, posteriormente, um LED. Nesta atividade, temos por objetivo que os alunos aprendam a montar um circuito elétrico para acender uma lâmpada e identifiquem que o LED e a lâmpada incandescente emitem luz por processos diferentes.

Para o desenvolvimento da quarta atividade, precisamos dos seguintes materiais por grupo: duas pilhas, suporte de pilhas, fios com garra de jacaré, lâmpada incandescente pingo d'água e LED.

Veja a ilustração dos materiais necessários para esta atividade na figura 2.

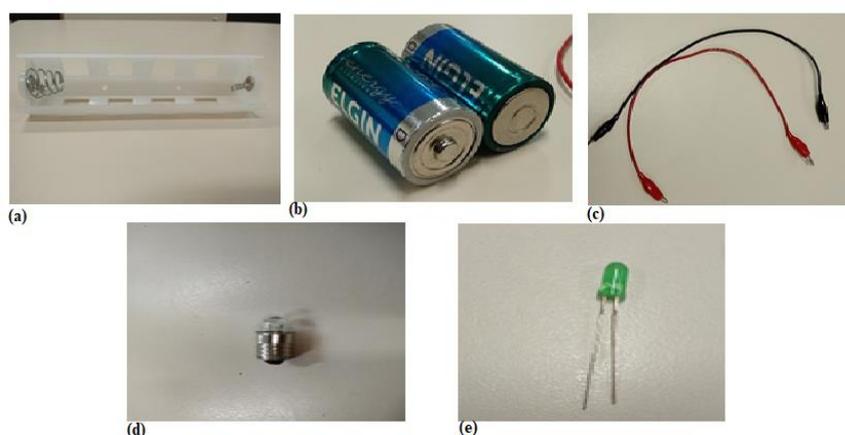


Figura 2 - Materiais necessários para a quarta atividade: (a) suporte para pilhas, (b) pilhas, (c) fios com garra de jacaré, (d) lâmpada incandescente pingo d'água, (e) LED.

Fonte: Autoria própria.

Recomenda-se que o professor distribua o material aos estudantes e, num primeiro momento, peça que esquematizem o circuito para poder fazer uma lâmpada acender utilizando os materiais disponíveis. Veja o comando presente no material do aluno.

Nesta atividade, vocês devem montar um circuito elétrico simples para acender uma lâmpada pingo d'água e um LED.

a) Inicialmente, planejem sua ação fazendo um desenho (esquema) de como pretendem ligar os fios, a pilha e a lâmpada.

A etapa de planejamento é importante para que os alunos possam pensar na montagem do circuito elétrico e o docente possa orientá-los nas possíveis dúvidas no processo de idealização do circuito elétrico. Após isto, pede-se que os grupos construam o circuito planejado e coloquem os dois dispositivos presentes na atividade para emitir luz. Conforme podemos ver no item (b), também presente no material do aluno.

b) Monte o circuito elétrico planejado e faça acender, em momentos distintos, a lâmpada pingando d'água e o LED.

A ligação da lâmpada incandescente pingando d'água é simples. Por seu filamento ser feito de um material condutor, não apresenta uma forma de polarização “correta”. Porém, o LED é um elemento que só emite luz quando é diretamente polarizado. Como os estudantes não possuem esta informação no momento da atividade, é provável que alguns o polarizem de forma inversa e achem que alguma ligação foi feita de modo incorreto ou que o LED esteja queimado. Neste caso, o professor pode pedir ao grupo que verifique se todos os fios estão conectados corretamente; persistindo o problema pode orientá-los a inverterem os fios ligados ao LED e pedir que verifiquem se ele passa a emitir luz nesta configuração.

Alguns grupos irão polarizar o LED diretamente e o fato dele ter uma polarização específica para a emissão de luz não aparecerá neste momento para eles. No último tópico da atividade, busca-se justamente evidenciar que o LED somente emite luz quando diretamente polarizado de forma experimental para os grupos que ainda não tenham percebido. Veja o comando desta parte da atividade presente no material do aluno.

c) Invertam a polaridade da pilha para verificar se isso exerce alguma influência no acendimento da lâmpada pingando d'água e do LED. Qual foi o resultado obtido?

Nesta parte da atividade, verifica-se que a lâmpada incandescente pingando d'água, conforme já tínhamos apresentado, emite luz independente da polaridade da bateria a qual esteja conectada, já que o importante é que tenhamos corrente elétrica circulando pelo seu filamento. Mesmo que as ligações dos fios sejam invertidas, ela continua funcionando normalmente. Já o LED só acende numa das formas de polarização possível. O docente

pode questionar aos grupos o porquê da diferença de comportamento destes dois dispositivos e esclarecer que será necessário o estudo dos materiais semicondutores para o entendimento do funcionamento do LED.

2.5 Atividade 5

A atividade 5 marca o início do estudo sobre os materiais semicondutores. No início da aula, recomenda-se que o professor pergunte aos estudantes o que seria um material semicondutor, dando “voz” aos estudantes.

Após isto, apresente os materiais semicondutores como aqueles que têm o coeficiente de resistividade intermediário entre os bons e maus condutores de eletricidade. Em seguida, sugere-se que seja apresentada uma tabela (presente no material do aluno), que tem uma lista de materiais e seus respectivos coeficientes de resistividade. Com base na definição apresentada, os estudantes devem classifica-los como condutor, semicondutor ou isolante elétrico.

Tabela 2 – Resistividade de diversos materiais

Material	Resistividade ($\Omega \cdot \text{cm}$)	Classificação
Prata	$1,6 \cdot 10^{-6}$	
Cobre	$1,7 \cdot 10^{-6}$	
Ouro	$2,3 \cdot 10^{-6}$	
Alumínio	$2,8 \cdot 10^{-6}$	
Tungstênio	$5,6 \cdot 10^{-6}$	
Ferro	$10 \cdot 10^{-6}$	
Platina	$11 \cdot 10^{-6}$	
Germânio	47	
Silício	$21 \cdot 10^4$	
Vidro	10^{12} a 10^{13}	
Mica	$9 \cdot 10^{16}$	
Quartzo	$78 \cdot 10^{18}$	

Fonte: Autoria própria.

Nesta atividade, esperamos que os grupos classifiquem o germânio e o silício como materiais semicondutores, justamente por ter um valor de coeficiente de resistividade entre os materiais que eles já conheciam como bons ou maus condutores de eletricidade.

Após a quinta atividade, sugerimos que seja seguida a sequência de tópicos presentes no material do aluno:

- Distribuição dos elétrons do silício e do germânio em camadas.

- Formação da estrutura cristalina de um material semiconductor.
- Movimento de elétrons e lacunas no semiconductor quando submetido a uma diferença de potencial.

2.6 Atividade 6

A sexta atividade é dedicada ao estudo do processo de dopagem em semicondutores. Para que os estudantes tenham condições de participar das discussões sobre o tema, é importante que sejam dadas algumas informações na apresentação da atividade, para que eles possam pensar sobre a influência que o elemento dopante exerce na condutividade da estrutura cristalina do semiconductor.

A atividade foi dividida em duas partes. Na primeira, discute-se a dopagem do tipo N e na segunda do tipo P. Para isso, inicialmente, é apresentada uma situação na qual átomos de fósforo são introduzidos na estrutura cristalina do silício. Em seguida, pode-se destacar para os estudantes que, nesta configuração, um dos elétrons da camada de valência do elemento dopante estará fracamente ligado ao núcleo, porque somente quatro elétrons da camada de valência do fósforo realizam ligações covalentes com os elétrons dos átomos de silício. Após esta apresentação, os grupos devem responder a seguinte questão presente no material do aluno:

Você acha que a inserção dos átomos de fósforo na estrutura cristalina do silício altera sua condutividade? Se sim, por quê?

Na segunda parte da atividade, discute-se a dopagem do tipo P. Para ilustrar, no material do aluno, é representada a inserção de um átomo de boro na estrutura cristalina do silício. O professor deve deixar claro aos estudantes que, para cada elemento de boro introduzido, haverá a falta de um elétron para completar as ligações covalentes na estrutura cristalina do silício, já que o boro é um elemento trivalente e somente realizará três ligações covalentes. Em seguida, pede-se que respondam a seguinte questão:

Você acha que a inserção dos átomos de boro na estrutura cristalina do silício altera sua condutividade? Se sim, por quê?

Essa atividade permitirá que os estudantes levantem hipóteses sobre as possíveis mudanças de comportamento elétrico que a dopagem ocasiona nos materiais semicondutores. A partir das respostas dos alunos, o professor pode, de forma dialógica, explicar o porquê de átomos da família IIIA e VA alterarem a condutividade da estrutura cristalina do semicondutor no qual foi inserido.

2.7 Atividade 7

A sétima atividade é voltada para o início do estudo dos diodos. Com base na discussão da atividade, desejamos abordar o movimento de elétrons e lacunas no momento da junção PN e a formação da barreira de potencial no diodo.

Inicialmente, apresenta-se o diodo como um dispositivo eletrônico formado a partir da junção de um semicondutor do tipo P com outro do tipo N. Em seguida, mostra-se uma imagem da junção PN, evidenciando uma parte que tem “elétrons faltando” e a outra “excesso de elétrons”. Assim, é feita a seguinte pergunta para que os alunos possam, em grupo, responder:

O que acontece ao juntarmos um semicondutor dopado do tipo N com um do tipo P? Você acha que poderá ocorrer algum movimento de cargas elétricas entre estes dois semicondutores? Caso sim, represente-o.

Com essa pergunta, esperamos que seja abordado que há um movimento de elétrons da região N para a P e de lacunas da região P para a região N. Caso os estudantes apresentem dificuldades em apresentar suas ideias sobre a questão proposta, o professor pode ressaltar que há elétrons fracamente ligados em um dos lados do semicondutor e, no outro, há falta de elétrons para completar uma ligação covalente. Com isso, pode-se fazer a seguinte pergunta: “Poderia ocorrer um fluxo de elétrons fracamente ligados da região N para ocupar as lacunas da região P?”.

Após a discussão sobre o movimento de cargas na junção PN, sugerimos que seja abordada a formação da barreira de potencial. Esta abordagem pode ser feita com base no dialogismo; para isso deve-se fazer perguntas para estimular os discentes a pensarem um pouco mais sobre o movimento de elétrons e lacunas na junção PN, fazendo perguntas como: “Este movimento de cargas irá parar em algum momento?” ou “Todos os elétrons livres da região N irão migrar para a P?”. Estas questões têm o intuito de fazer os alunos

refletirem sobre o tema e participarem da aula dando sua colaboração na construção do conhecimento.

2.8 Atividade 8

Na oitava atividade, buscamos discutir a condução de corrente elétrica no diodo. No início da atividade o professor deve apresentar a diferença entre a polarização direta e a reversa. Veja na figura 3 a representação das duas maneiras de polarizar um diodo.

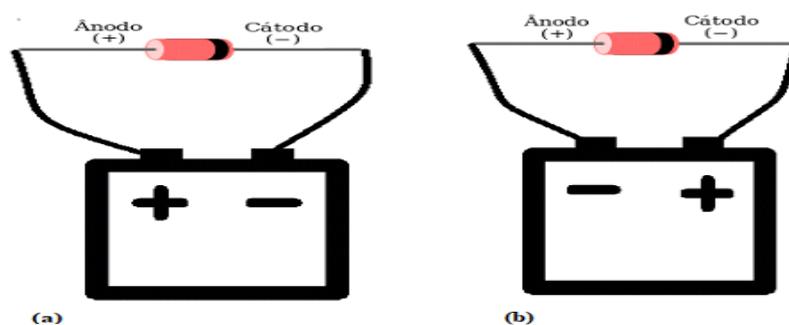


Figura 3 - Diodo polarizado: (a) diretamente polarizado e (b) inversamente polarizado.
Fonte: Autoria própria.

No início da atividade, os estudantes devem discutir sobre a possibilidade de ocorrer condução de corrente elétrica em cada uma das formas de polarização. Veja a pergunta presente no material do aluno:

Você acha que, em algum destes casos, poderá ocorrer condução de corrente elétrica? Procure justificar sua resposta com os conhecimentos que você já possui.

Os estudantes devem, em grupo, responder a esta questão e depois apresentar suas conclusões ao professor e aos colegas da classe. Nesta etapa, o docente deve estimular os alunos a participar da aula e justificar suas respostas, fazendo perguntas como: “O que vocês acham que irá acontecer nessa situação?”. Quando os estudantes apresentarem suas respostas, pode-se perguntar: “Qual seria a explicação para isso?”. Com esta abordagem, os alunos poderão levantar suas hipóteses e justificativas para a sua resposta em relação à condução de corrente elétrica no diodo.

Nesta etapa, o docente deve retomar o conceito de barreira de potencial na junção PN e pedir aos discentes que tentem responder à questão pensando neste conceito e se haveria modificação na sua extensão para cada um dos casos de polarização.

Num segundo momento da atividade, é pedido que os estudantes planejem um arranjo experimental para verificar as suas hipóteses ao montarem um circuito elétrico com um diodo. Em seguida, pede-se que os alunos construam o circuito planejado, realizando as ligações elétricas para polarizar o diodo e medindo se há ou não passagem de corrente elétrica para as duas formas de polarização apresentadas. Para isto, os alunos devem utilizar os seguintes materiais: uma fonte de tensão variável¹, um diodo de silício, fios com garra de jacaré e dois multímetros. Os alunos devem variar o valor da voltagem aplicada e verificar se há ou não condução de corrente elétrica para o tipo de polarização feita e o valor da d.d.p aplicada no diodo.

Após esse experimento, recomendamos que o professor explique, de forma dialógica, o movimento de elétrons e lacunas, ocorridos devido às formas distintas de polarização. Para isto, deve mostrar que, para a polarização reversa, haverá aumento da barreira de potencial e, para a direta, ocorrerá uma diminuição desse valor. Com isto, haverá condução de corrente elétrica a partir do momento que a voltagem aplicada for superior ao valor da barreira de potencial do diodo. Em seguida, recomendamos a exibição do vídeo “Coleção Técnica Interativa – Eletrônica – semicondutores²”, que mostra o processo industrial de fabricação dos diodos. Veja na figura 4.



Figura 4 - Print screen do vídeo Coleção Técnica Interativa – Eletrônica – semicondutores.

Fonte: Autoria própria.

Para encerrar a atividade, o professor pode falar aos estudantes que o LED é um diodo capaz de emitir luz e todas as propriedades estudadas para os diodos são válidas

¹ No apêndice C, apresentamos um modelo simples de tensão variável que pode ser construído pelos estudantes utilizando materiais de baixo custo.

² Disponível em www.youtube.com/watch?v=HmyppRT9nm4. Data de acesso 02/03/2018.

para o LED. Com isso, pode-se explicar o porquê do LED somente emitir luz quando diretamente polarizado, com base na discussão feita na oitava atividade.

2.9 Atividade 9

Na nona atividade, temos o objetivo de medir o valor da voltagem necessária para LEDs de diferentes cores começarem a emitir luz e discutir o porquê da diferença entre os valores encontrados. Para esta atividade, precisaremos dos seguintes materiais: fonte de tensão variável, fios com garra de jacaré e quatro diodos emissores de luz de cores distintas (vermelho, amarelo, verde e azul).

No início das atividades, os estudantes devem planejar o circuito elétrico a ser montado para a medição da diferença de potencial aplicada sobre o LED. Em seguida, devem montar o circuito planejado com a fonte de tensão variável e colocar o voltímetro em paralelo com o LED. Nesta experiência, os estudantes devem variar o valor da voltagem lentamente até que o LED comece a emitir luz. Quando isto acontecer, os alunos devem medir o valor da diferença de potencial aplicada. O resultado esperado é que os estudantes meçam valores diferentes de voltagem dependendo da frequência da cor emitida.

Na última parte da atividade, os grupos devem levantar hipóteses para explicar o porquê de terem encontrado diferentes valores de voltagem para LEDs de cores distintas durante o experimento. Neste momento da atividade, o docente tem o papel de mediar a interação entre os estudantes e pode, de forma dialógica, explicar que essa diferença está associada à constituição de cada um dos LEDs e à quantidade de elementos dopantes inseridos para a emissão de luz na frequência emitida por ele. Os resultados experimentais da atividade permitem mostrar que o valor da voltagem necessária para emissão de luz no LED é diretamente proporcional à frequência da cor emitida. Após a atividade, recomendamos que o professor explique o funcionamento do LED, retomando os conhecimentos sobre o átomo de Bohr. Em seguida, deve ser explicado o funcionamento das lâmpadas LED como feito no Material do Aluno.

2.10 Atividade 10

A décima atividade tem por objetivo comparar a eficiência energética de um LED de alto brilho com a de uma lâmpada incandescente pingo d'água. Para isto, os estudantes devem receber os seguintes materiais: duas pilhas, suporte para pilhas, fios com garra de jacaré, suporte de celular, um LED de alto brilho e uma lâmpada incandescente pingo d'água, como ilustrado na figura 5.

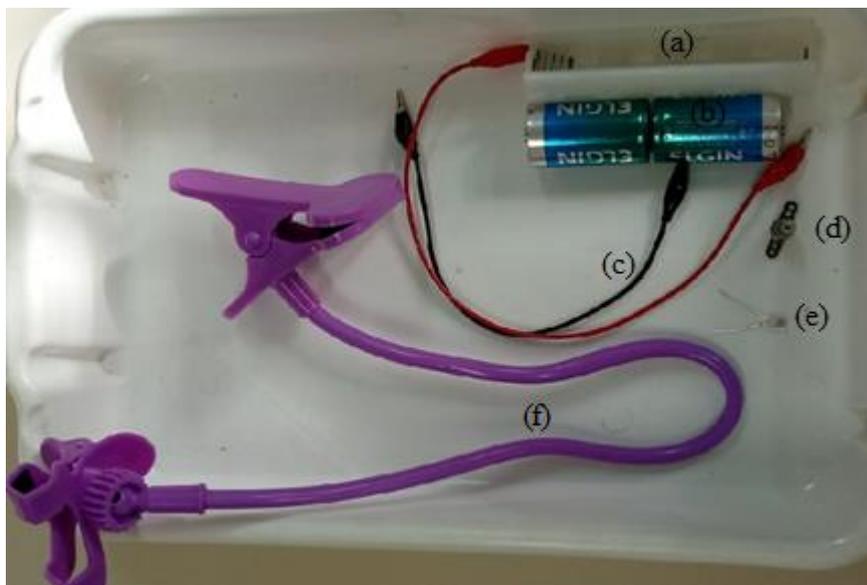


Figura 5 - Materiais necessários para a décima atividade. Em (a) suporte de pilhas; (b) pilhas; (c) fios com garra de jacaré; (d) lâmpada incandescente pingo d'água; (e) LED de alto brilho; (f) suporte de celular.

Fonte: Autoria própria.

De início, os estudantes devem pensar nas grandezas físicas que devem ser medidas para a comparação da eficiência energética destes dois dispositivos. Para isto, devem comparar a razão entre a quantidade de luz emitida e a potência elétrica.

A potência elétrica é calculada após os estudantes medirem os valores da voltagem aplicada e da corrente elétrica que passa pelos dispositivos. Para a medição da iluminância, utilizaremos o celular na função de luxímetro. O dispositivo já estará marcando o valor da iluminação ambiente antes do início do experimento, então, ao ligar a lâmpada, deve-se descontar o valor exibido anteriormente para sabermos qual foi o aumento na iluminação produzido pela lâmpada. O suporte de celular é importante para que se possa fixar a posição do celular durante a tomada de dados, porque a iluminância medida depende da distância entre a fonte de luz e o sensor de luminosidade.

2.11 Atividade 11

Na décima primeira atividade, os estudantes vão comparar a eficiência energética de três diferentes tipos de lâmpadas: incandescente, fluorescente e LED. Assim, precisam comparar a razão entre a quantidade de luz emitida e a potência elétrica das lâmpadas.

Para isto, é necessário de um alicate amperímetro para medir o valor da corrente elétrica alternada e um multímetro para a medição da voltagem alternada. A figura 6 ilustra como devemos usar o alicate amperímetro para medição da corrente alternada. O aparelho deve ser colocado de modo a “envolver” o fio, porque ele mede o campo magnético gerado pela corrente elétrica. Uma dificuldade desta atividade consiste em medir a corrente alternada, já que os tradicionais multímetros não possuem amperímetro para corrente alternada. Neste contexto, o alicate amperímetro aparece como uma sugestão simples para a medição de corrente elétrica alternada.



Figura 6 - Medição de corrente alternada utilizando o alicate amperímetro.
Fonte: INSTRUSUL (2018).

O cálculo da potência elétrica pode ser feito pelo produto da corrente elétrica e da diferença de potencial medida. Caso o docente não possua estes aparelhos de medida, a atividade pode ser feita utilizando a potência nominal das lâmpadas. Para medirmos a iluminância, podemos usar o luxímetro ou o celular na função de luxímetro. No nosso caso, optamos pelo uso do smartphone.

Para podermos comparar qual das lâmpadas é mais eficiente, deve-se calcular a razão entre a iluminância medida e a potência elétrica calculada. Ressaltamos que as lâmpadas devem estar posicionadas a uma mesma distância do luxímetro. Para isto, recomendamos que seja usado um suporte para a fixação da posição do celular.

Para finalizar a sequência didática, recomendamos que sejam discutidos os resultados encontrados na atividade, lembrando o processo de emissão de luz feito por

cada um dos tipos de lâmpadas. Com a proibição das lâmpadas incandescentes, sugerimos que o professor possa substituí-las por lâmpadas halógenas para o desenvolvimento desta atividade.

2.12 Usando tablets e smartphones como luxímetro.

Os tablets e smartphones possuem uma gama de sensores como: de movimento, geomagnético, acelerômetro, de proximidade etc. Esses sensores permitem que tais dispositivos sejam utilizados em diferentes experimentos de Física como aparelhos de medidas³. No nosso caso, utilizaremos smartphones como luxímetro para a medição da iluminância das lâmpadas. Para isto, é necessário que o aparelho possua um sensor de proximidade. Para a realização das atividades 10 e 11 (presentes no Material do Aluno), o professor deve pedir que um dos integrantes de cada grupo baixe o aplicativo de “luxímetro” no seu celular. Eles podem ser obtidos gratuitamente na PlayStore para dispositivos que possuem o sistema Android e, na Apple Store, para os usuários do Iphone. Dentre os aplicativos gratuitos disponíveis, utilizamos o aplicativo “Lux Light Metter”, da *Doggo Apps*, porque foi o que melhor permitiu a calibração das medidas de iluminância realizadas pelo celular utilizando um luxímetro. Veja alguns dos aplicativos que podem ser baixados gratuitamente na figura 7.

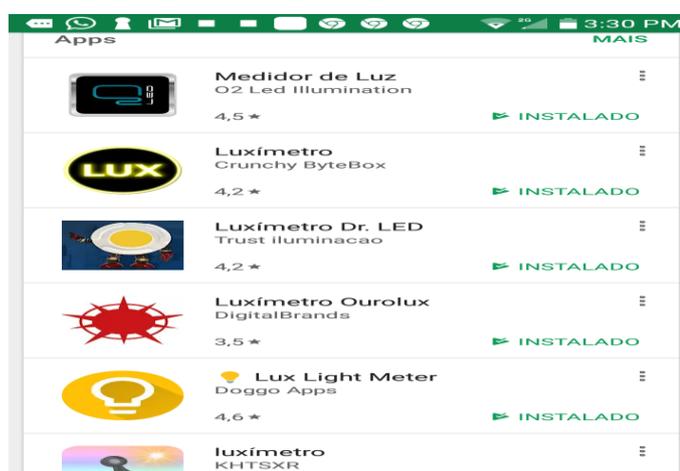


Figura 7 - Alguns dos aplicativos de luxímetro disponíveis na Play Store em 10/10/2018.
Fonte: Autoria própria.

³ Para conhecer mais aplicações sobre o uso de tablets e smartphones no ensino de Física, recomendamos a leitura da dissertação “Experimentos de Física com Tablets e Smartphones”, de Vieira (2013).

Se desejarmos ter medidas mais precisas, é necessário realizar uma calibração do valor marcado pelo celular com o do luxímetro. Para isto, é necessário coloca-los próximos e, num mesmo plano de trabalho, ajustar a marcação de iluminância feita pelo celular mexendo a barra abaixo do botão captura, de modo que marque o mesmo valor que o luxímetro, como ilustrado na figura 8.



Figura B.8 - Celular funcionando como luxímetro.
Fonte: Ourolux (2018).

2.13 Roteiro para construção de uma fonte de tensão variável que gere até 3 V.

Para algumas atividades do estudo dos diodos e LEDs presentes no Material do Aluno (apêndice A), precisamos de uma fonte de tensão variável que gere até 3V. Neste apêndice, apresentaremos uma modelo simples de fonte de tensão variável que pode ser construída com materiais de baixo custo, como esquematizado na figura 9.

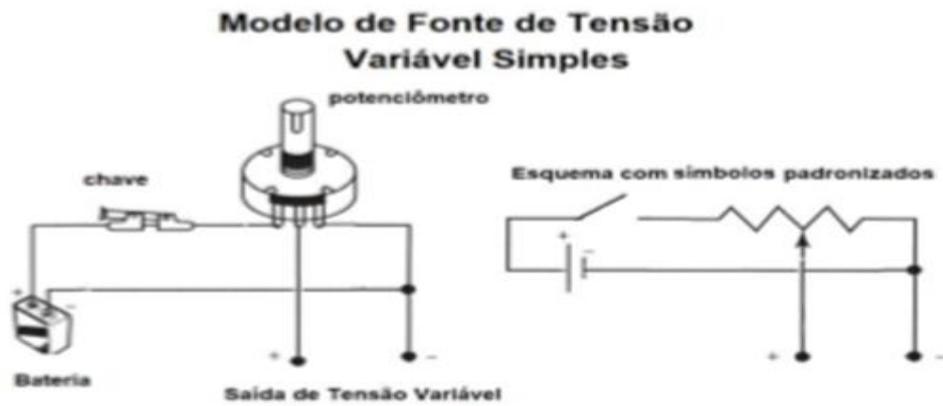


Figura 9 - Modelo de fonte de tensão variável.

Para a construção da fonte de tensão variável, necessitamos dos seguintes materiais: duas pilhas, suporte para pilhas, um potenciômetro de 10 K Ω , uma protoboard e jumpers.

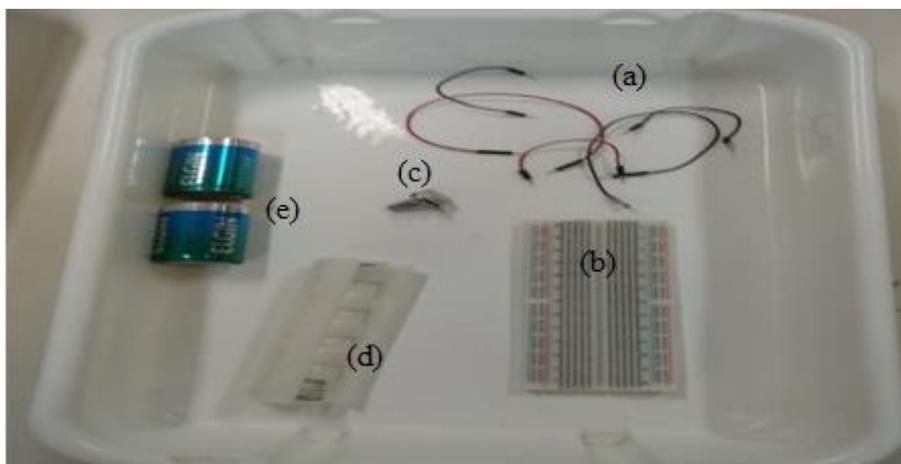


Figura 10 - Materiais necessários para a montagem da fonte de tensão variável. Em (a) jumpers; (b) protoboard; (c) potenciômetro; (d) suporte de pilhas; (e) pilhas.

O potenciômetro é composto de um material resistivo, três terminais e um cursor. Ao conectarmos um ohmímetro aos terminais extremos de um potenciômetro, teremos a indicação de sua resistência total. Entretanto, se ligarmos um fio ao terminal central e o outro num dos terminais das pontas, teremos uma resistência variável ao girarmos o varredor. Veja a figura 11.

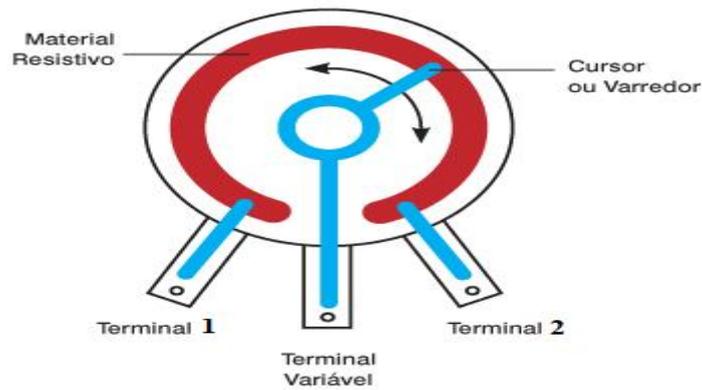


Figura 11 - Representação do potenciômetro.

Fonte: Baú da Eletrônica (2018).

Na figura 12, vemos a montagem realizada na protoboard por um grupo de estudantes durante a aplicação de nossa sequência didática.

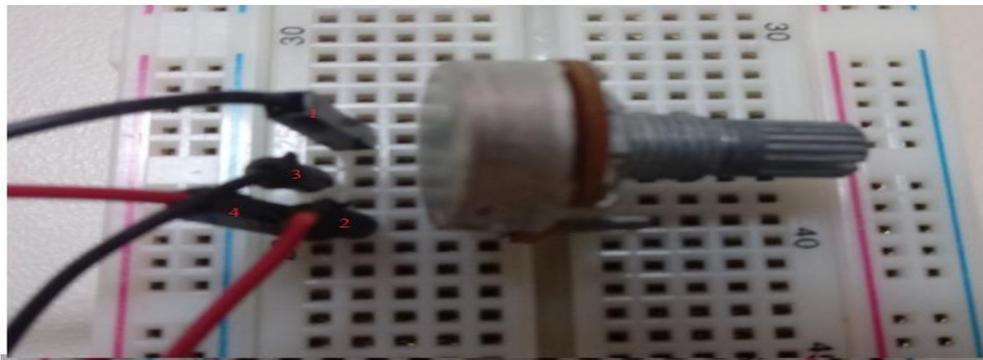


Figura 12 - Fonte de tensão variável na protoboard.

Fonte: Autoria própria.

Os fios 1 e 2 funcionaram como alimentação do potenciômetro. O fio 1 foi conectado ao polo negativo da bateria e o fio 2, ao terminal positivo. Já o fio 3 foi conectado no terminal central e, o fio 4, na mesma linha de conexão do potencial positivo da bateria. Desta forma, os fios 3 e 4 fornecem a tensão variável ao girarmos o cursor do potenciômetro.