



Usando um LED como fonte de energia

.....
Esdras Garcia Alves

Colégio Santo Agostinho, Belo Horizonte, MG, Brasil

E-mail: egafisica@yahoo.com.br

.....
Andreza Fortini da Silva

Escola Municipal Francisco Borges da Fonseca, Belo Horizonte, MG, Brasil

.....

O Sol é fonte de energia fundamental para o nosso planeta. A cada segundo, trilhões e trilhões de átomos de hidrogênio (H) se fundem formando átomos de hélio (He). Nestas reações há uma diminuição da massa dos reagentes e uma grande liberação de energia, que é irradiada na forma de luz e calor para todo o espaço em seu entorno. Parte desta energia chega ao nosso planeta, contribuindo de forma vital para a manutenção da vida.

Com a crescente preocupação em frear a degradação do planeta e o constante aumento pela demanda de energia, o Sol vem ocupando lugar de destaque como uma grande e importante fonte de energia alternativa. Há alguns anos os arquitetos passaram a se preocupar com construções que privilegiam a iluminação natural; algumas residências utilizam a

As células fotovoltaicas são os dispositivos responsáveis pela transformação da energia solar em elétrica. Estas células são feitas com materiais semicondutores e seu alto custo ainda é um fator limitante para uso em larga escala

energia solar para o aquecimento da água, por meio de coletores solares; em uma escala ainda muito pequena a energia solar também é transformada em energia elétrica - as células fotovoltaicas são os dispositivos responsáveis por esta transformação direta da energia solar em elétrica. Estas células são feitas com materiais semicondutores e seu alto custo é um fator limitante para uso em larga escala. Muitas pesquisas têm sido feitas no sentido de tornar estas células mais eficientes, de modo a reduzir o custo da energia convertida por célula.

Neste artigo vamos focar o funcionamento de uma célula fotovoltaica. Para que o professor tenha condições de mostrar, na prática, a transformação da energia solar em elétrica, sugerimos uma maneira de ligar um relógio digital por meio de uma "célula fotovoltaica de baixo

custo": um LED.¹

Materiais semicondutores

Os materiais semicondutores são a base da indústria eletrônica. Sua importância está na possibilidade de alteração de suas características elétricas de forma "simples". Estes materiais recebem o nome de semicondutores por não serem totalmente isolantes - como a borracha, ou o vidro - mas também não serem bons condutores como o cobre, ou o ferro. No entanto, se forem adicionados átomos diferentes a estes materiais, eles podem ter suas características elétricas alteradas. O silício (Si) é um exemplo de semicondutor muito utilizado na indústria. Se um átomo de fósforo (P) for inserido em um cristal de silício, haverá um elétron a mais na rede cristalina. Este elétron poderá se mover pelo material, pois não está fortemente ligado ao

átomo. O novo material possui elétrons em excesso e é por isso chamado semicondutor tipo n. O oposto ocorrerá se um átomo de gálio (Ga) for inserido na rede cristalina de silício. Um elétron estará faltando, e este "buraco" se comportará como uma carga positiva,² que também pode mover-se pelo material, pois um elétron de um átomo vizinho pode ocupar este espaço. O semicondutor com falta de elétrons é chamado de semicondutor tipo p. A Fig. 1 ilustra este processo de inserção de átomos estranhos em uma rede cristalina, denominado "dopagem" [1].

Uma célula fotovoltaica é uma junção dos dois tipos de materiais semicondutores descritos acima. Uma junção pn, como a denominamos, possui propriedades muito peculiares e é de grande interesse na indústria eletrônica, tendo várias aplicações [2]. Nas Figs. 2 e 3 há um esquema do que

Com a crescente demanda de energia elétrica e a atual preocupação com a preservação ambiental, as energias limpas se transformaram em necessidades urgentes. A energia solar é uma excelente alternativa. As células fotovoltaicas - dispositivos construídos com materiais semicondutores - podem transformar a energia solar diretamente em energia elétrica.

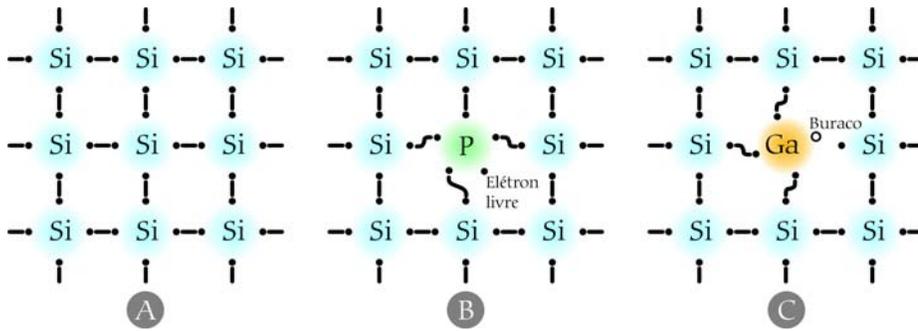


Figura 1. (a) Representação bidimensional de um cristal de silício. (b) Quando um átomo de fósforo é adicionado à rede ele disponibiliza um elétron, que fica livre para se mover pelo cristal. (c) Se for adicionado um átomo de gálio, haverá a falta de um elétron (buraco). Como um elétron de um átomo vizinho pode ocupar este buraco, o efeito final é o de uma carga positiva se movendo pelo cristal.

ocorre em uma junção pn quando ela é iluminada [3].

A luz é constituída por fótons com energia $E = h\nu$, onde h é a constante de Planck e ν é a frequência da luz. Quando estes fótons incidem sobre a junção, eles penetram no material e podem ser absorvidos por elétrons na banda de valência.³ Se a energia do fóton for da mesma ordem de grandeza que a diferença de energia das bandas, E_g na Fig. 2, o elétron poderá alcançar a banda de condução, onde estará livre para se mover. A saída de um elétron da banda de valência deixa um buraco na mesma. Com a iluminação constante, haverá um grande número de pares elétron-buraco gerados pela absorção de fótons. Devido à presença dos átomos dopantes, os elétrons da banda de condução se deslocarão para a região n e os buracos da banda

de valência se deslocarão para a região p. Se um fio condutor conectar o lado p ao lado n, teremos uma corrente de elétrons se movendo da região de maior concentração de elétrons para a região com escassez de elétrons, como em uma pilha.

O LED como célula solar

As células fotovoltaicas convencionais ainda são muito caras e raras no mercado comum. Como modelo de célula fotovoltaica propomos o uso de um LED, muito mais acessível em termos de custo e mercado. Testamos vários tipos de LEDs, e os melhores resultados foram encontrados com LEDs vermelhos de 10 mm com encapsulamento transparente. Os LEDs vermelhos de 5 mm com encapsulamento transparente também apresentaram bons resultados.

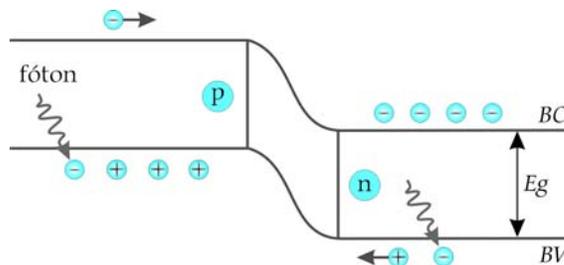


Figura 2. Fótons com energia $E = h\nu$ atingem a junção. Se a energia dos fótons for da ordem de grandeza de E_g , um elétron da banda de valência (BV) pode absorver a energia do fóton.

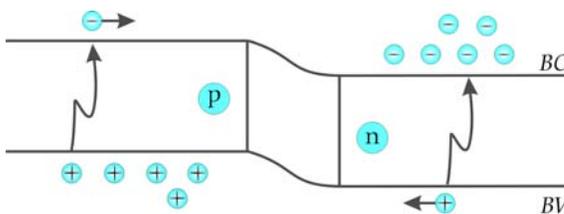


Figura 3. Absorvendo a energia do fóton, o elétron alcança a banda de condução (BC). Os elétrons na banda de condução tendem a se concentrar no lado n e os buracos na banda de valência no lado p, devido à presença dos átomos dopantes.

O LED também é constituído por uma junção pn [4]. Na Fig. 4 há um diagrama ilustrando o dispositivo. O lado n da junção está preso a um contato metálico, que serve também como um espelho refletor para direcionar a luz. No lado p há apenas um fio estabelecendo o contato elétrico entre o semiconductor e o outro terminal do LED, de modo que a maior parte do semiconductor fica exposta. Esta construção é necessária porque a luz sai diretamente de onde houve uma combinação entre um elétron e um buraco. Um elétron que venha da banda de condução para ocupar um buraco na banda de valência deve perder energia. Esta energia é liberada na forma de fótons, cuja energia corresponde ao valor de E_g . Portanto, se forem construídos LEDs com diferentes valores para E_g - e isto é conseguido utilizando diferentes dopantes - pode-se produzir diversas cores para a luz dos LEDs. Como o valor de E_g define a energia dos fótons emitidos, o espectro de emissão de um LED possui um pico bastante pronunciado em torno de um comprimento de onda característico, como mostra a Fig. 5.

Embora os LEDs sejam projetados para emitir fótons, eles também podem funcionar como receptores de luz. Em diversos artigos na literatura encontramos o uso de LEDs como fotosensores [5-7]. Porém, assim como a emissão é bastante pronunciada em torno de uma frequência característica, a recepção se dá para uma faixa de frequências cuja energia esteja em torno de E_g . Este comportamento ressonante dos LEDs permite que eles sejam utilizados como sensores para faixas

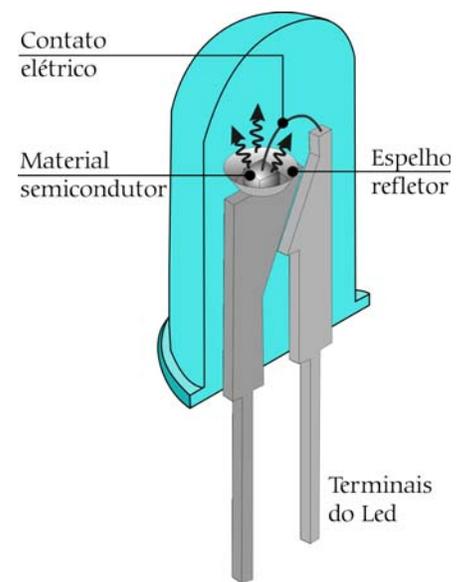


Figura 4. Detalhes internos da estrutura do LED.

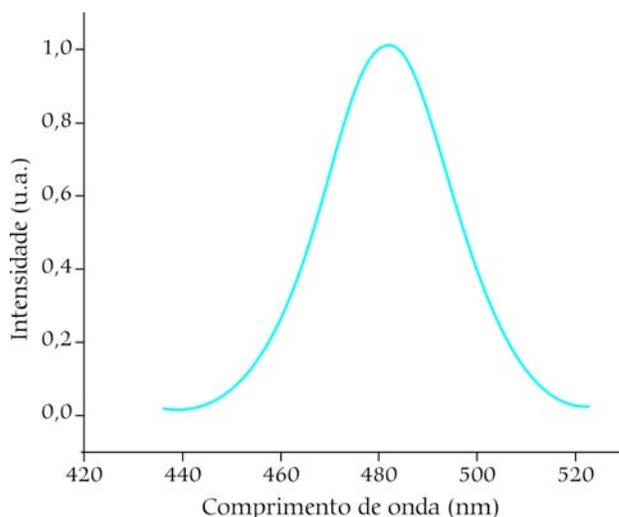


Fig. 5. Espectro de emissão de um LED azul.

restritas do espectro. Fótons com energias muito diferentes de E_g não são efetivamente absorvidos pelos elétrons e não haverá a geração de pares elétron-buraco nestas situações. Um LED que emita luz verde, por exemplo, será um bom receptor para luz verde, mas não para outras cores do espectro. É por este motivo que sugerimos utilizar como fontes de luz, nos experimentos a seguir, o Sol ou uma lâmpada incandescente, pois estas fontes possuem um espectro contínuo de radiação, possuindo todas as frequências da luz.

Muitos livros falam sobre o uso das células fotovoltaicas, mas não fornecem detalhes sobre seu funcionamento e nem sugestões alternativas que o professor possa utilizar para ilustrá-la na prática. Assim, abordamos de forma sucinta o funcionamento dessas células, fornecendo uma base teórica para a compreensão da transformação direta da energia solar em elétrica

Para verificar a produção de tensão elétrica em um LED iluminado, basta ligar os seus terminais a um voltímetro para medir tensões contínuas na escala de 2 V e iluminar o LED com uma fonte de luz intensa. A tensão pode chegar a 1,5 V se o LED for exposto ao Sol. Embora a tensão seja relativamente alta, a corrente alcançada não passa de poucos microamperes, mesmo sob iluminação intensa. Tal fato pode ser compreendido observando o tamanho do semicondutor do LED, que não passa de 1 mm². Uma célula fotovoltaica convencional possui uma grande área de material semicondutor exposta à luz, de forma a poder absorver uma grande quantidade de fótons, ou seja, muita energia. Portanto é necessária uma carga compatível para funcionar com uma corrente tão baixa; um relógio digital é ideal para esta aplicação.

O relógio digital usado por nós é do tipo encontrado em lojas de produtos populares. É necessário retirar a bateria e sol-

dar dois fios nos terminais da mesma (sugerimos desmontar o relógio e soldar os fios diretamente na placa). Ligue os terminais do LED aos fios do relógio e ilumine o LED com uma luz bastante intensa, de preferência o Sol, e veja se o relógio funciona.

Se não funcionar, inverta os fios, pois tanto o LED quanto o relógio possuem polaridade. É possível fazer o relógio funcionar com uma lâmpada incandescente - indicada para as demonstrações em dias nublados - mas neste caso devem ser usados no mínimo três LEDs ligados em série. Esta é uma estratégia para alcançar maior tensão,

se o professor desejar aplicá-lo em outras situações. Em nossa versão, mostrada na Fig. 6, colocamos os LEDs em um disco de madeira e o fixamos em uma bola de desodorante *roll-on*. Utilizando este artifício é possível orientar os LEDs para a posição de máxima incidência de luz.

Conclusão

Muitos livros falam sobre o uso das células fotovoltaicas, mas não fornecem detalhes sobre seu funcionamento e nem sugestões alternativas que o professor



Figura 6. LEDs funcionando como célula fotovoltaica.

possa utilizar para ilustrá-la na prática. Tendo estes aspectos em vista, procuramos abordar de forma sucinta o funcionamento das células fotovoltaicas a fim de fornecer uma base teórica para a compreensão da transformação direta da energia solar em elétrica. Enquanto educadores, acreditamos que promover o contato de jovens estudantes com tecnologias potencialmente transformadoras é uma forma de sensibilizá-los quanto à necessidade de uma busca de soluções concientes para a sociedade.

O uso deste material não se restringe apenas a estudantes da educação básica, onde o professor pode usá-lo em seqüências sobre transformações de energia. Em diversas oficinas que realizamos com professores e estudantes de graduação, há sempre um grande espanto quando vêem um relógio funcionando com a energia "gerada" por um LED. A física de semicondutores pode ficar mais atrativa com estes experimentos que surpreendem nosso senso comum.

Notas

¹Diodo emissor de luz, em inglês. Os LEDs são aquelas lampadzinhas facilmente encontradas nos painéis de equipamentos eletroeletrônicos.

²O buraco não é fundamentalmente uma carga positiva, mas sim, como o próprio nome sugere, a ausência de um elétron.

³A banda de valência é a última banda de energia com elétrons ligados aos átomos em um sólido.

Referências

- [1] Eduardo de Campos Valadares, Alair S. Chaves e Esdras Garcia Alves, *Aplicações da Física Quântica: Do Transistor à Nanotecnologia* (Livraria da Física, São Paulo, 2005), 1ª ed.
- [2] Robert Boylestad e Louis Nashelsky, *Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos* (Prentice-Hall do Brasil, Rio de Janeiro, 1994), 5ª ed.
- [3] Reginaldo da Silva, Adenilson J. Chiquito, Marcelo G. de Souza e Rodrigo P. Macedo, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **26**, 379 (2004).
- [4] Marisa Almeida Cavalcante, Cristiane R.C. Tavoraro, Dione Fagundes de Souza e João Muzinatti, *Física na Escola* **3**:1, 24 (2002).
- [5] L. Nieves, G. Spavieri, B. Fernandes e R.A. Guevara, *The Physics Teacher* **35**, 108 (1997).
- [6] Marisa Almeida Cavalcante, Cristiane R.C. Tavoraro e Rafael Haag, *Física na Escola* **6**:1, 75 (2005).
- [7] Marisa Almeida Cavalcante e Rafael Haag, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **27**, 343 (2005).