



**UEPB**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CAMPUS VII – GOVERNADOR ANTÔNIO MARIZ  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E SOCIAIS APLICADAS  
CURSO DE LICENCIATURA PLENA EM FÍSICA**

**MATEUS PATRÍCIO BARBOSA PEREIRA**

**USANDO O LED NA PRODUÇÃO DE ENERGIA LIMPA E RENOVÁVEL:  
CONSTRUÇÃO DE MINI PLACAS SOLARES FOTOVOLTAICAS**

**PATOS – PB  
2017**

**MATEUS PATRÍCIO BARBOSA PEREIRA**

**USANDO O LED NA PRODUÇÃO DE ENERGIA LIMPA E RENOVÁVEL:  
CONSTRUÇÃO DE MINI PLACAS SOLARES FOTOVOLTAICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Graduado em Licenciatura Plena em Física.

**Área de concentração:** Física Experimental.

**Orientador:** Prof. Dr. Valdeci Mestre da Silva Júnior.

**PATOS – PB  
2017**

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

P436u Pereira, Mateus Patricio Barbosa  
Usando o led na produção de energia limpa e renovável  
[manuscrito] : construção de mini placas solares fotovoltaicas /  
Mateus Patricio Barbosa Pereira. - 2017.  
35 p. : il. color.

Digitado.  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física) -  
Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Exatas e  
Sociais Aplicadas, 2017.  
"Orientação: Prof. Dr. Valdeci Mestre da Silva Júnior,  
CCEA".

1. Energia solar. 2. LED. 3. Mini placas solares. I. Título.  
21. ed. CDD 530

MATEUS PATRÍCIO BARBOSA PEREIRA -

USANDO O LED NA PRODUÇÃO DE ENERGIA LIMPA E RENOVÁVEL:  
CONSTRUÇÃO DE MINI PLACAS SOLARES FOTOVOLTAICAS

Artigo apresentado ao Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Graduado em Licenciatura Plena em Física.

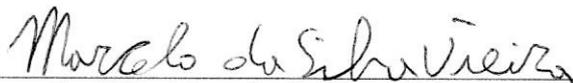
Área de concentração: Física Experimental.

Aprovado em: 30/01/2017.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Valdeci Mestre da Silva Junior (Orientador)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Marcelo da Silva Vieira  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Rodrigo César Fonseca da Silva  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Aos meus pais, Raimundo e Damiana, pela  
educação, apoio e orientações recebidas que  
me conduziram até aqui, DEDICO.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por todas as bênçãos que tem derramado sobre mim, iluminando os meus passos e me dando forças para continuar a caminhada.

À minha família, que me apoiou e me ajudou para que eu não desistisse e pudesse chegar até aqui, em especial, meus pais, Raimundo e Damiana, meu irmão, Jordão, meus avós Francisca e Alexandrino. E aos que já não estão conosco, Benedita e Inácio (*in memoriam*). Minhas tias e tios, Damiana, Helena, Luciana, Assis, Rita, Maria, Ana Lúcia, Francisca, Maria da paz e Cícero, meus primos e primas.

Ao professor Valdeci Mestre, pelas leituras sugeridas ao longo dessa orientação e pela dedicação e aprendizagem construída ao longo deste curso.

Aos professores e coordenadores do curso de Física, Pedro Carlos e Marcelo Vieira, pelo empenho e dedicação com que realizaram as atividades docentes que muito contribuíram na minha formação.

Aos professores e ex-professores do Curso de Física da UEPB, em especial, Ruth Melo, Edme Vale, Everton Cavalcante, Vilmar Vaz, Kalinka Walderea e Rodrigo Fonseca, que contribuíram de forma significativa na minha formação ao longo desses cinco anos de curso.

Aos colegas de classe pelas amizades, alegrias, diversões e apoios recebidos, em especial às minhas colegas Géssica Martins e Natália Érica pela amizade construída ao longo desse tempo.

Aos meus alunos, ex-alunos e futuros alunos, pelo apoio e momentos de aprendizagens vivenciadas, em especial, aos alunos da Escola Estadual Manoel Medeiros de Araújo, Vista Serrana – PB.

Aos meus amigos, colegas de trabalho e ex-professores pelo apoio, companheirismo e incentivo dados até aqui.

À minha prima e amiga Elisa Neta pela amizade e correção do texto deste trabalho.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>DESENVOLVIMENTO .....</b>	<b>8</b>
2.1	<b>LED como fonte de energia .....</b>	<b>9</b>
2.1.1	<i>Material Semicondutor.....</i>	<b>10</b>
2.1.2	<i>Dopagem .....</i>	<b>11</b>
2.1.2.1	<i>Semicondutores tipo p e tipo n .....</i>	<b>12</b>
2.1.3	<i>Fótons .....</i>	<b>15</b>
2.2	<b>Geradores e circuitos elétricos .....</b>	<b>16</b>
2.2.1	<i>Associação de geradores em série.....</i>	<b>17</b>
2.2.2	<i>Associação de geradores em paralelo .....</i>	<b>18</b>
2.3	<b>Mini placas solares .....</b>	<b>19</b>
2.3.1	<i>Resultados experimentais.....</i>	<b>23</b>
<b>3</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>30</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>32</b>

## USANDO O LED NA PRODUÇÃO DE ENERGIA LIMPA E RENOVÁVEL: CONSTRUÇÃO DE MINI PLACAS SOLARES FOTOVOLTAICAS

Mateus Patrício Barbosa Pereira\*

### RESUMO

No presente trabalho apresenta-se de forma sucinta, uma técnica de obtenção e conversão de energia solar em elétrica usando materiais simples, de baixo custo e de fácil aquisição. O objetivo principal é demonstrar a conversão de energia solar em elétrica utilizando materiais simples, visto que painéis solares apresentam custos elevados, o que fomentou a realização desta pesquisa. Para tanto, propõe-se desenvolver atividades e técnicas baseadas na pesquisa bibliográfica e quantitativa, usando Lights Emittings Diodes (LEDs) de alto brilho que emitem luz na cor azul e vermelha, os quais quando expostos à luz solar, absorvem essa energia convertendo-a em energia elétrica que pode ser usada para fazer funcionar algum aparelho ou produto eletrônico que opere nas condições de energia gerada. Os LEDs têm características semelhantes às células fotovoltaicas (formados por semicondutores) e algumas técnicas especiais os tornam um gerador de energia. Serão feitas associações específicas de LEDs baseadas na teoria básica sobre associações desses dispositivos, e nos resultados experimentais obtidos para cada tipo de LED quando expostos ao sol. Com os resultados experimentais, será notado que os LEDs vermelhos são os que apresentam melhores valores de tensão e corrente elétrica produzida, e que fazendo um arranjo de associações série-paralelo destes, pode-se utilizá-los como gerador de energia fazendo funcionar uma calculadora. Anseia-se produzir energia, desenvolvendo formas e técnicas que sejam capazes de mostrar de forma prática a conversão de energia solar em elétrica e fenômenos físicos associados.

**Palavras-chave:** Energia elétrica. LED. Mini placas solares.

### 1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho é fruto de um estudo bibliográfico realizado, a fim de proporcionar novos métodos e técnicas que sejam úteis para alunos, professores e público em geral, na obtenção de energia elétrica a partir da energia solar. Para tanto, busca-se desenvolver atividades experimentais que demonstrem o processo de conversão de energia solar em elétrica, utilizando materiais simples, de custos relativamente baixos e de fácil aquisição.

No início deste trabalho destaca-se a problemática desta pesquisa, ou seja, o que despertou o interesse em estudar a conversão de energia solar em elétrica, o referencial

---

\* Aluno de Graduação em Licenciatura Plena em Física na Universidade Estadual da Paraíba – Campus VII.  
Email: mateuspatricio17@gmail.com

adotado, as características que fazem do LED um gerador de energia, e ao final, apresenta-se os resultados experimentais aferidos.

O ponto de partida para esse trabalho surge, quando iniciou-se um estudo sobre as fontes de energias renováveis e não renováveis usadas no Brasil, suas vantagens versus desvantagens. Na ocasião, desenvolveu-se estudos bibliográficos sobre as melhores fontes de energias a serem utilizadas na região do sertão paraibano, considerando fatores como: conversão energética, poluição ambiental, degradação dos recursos naturais, relação custo-benefício, tecnologias aplicadas ao processo, etc..

O problema que levou a realização desse estudo foi, inicialmente, a dificuldade de se apresentar de forma prática (experimental) a conversão de energia solar em energia elétrica, visto que placas ou painéis solares apresentam “custos elevados” em sua aquisição. Buscando resolver esse problema, foram realizados estudos em circuitos elétricos (os quais foram denominados de mini placas solares), constituídos basicamente por Light Emitting Diode (LED), sigla inglesa que significa diodo emissor de luz.

O presente artigo, traz sugestões e práticas que auxiliam professores, alunos e público em geral, tanto da educação básica, como do ensino superior, a terem um melhor entendimento dos fenômenos físicos associados ao processo de conversão de energia solar em elétrica. Assim, acredita-se que este seja de grande relevância, visto que as práticas educativas desenvolvidas nas escolas e na sociedade, muitas vezes não dão ou não apresentam um suporte necessário na abordagem da conversão de energia solar em elétrica, pois há sempre certa “dificuldade” em se adquirir painéis ou placas solares que podem ser usados para demonstração prática desses fenômenos.

Sabendo-se da necessidade de ter uma prática educativa voltada para uma educação cidadã, dentro das perspectivas históricas, sociais, éticas, culturais e tecnológicas, que seja capaz de aproximar o estudado com o vivenciado pelo discente, é que se vê a importância de uma abordagem diferenciada nas aulas, em especial, nas de física. Dessa forma, acredita-se que as atividades experimentais sejam importantes aliadas para que isso se concretize.

É notória a importância da experimentação no Ensino de Física, uma vez que esta se consolida na relação teoria-prática, dando condições para que o estudante possa desenvolver suas competências e habilidades, podendo associar esses conhecimentos na resolução de situações-problema do seu dia a dia.

Os circuitos elétricos constituídos por LEDs, quando expostos à radiação solar, produzem energia elétrica que pode ser usada para fazer funcionar uma calculadora ou outros

dispositivos que funcionem a uma tensão de 1,5 a 3,0 volts, e intensidade de corrente na ordem de microampère ( $\mu\text{A}$ ).

Espera-se que este trabalho atenda às expectativas nele impostas, uma vez que apresenta um método já utilizado<sup>1</sup>, porém pouco conhecido no estudo da energia solar e sua conversão. Dessa forma, será mostrado que é possível converter energia solar em energia elétrica usando materiais que podem ser adquiridos facilmente em lojas de eletrônica, mercado ou internet, com custos relativamente baixos.

## 2 DESENVOLVIMENTO

A energia solar é uma das mais importantes fontes de energia a ser utilizada, uma vez que esta se caracteriza como fonte de energia renovável e limpa, não agredindo o meio ambiente.

Silva (2014, p. 20), define energias renováveis como:

[...] fontes cuja utilização pela humanidade não representa qualquer variação significativa em seu potencial, que em muitos casos está avaliado para uma duração de vários milhões (ou bilhões) de anos (energia solar, gravitacional) [...]. (SILVA, 2014, p. 20).

Um fator “negativo” apontado nas fontes de pesquisa, é o elevado custo de instalação ou aquisição do sistema de conversão energética.

Segundo o estudo anual realizado pelo Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina (IDEAL) e Câmara de Comércio Brasil-Alemanha do Rio de Janeiro (AHK-RJ), chamado “O mercado brasileiro de geração distribuída fotovoltaica – edição 2016”: 42% total dos custos com a instalação de um sistema fotovoltaico ficam com os módulos fotovoltaicos (painéis solares). O estudo aponta também que o preço médio cobrado no Brasil pelas empresas instaladoras no ano de 2015, foi de R\$ 8,58 por Watt pico (Wp)<sup>2</sup>. Ou seja, se uma residência tem uma demanda energética de 2,0 quilowatt pico (kWp), seria necessário um investimento médio de R\$17.160,00, dos quais R\$7.207,20 (42%) desse investimento, ficariam com os módulos fotovoltaicos.

---

<sup>1</sup> Usando um LED como fonte de Energia. Revista Física na Escola (2008).

<sup>2</sup> Unidade de potência que é normalmente associada a células fotovoltaicas. Essa unidade representa condições ideais de produção energética como, temperatura a 25 °C e irradiância solar de 1000 W/m<sup>2</sup>.

Segundo Silva (2014, p. 89): “Grande parte do custo das células solares está relacionada ao processo de purificação dos materiais e à fabricação dos semicondutores dopados de forma otimizada.”

Devido ao alto custo de obtenção de um sistema solar fotovoltaico é que surge o interesse em estudar esta fonte de energia e suas formas de aquisição, a fim de encontrar novos meios de conversão dessa energia.

## 2.1 LED como fonte de energia

O LED, pelo seu próprio nome, é um diodo emissor de luz. Os diodos são dispositivos elétricos formados por uma junção de semicondutores tipo *p* e tipo *n*. Os tópicos seguintes tratam detalhadamente desse assunto.

Esses diodos emissores de luz, são especialmente utilizado na microeletrônica como em sinalizadores de avisos ou propagandas de lojas e outdoors, na transmissão de dados dos controles remotos, na iluminação residencial, nas telas de celulares, relógios, computadores, televisores e etc..

A primeira lâmpada LED surge em 1962, desenvolvida pelo engenheiro estadunidense Nick Holonyak Jr.<sup>3</sup>. Inicialmente produzida na cor vermelha, mas alguns anos depois foram desenvolvidas outras lâmpadas nas cores amarela e verde.

Essas lâmpadas vêm adquirindo um espaço cada vez maior e suas aplicações vão desde a iluminação residencial até a produção de imagens em televisores. Todavia, neste trabalho será abordada mais uma aplicação dos LEDs: a geração de energia.

Depois de realizadas algumas leituras e estudos na bibliografia, encontra-se o que seria uma solução prévia para o problema em questão. Um artigo publicado em uma revista de ensino de física que apresentava uma maneira simples e barata de converter energia solar em elétrica, como afirmam os autores Alves e Silva (2008, p. 26):

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. (ALVES; SILVA, 2008, p. 26).

Esse trabalho deu base a essa pesquisa, uma vez que apresenta o LED como fonte de energia, proporcionando a conversão de energia solar em elétrica.

---

<sup>3</sup> MERIGO, C. **Nick Holonyak, o inventor do LED**. Artigos. B9. 2012. Disponível em: <<http://www.b9.com.br/32100/tech/nick-holonyak-o-inventor-do-led/>>. Acesso em: 11 jan. 2017.

Os LEDs foram construídos e aprimorados para converter energia elétrica em energia luminosa. Entretanto, este trabalho aborda sobre a possibilidade de utilizar essa tecnologia em seu papel inverso, ou seja, converter energia luminosa (proveniente da luz solar) em energia elétrica.

Segundo Alves e Silva (2008, p. 27): “Embora os LEDs sejam projetados para emitir fótons, eles também podem funcionar como receptores de luz”.

É importante salientar, que a finalidade do estudo não foi (e não é), produzir energia elétrica em grande escala (energia necessária para abastecer uma residência, por exemplo), pois, isso seria quase impossível, usando LEDs. Explica-se melhor sobre esse assunto com os resultados experimentais descritos a frente.

Os autores destacam a importância desse tipo de atividade no ensino de física, uma vez que os livros não dão um suporte necessário ao professor para que este consiga mostrar (na prática) o processo de conversão de energia solar em elétrica.

Alves e Silva (2008, p. 28), afirmam:

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. (ALVES; SILVA, 2008, p. 28).

Nesse contexto, percebe-se a importância da atualização dos livros didáticos e da formação continuada para professores do ensino básico. Existem diversos recursos à disposição das escolas e dos professores, basta conhecê-los e pô-los em prática. Por isso, é importante que os professores sejam pesquisadores, que busquem sempre inovar e atualizar as práticas e metodologias de sala de aula.

### ***2.1.1 Material Semicondutor***

Uma primeira relação existente entre os LEDs e as células fotoelétricas convencionais (placas solares) é que ambas as tecnologias são formados por materiais semicondutores. Esses materiais dão base a muitos outros dispositivos elétricos e há quem diga que são à base da indústria eletrônica. Isso é possível, pois os semicondutores apresentam características elétricas que podem ser controladas com um processo químico chamado de dopagem, como afirma Filho (2009, p. 12):

Essa característica de controle externo de condutividade possibilita o uso de cristais semicondutores como matéria prima na fabricação de componentes eletrônicos, incluindo diodos, transistores, circuitos integrados, etc., bem como na construção de dispositivos optoeletrônicos, tais como fotodetectores, diodos emissores de luz e lasers semicondutores. (FILHO, 2009, p. 12).

Os semicondutores, assim chamados, são materiais que não são bons isolantes, como o vidro a borracha ou a mica, como também, não são bons condutores como o cobre, alumínio ou ouro, como afirmam Alves e Silva (2008, p. 26):

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. (ALVES; SILVA, 2008, p. 28).

Desses materiais, os semicondutores mais comuns utilizados no mercado e na indústria eletrônica são: o Silício (Si) e o Germânio (Ge); dos quais são produzidos LEDs, células fotoelétricas, transistores, lasers, retificadores, etc..

### **2.1.2 Dopagem**

Para entender o processo de conversão de energia solar em energia elétrica, deve-se analisar algumas características importantes sobre os materiais semicondutores. Esses materiais em sua maioria são encontrados na natureza com certo tipo de impurezas, ou seja, em sua estrutura cristalina existem átomos de substâncias diferentes (estranhas) daqueles que compõem o material como o silício ou germânio, por exemplo. Nesse caso, busca-se alterar as propriedades desses materiais, adicionando certos tipos de substância a sua rede cristalina, fazendo um procedimento chamado de dopagem.

A dopagem é um processo químico no qual átomos estranhos (diferente daqueles que compõem o material) são adicionados à estrutura cristalina deste, buscando alterar de forma controlada as propriedades físicas desse material. Esse é um importante procedimento utilizado nos materiais semicondutores, a fim de alterar suas propriedades e características elétricas. É devido a esse procedimento que o LED funciona também, como célula fotoelétrica.

Filho (2009, p. 7), destaca que:

Em um cristal semicondutor a dopagem é geralmente realizada para alterar suas propriedades elétricas. O grau de condutividade bem como o mecanismo de

condução do semicondutor dopado irá depender dos tipos de átomos de impurezas introduzidos no cristal. (FILHO, 2009, p. 7).

No caso do LED, destacam-se dois procedimentos principais de dopagem, que classificam o semicondutor como: semicondutor tipo *n*, para aqueles que possuem um excesso de elétrons em sua rede cristalina, ou seja, excesso de carga *negativa*, e semicondutor tipo *p*, para os materiais que possuem excesso de carga *positiva* em sua rede cristalina, ou seja, falta de elétrons.

#### 2.1.2.1 Semicondutores tipo *p* e tipo *n*

Por se tratar de um processo químico, para que se tenha um bom entendimento sobre o procedimento de dopagem e de produção dos semicondutores tipo *p* e tipo *n*, deve-se considerar algumas informações importantes sobre as “características químicas” dos materiais.

Como já foi citado anteriormente, os semicondutores mais comuns são formados por Silício (Si) ou Germânio (Ge). Ambos os elementos químicos, fazem parte de um mesmo grupo na tabela periódica, grupo IV, e por isso apresentam propriedades semelhantes. Uma dessas propriedades é que átomos desses elementos químicos têm quatro elétrons em sua última camada eletrônica (ou camada de valência).

Por apresentarem quatro elétrons em sua última camada, átomos desses elementos (Si ou Ge) “necessitam compartilhar” esses quatro elétrons com elétrons de átomos vizinhos, para que as ligações químicas sejam produzidas. No entanto, se no material for adicionado átomos de elementos químicos diferentes de Si ou Ge (dopagem), essas ligações não serão completas e haverá um excesso ou falta de elétrons na estrutura.

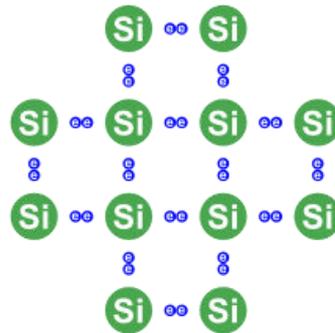
Silva (2014, p. 85), destaca esse processo:

Como os átomos de silício apresentam quatro elétrons em seu último nível eletrônico, para a obtenção do semicondutor tipo *n*, emprega-se como impurezas elementos químicos com mais de quatro elétrons no último orbital (arsênio ou fósforo), para que ocorra um desemparelhamento de elétrons em pontos da rede cristalina [...]. Para o tipo *p*, utilizam-se elementos com menos de quatro elétrons no último orbital (gálio ou boro), resultando em um material com aparente deficiência de elétrons (“buracos”) em seu interior e criando a tendência de receber elétrons. (SILVA, 2014, p. 85-86).

Se existe um excesso de elétrons (excesso de carga *negativa*) na estrutura do material, diz-se que é um semiconductor tipo *n*. De forma análoga, se o material apresenta um excesso de carga *positiva* em sua estrutura, tem-se um semiconductor tipo *p*.

Na figura seguinte, (figura 1) tem-se uma representação de um cristal de silício sem o processo de dopagem, ou seja, um semiconductor puro.

**Figura 1.** Representação de um cristal de Silício (Si).

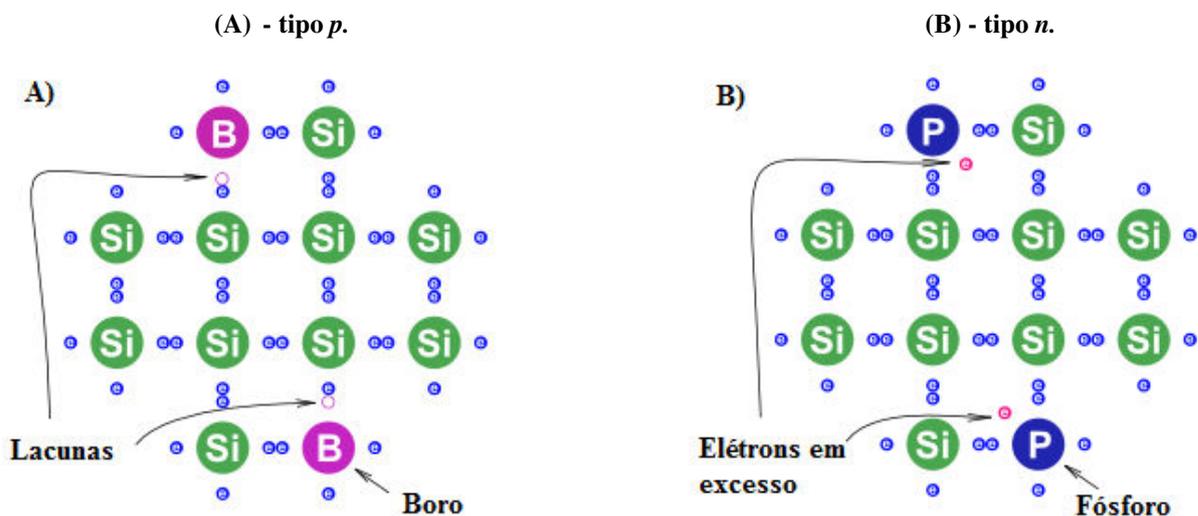


Fonte: Eletronpi. [1]

As figuras a seguir, ilustram o processo de dopagem e os tipos de semicondutores formados. Na figura 2A e 2B, há o processo de dopagem tipo *p* e tipo *n*, respectivamente.

Pode-se perceber que o processo de dopagem tipo *p* (figura 2A), pode ser obtido inserindo-se átomos de Boro (B) na rede cristalina de Silício (Si). Já na dopagem tipo *n*, o semiconductor é alterado, adicionando-se átomos de elementos que possuem cinco ou mais elétrons em sua última camada eletrônica, como o Fósforo (P), por exemplo.

**Figura 2.** Dopagem formando um semiconductor.



Fonte: Eletronpi. [1]

O Boro é um elemento químico que apresenta três elétrons em sua última camada eletrônica (camada de valência). Assim, os átomos de Silício (Si) ligados com o Boro (B), só conseguirão compartilhar três elétrons. É necessário que elétrons de átomos vizinhos saiam para preencher a lacuna criada pelo boro na rede cristalina de silício.

Esse buraco criado pelo boro é também preenchido por elétrons que “sobraram” do processo de dopagem tipo *n*, descrito na imagem acima (figura 2B).

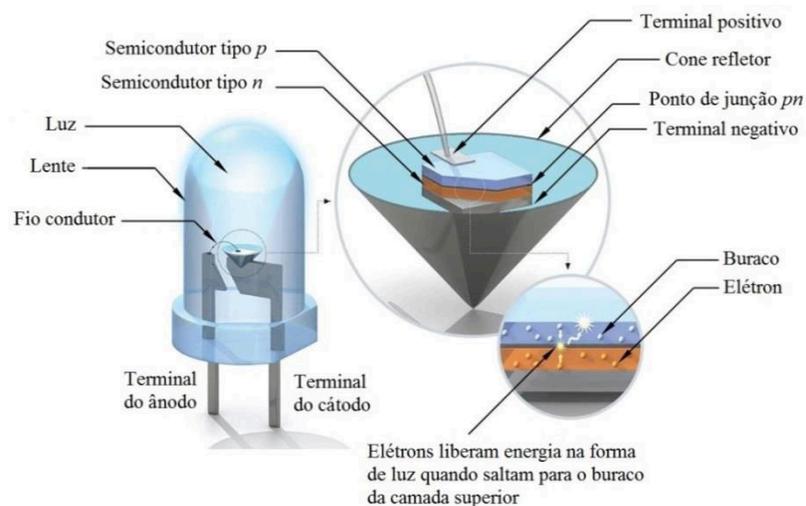
Na dopagem tipo *n*, há um excesso de elétrons na rede cristalina de silício, pois os átomos de fósforo (P) possuem cinco elétrons em sua última camada eletrônica, mas o silício só necessita compartilhar quatro desses elétrons, fazendo com que um desses elétrons do átomo de fósforo, fique livre para circular pelo material.

Filho (2009, p. 12) afirma:

Analisando-se as propriedades básicas dos semicondutores dopados, nota-se que o número de elétrons em um semicondutor tipo *n*, ou lacunas em um semicondutor tipo *p*, cresce com o aumento do número de átomos de impurezas introduzidas no cristal. Com o aumento do número de portadores de carga, aumenta a condutividade elétrica no material. Dessa forma, torna-se possível alterar de forma controlada a condutividade elétrica de um semicondutor, efetuando-se a dosagem adequada da quantidade dopagem do cristal durante a etapa de fabricação. (FILHO, 2009, p. 12).

O LED é formado por uma junção do tipo *pn*, ou seja, de um lado existe o semicondutor tipo *p* (falta de elétrons) do outro o semicondutor tipo *n* (excesso de elétrons), como mostra a figura a seguir (figura 3).

**Figura 3.** Representação ampliada de um LED.



**Fonte:** Zon152: informações de ciência e tecnologia. Com adaptações. [2]

A figura anterior (figura 3), mostra de forma esquemática, o funcionamento do LED como emissor de luz. Nesse caso, os elétrons liberam energia na forma de luz, passando de uma região para outra ( $n$  para  $p$ ), quando estão submetidos a uma diferença de potencial, ou seja, ligados a uma pilha ou bateria. A energia é emitida na forma de luz (pacotes de energia, chamados de fótons). No entanto, os LEDs funcionam também absorvendo fótons (pacotes de energia) provenientes da luz.

Alves e Silva (2008, p. 27) também citam esse procedimento em seu artigo:

O LED também é constituído por uma junção pn [...]. 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 semicondutor e o outro terminal do LED, de modo que a maior parte do semicondutor 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 [...]. (ALVES; SILVA, 2008, p. 27).

### 2.1.3 Fótons

A partir da explicação do efeito fotoelétrico dada por Albert Einstein em 1905, sabe-se que a luz pode ser entendida também como uma constituição de partículas, “pacotes de energia”, quantas (fótons). Essas partículas têm energia  $E$  dada por

$$E = hf \quad (1)$$

onde  $h$  é a constante de Planck e  $f$  a frequência da radiação. Essa equação foi proposta por Albert Einstein em 1905, quando apresentou a explicação para o efeito fotoelétrico. Esse efeito consiste em incidir uma radiação (luz) sobre a superfície de um material, um metal, por exemplo, e esta “arrancar” elétrons dessa estrutura.

O modelo proposto por A. Einstein para explicação do efeito fotoelétrico baseia-se na ideia do quantum de luz (fótons). A luz seria então constituída por partículas que carregavam certa quantidade de energia e transferiam (ou não) toda essa energia a um elétrons que estava preso a estrutura do metal.

No interior do metal, os elétrons estão presos com uma energia dada por  $e\phi$ , onde  $\phi$  é denominada função trabalho e  $e$  é a carga elementar. Assim, para que um elétron de um átomo saia de um nível energético para outro nível mais energético, é necessário que este receba um fóton de energia. Os elétrons saltam de um nível energético para outro mais energético, quando recebem um valor de energia igual ou superior a energia de sua função

trabalho. Isso significa que incidindo sobre um LED uma radiação que tem energia dada por (1), para certos valores de frequência  $f$ , ou seja,

$$hf \geq e\phi \quad (2)$$

onde  $e\phi$  representa a energia necessária para se arrancar um elétron do material, elétrons desse material absorverão essa energia e saltarão para níveis mais energéticos ou serão excitados deste. O contrário desse processo acontece quando um elétron volta para o nível menos energético, liberando um fóton de energia, que pode ser visível na forma de luz.

Os elétrons que estão no último nível (ou camada) dos átomos que compõem um LED, por exemplo, são excitados quando recebem a energia de um fóton e ficam livres para circular pelo material, gerando um fluxo de cargas elétricas no LED. Esse processo é o que torna o LED uma fonte de energia, e é semelhante ao processo de conversão energética das placas solares fotovoltaicas, as quais também são fabricadas com semicondutores.

## 2.2 Geradores e circuitos elétricos

Neste estudo, desenvolveram-se circuitos elétricos simples, com associações em série, paralelo e série-paralelo, usando LEDs. Isso foi necessário, pois os LEDs quando expostos à radiação solar produzem diferentes valores de tensão e intensidade de corrente elétrica. Mas, a intensidade de corrente elétrica produzida é ínfima (na ordem de  $\mu\text{A}$ ), e por isso, devem-se fazer associações específicas, a fim de solucionar esse problema, já que se necessita de valores maiores de intensidade de corrente elétrica para fazer funcionar, uma simples calculadora, por exemplo.

Silva (2014, p. 87-88), falando sobre associações de células fotovoltaicas, destaca que: “[...] células podem ser arrançadas em série e/ou paralelo, a fim de produzir a voltagem e a corrente necessária a cada aplicação.”

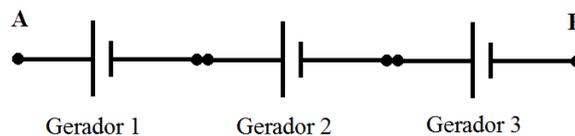
Um circuito elétrico é todo e qualquer arranjo que contém pelo menos um gerador elétrico (que converte algum tipo de energia em energia elétrica), condutores (conduzem a corrente elétrica) e um receptor (elemento que recebe a energia elétrica do gerador).

Foram feitas diferentes associações, as quais se destacam a seguir. Vale lembrar, que como foram usados os LEDs como o *gerador de energia* no circuito, serão abordadas as associações de geradores em circuitos elétricos.

### 2.2.1 Associação de geradores em série

Para que haja o entendimento deste tipo de associação, serão usados como modelo para o estudo, três geradores idênticos, com resistências elétricas internas desprezíveis, conforme ilustrado na figura seguinte (figura 4).

**Figura 4.** Representação de geradores associadas em série.



**Fonte:** Fonte do autor. Paint.

Nesse caso, tem-se uma representação de uma associação em série de três geradores elétricos. A parte maior de cada gerador representa o polo positivo e a parte menor o polo negativo. Assim, percebe-se que o polo negativo do Gerador 1 está ligado ao polo positivo do Gerador 2, e o polo negativo do Gerador 2 está ligado ao polo positivo do Gerador 3.

De acordo com a teoria básica de circuitos elétricos<sup>4</sup>, a força eletromotriz (fem) equivalente dessa associação (em série), representada por " $\varepsilon_{eq.}$ ", é dada pela soma da fem de cada gerador que compõe o circuito, ou seja,

$$\varepsilon_{eq.} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \dots + \varepsilon_n \quad (3)$$

onde os índices 1, 2, 3, representam cada gerador do circuito de  $n$  geradores em série.

Como foi considerado um caso ideal, em que as resistências internas dos geradores foram adotadas como desprezíveis, não existe perda de energia nos geradores e por isso a tensão elétrica ( $V$ ) entre os terminais A e B do circuito, será igual a força eletromotriz equivalente ( $\varepsilon_{eq.}$ ) da associação.

Dessa forma, podem-se considerar três geradores elétricos ideais idênticos, com tensão elétrica nominal de 1,5 volts. A força eletromotriz equivalente ( $\varepsilon_{eq.}$ ) da associação em série desses três geradores é dada por:

$$\varepsilon_{eq.} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 1,5 + 1,5 + 1,5 = 4,5 \text{ volts} \quad (4)$$

É importante notar que, quando é feita uma associação de geradores em série, aumenta-se a tensão elétrica ou voltagem ( $V$ ) do circuito. Porém, isso não acontece com a intensidade de corrente elétrica.

<sup>4</sup> GASPAR, Alberto. **Compreendendo a Física**. 2. ed. v. 3. São Paulo: Ática, 2013.

A intensidade de corrente elétrica ( $i$ ), cuja unidade de medida é o Ampère (A), é uma grandeza fundamental no estudo de circuitos elétricos e associações de circuitos. Essa grandeza é definida pela divisão entre a quantidade de carga elétrica  $Q$  (em módulo), que passa em uma secção transversal de um condutor, por dado intervalo de tempo  $\Delta t$ , ou seja,

$$i = \frac{|Q|}{\Delta t} \quad (5)$$

Na associação em série, todos os geradores estão interligados entre si, e só há “um caminho” por onde as cargas elétricas desses geradores fluem (se deslocem) pelo circuito.

Ao conectar os condutores nos terminais A e B do circuito, será estabelecido um fluxo de cargas elétricas pelo circuito, originando uma intensidade de corrente elétrica ( $i$ ) constante, ou seja, igual em todos os pontos do circuito. Assim, a intensidade de corrente elétrica equivalente  $i_{eq.}$  de uma associação de geradores em série é igual à intensidade de corrente elétrica em cada gerador,

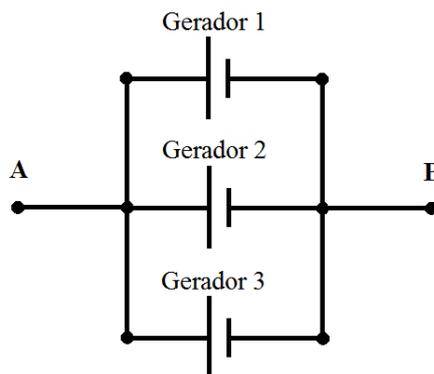
$$i_{eq.} = i_1 = i_2 = i_3 = \dots = i_n \quad (6)$$

em que os índices 1, 2, 3, representam cada gerador do circuito de  $n$  geradores em série. Dessa forma, observa-se que na associação de geradores em série a intensidade de corrente elétrica ( $i$ ) é “sempre a mesma” em todo o circuito. Essa não é uma boa associação quando se necessita aumentar a intensidade de corrente elétrica no circuito.

### 2.2.2 Associação de geradores em paralelo

Esse tipo de associação apresenta algumas características inversas à associação de geradores em série. A figura a seguir (figura 5), ilustra este tipo de associação. Os geradores são idênticos e possuem resistências elétricas internas desprezíveis.

**Figura 5.** Representação de geradores associados em paralelo.



**Fonte:** Fonte do autor. Paint.

Na imagem anterior (figura 5), todos os geradores estão conectados de forma paralela entre os terminais A e B dos condutores. Esse tipo de associação é pouco utilizado, pois apresenta algumas desvantagens.

Uma desvantagem da associação de geradores em paralelo é que mesmo o circuito estando aberto (não conectado entre os terminais A e B), como ilustrado na figura, a corrente pode circular entre os geradores, pois esses estão conectados formando um circuito fechado. Isso faz com que os geradores sejam descarregados mesmo estando “desligados” ou desconectados entre os terminais A e B. Nesse caso, a energia dos geradores é dissipada em outras formas, como para aquecer os condutores, por exemplo.

Existem outras peculiaridades desse tipo de associação, entretanto concentra-se em uma de suas vantagens principais (a qual é fundamental para um melhor funcionamento dos LEDs nas mini placas solares), o aumento da intensidade de corrente elétrica no circuito.

Nesse tipo de associação a intensidade de corrente elétrica equivalente ( $i_{eq.}$ ) é dada pela soma das intensidades de corrente de cada gerador, ou seja,

$$i_{eq.} = i_1 + i_2 + i_3 + \dots + i_n \quad (7)$$

Assim, como é necessário aumentar a intensidade de corrente elétrica nas mini placas solares, esse tipo de associação é fundamental para o estudo.

Como foi considerado que os geradores são idênticos e têm resistências elétricas internas desprezíveis, a força eletromotriz (fem) equivalente da associação ( $\varepsilon_{eq.}$ ) é igual a fem de cada gerador, ou seja,

$$\varepsilon_{eq.} = \varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3 \quad (8)$$

Na associação de geradores em paralelo a tensão elétrica no circuito não é “alterada”, já a intensidade de corrente elétrica tem seu valor aumentado.

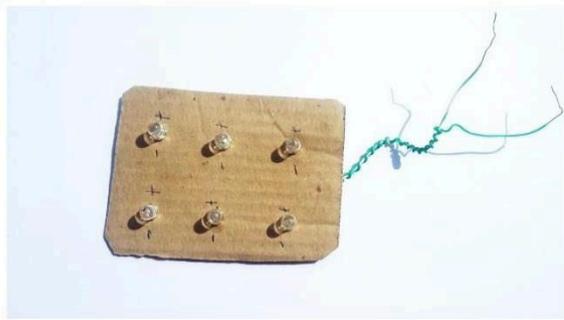
### 2.3 Mini placas solares

As figuras a seguir (figura 6A e 6B) apresentam uma das mini placas solares confeccionadas neste projeto.

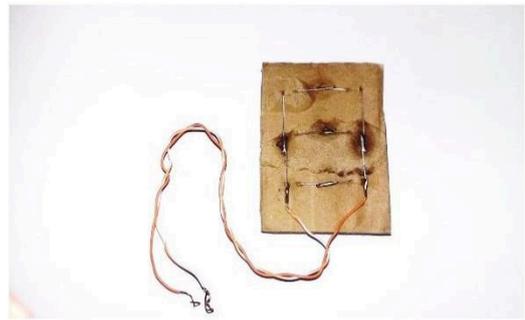
As mini placas solares foram confeccionadas usando LEDs de alto brilho, papelão, fios condutores e solda de estanho-chumbo para fixação das ligações e conexões dos terminais dos LEDs.

**Figura 6.** Mini placa solar.

(A) – Parte frontal que é exposta ao sol.



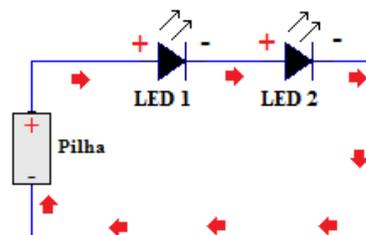
(B) - Plano de ligação.

**Fonte:** Arquivos do autor.

A figura anterior (figura 6B) apresenta o plano de ligação usado nas mini placas solares. Os terminais dos LEDs foram fixados com solda de estanho-chumbo para uma melhor conexão elétrica de seus terminais.

Por se tratar de um *diodo*<sup>5</sup>, o LED é um dispositivo que só funciona com a corrente elétrica fluindo em um único sentido, ou seja, é necessário que seus terminais (ânodo e cátodo) estejam conectados corretamente aos polos de uma pilha ou bateria, para um bom funcionamento desse diodo.

O terminal positivo do LED (ânodo) deve ser conectado ao terminal positivo da bateria e o cátodo (terminal negativo do LED) deve ser conectado ao polo negativo da bateria. Se os terminais forem conectados de forma invertida na bateria, o LED não irá acender. A figura a seguir (figura 7) ilustra uma ligação correta de LEDs em um circuito elétrico.

**Figura 7.** Circuito com LEDs emitindo fótons.**Fonte:** Fonte do autor. Paint.

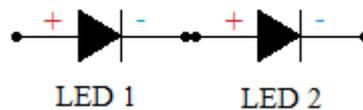
As mini placas solares foram confeccionadas considerando essas características que os LEDs apresentam de “permitir” (ou não) o fluxo de cargas elétricas pelo circuito. Assim, os

<sup>5</sup> Componente eletrônico também muito usado para estabelecer o sentido do fluxo de corrente elétrica em um circuito.

LEDs associados em série apresentam a mesma configuração da figura acima (figura 7), onde o cátodo do LED 1 é conectado ao ânodo do LED 2 para que o fluxo de corrente elétrica seja estabelecido no circuito.

Foram feitas associações em série e paralelo de LEDs, da seguinte forma: associando dois LEDs em série, e em seguida, associando em paralelo, três, quatro ou cinco associações de dois LEDs em série. As figuras a seguir (figura 8 e 9) representam esses processos.

**Figura 8.** Associação de dois LEDs em série



**Fonte:** Fonte do autor. Paint.

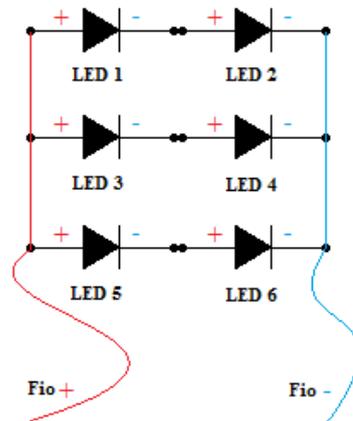
Na associação representada na figura acima (figura 8), há dois LEDs associados em série. Vale lembrar que como foi proposto usar os LEDs como geradores de energia para os circuitos, esse tipo de associação (associação de geradores em série) proporciona apenas um aumento na tensão elétrica do circuito, já discutido anteriormente (e que será melhor compreendido na seção resultados experimentais).

Foram usados apenas dois LEDs em série, pois esse tipo de arranjo proporciona um valor considerável de tensão elétrica no circuito. Entretanto, necessita-se aumentar a intensidade de corrente elétrica no circuito, visto que os LEDs como geradores de energia, apresentam valores muito pequenos dessa grandeza, na ordem de micro ampère ( $\mu\text{A}$ ).

Como já visto anteriormente, uma das características principais de associação de geradores em paralelo é o aumento da intensidade de corrente elétrica no circuito. Assim, as mini placas solares foram confeccionadas fazendo associações em paralelo das associações em série descritas anteriormente (figura 8).

A figura seguinte (figura 9) ilustra o esquema de uma mini placa solar confeccionada neste projeto. Nesse caso, foi feita a associação em paralelo de um conjunto de dois LEDs associados em série. Esse é apenas um tipo de arranjo que se utilizou, no entanto, foram confeccionadas diferentes mini placas solares com diferentes quantidades de LEDs.

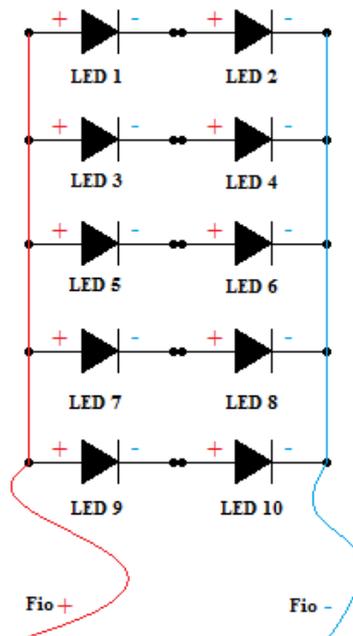
**Figura 9.** Representação esquemática de uma mini placa solar de seis LEDs.



**Fonte:** Fonte do autor. Paint.

Em todos os casos, foram usados sempre dois LEDs associados em série e demais associados em paralelo, ou seja, uma mini placa solar com dez LEDs (figura 10), por exemplo, apresenta duas linhas de dois LEDs a mais da representação da figura anterior (figura 9).

**Figura 10.** Mini placa solar de dez LEDs.



**Fonte:** Fonte do autor. Paint.

A figura anterior (figura 10) representa uma mini placa solar confeccionada utilizando dez LEDs. Vale lembrar que a intenção de fazer a associação em paralelo no circuito é aumentar a intensidade de corrente elétrica produzida, podendo utilizar essas mini placas solares para demonstração direta da conversão de energia solar em elétrica, fazendo funcionar

algum aparelho eletroeletrônico que opere nas condições de energia produzidas pelas mini placas solares.

Como já citado anteriormente, a diferença entre os dois arranjos de circuitos elétricos confeccionados, mostrados nas figuras (figura 9 e 10), é o aumento de LEDs conectados em série-paralelo ao circuito. Os resultados experimentais que serão apresentados a seguir confirmarão a intenção de fazer esse tipo de associação nas mini placas solares.

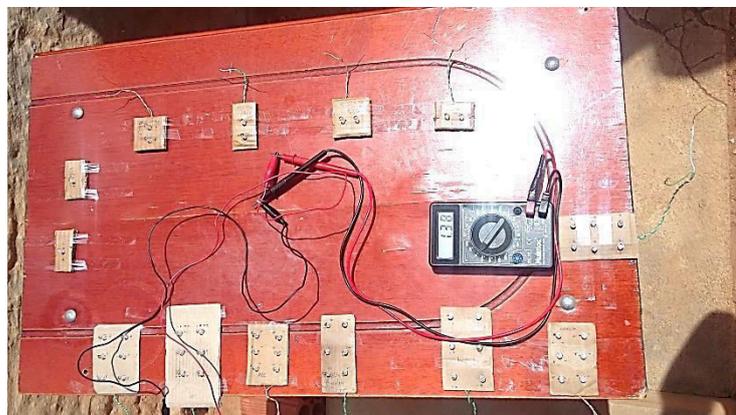
### **2.3.1 Resultados experimentais**

Os resultados que serão apresentados a seguir, foram coletados em dias de céu aberto (com poucas nuvens) do verão, no sertão paraibano, entre as 11h00min e 13h00min dos dias 02 e 10 de janeiro de 2017.

Para a coleta desses resultados, foi usada como base para fixação, uma pequena banca onde foram presas as mini placas solares e demais arranjos de LEDs com fita adesiva. Inclinou-se o arranjo (LEDs e banca) em direção ao sol para uma maior incidência dos raios solares sobre as mini placas solares, e conseqüentemente, obtenção de melhores resultados na coleta dos dados.

A figura a seguir (figura 11), exhibe o arranjo confeccionado para realização das medidas experimentais apresentadas neste trabalho.

**Figura 11.** Base de fixação das mini placas solares para medidas.



**Fonte:** Fonte do autor.

Foram utilizados LEDs que emitem luz nas cores azul e vermelha. Assim, foram feitas diferentes medidas de tensão e intensidade de corrente elétrica produzida pelas mini placas solares e demais associações de LEDs nas cores azul e vermelha.

Para cada tipo de associação ou arranjo, coletaram-se dois valores dessas medidas (tensão e corrente elétrica) utilizando um multímetro digital que tem precisão de medida de  $\pm 0,5\%$  para corrente contínua e  $\pm 1,0\%$  para corrente alternada, de acordo com as especificações do fabricante.

A tabela a seguir (tabela 1) apresenta os valores obtidos para a tensão e corrente elétrica, usando um LED de cor azul e outro na cor vermelha. Os valores de corrente elétrica foram obtidos com o multímetro na função corrente contínua (até  $200 \mu\text{A}$ ), onde um microampère ( $1 \mu\text{A}$ ) equivale a  $1,0 \cdot 10^{-6}$  Ampère (A) ou  $0,000001$  A.

**Tabela 1.** Valores obtidos para um LED.

<b>Valores de tensão e corrente elétrica produzidos por um único LED de alto brilho</b>						
<b>LED</b>	Tensão – medida 1	Tensão – medida 2	Corrente – medida 1	Corrente – medida 2	Média da tensão	Média da corrente
<b>Azul</b>	0,25 V	0,25 V	0,3 $\mu\text{A}$	0,3 $\mu\text{A}$	<b>0,25 V</b>	<b>0,3 <math>\mu\text{A}</math></b>
<b>Vermelho</b>	1,41 V	1,41 V	2,8 $\mu\text{A}$	2,9 $\mu\text{A}$	<b>1,41 V</b>	<b>2,85 <math>\mu\text{A}</math></b>

**Fonte:** Medidas realizadas pelo autor.

Com os valores apresentados na tabela acima, percebe-se uma diferença considerável nos valores de tensão e corrente, obtidos para um LED azul em comparação com os apresentados pelo LED vermelho. Dessa forma, é possível acreditar que os LEDs vermelhos apresentem melhores resultados nas mini placas solares confeccionadas.

É importante destacar que a intensidade de corrente elétrica observada para todos os casos que foram apresentados aqui, é máxima, pois a medida foi feita considerando uma situação de “curto-circuito”, ou seja, conectando os terminais do multímetro diretamente aos terminais de cada LED formando um circuito fechado.

**Tabela 2.** Resultados para uma associação em série de dois LEDs.

<b>Associação em série de dois LEDs de alto brilho</b>						
<b>LED</b>	Tensão – medida 1	Tensão – medida 2	Corrente – medida 1	Corrente – medida 2	Média da tensão	Média da corrente
<b>Azul</b>	0,17 V	0,17 V	0,2 $\mu\text{A}$	0,2 $\mu\text{A}$	<b>0,17 V</b>	<b>0,2 <math>\mu\text{A}</math></b>
<b>Vermelho</b>	1,93 V	1,93 V	2,0 $\mu\text{A}$	2,0 $\mu\text{A}$	<b>1,93 V</b>	<b>2,0 <math>\mu\text{A}</math></b>

Na tabela anterior (tabela 2), há os valores para uma associação em série de dois LEDs. Os valores obtidos favorecem uma interpretação curiosa sobre a associação desses dispositivos, quando comparados aos valores observados para um único LED descrito na tabela que se antecede (tabela 1).

Os LEDs azuis apresentaram uma “queda” em seus resultados de tensão e corrente. Já os LEDs vermelhos tiveram um pequeno aumento no valor da tensão e uma pequena queda no valor da corrente elétrica produzida. Isso confirma o interesse de fazer a associação em série de apenas dois LEDs, visto que esse tipo de associação proporciona um pequeno aumento na tensão elétrica produzida, entretanto, diminui o valor da intensidade de corrente no circuito.

A tabela seguinte (tabela 3) traz os resultados obtidos para uma associação em paralelo de dois LEDs. Foi feito esse tipo de associação para comparar os resultados com os obtidos na associação em série, descrita anteriormente.

**Tabela 3.** Resultados para uma associação de dois LEDs em paralelo.

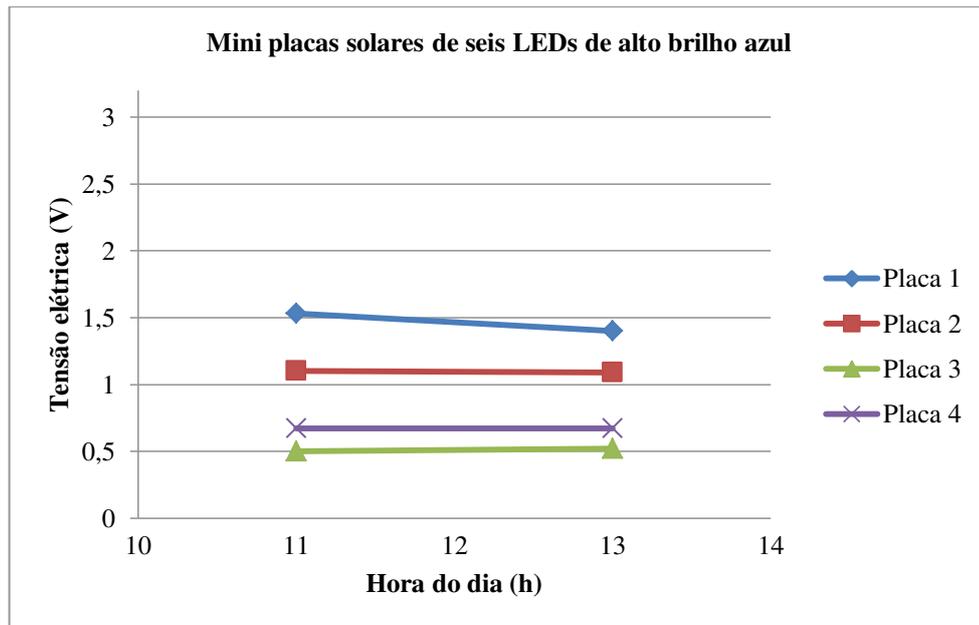
<b>Associação em paralelo de dois LEDs de alto brilho</b>						
<b>LED</b>	Tensão – medida 1	Tensão – medida 2	Corrente – medida 1	Corrente – medida 2	Média da tensão	Média da corrente
<b>Azul</b>	0,37 V	0,36 V	0,4 $\mu$ A	0,4 $\mu$ A	<b>0,365 V</b>	<b>0,4 <math>\mu</math>A</b>
<b>Vermelho</b>	1,43 V	1,43 V	4,4 $\mu$ A	4,3 $\mu$ A	<b>1,43 V</b>	<b>4,35 <math>\mu</math>A</b>

**Fonte:** Medidas realizadas pelo autor.

Com os resultados apresentados anteriormente (tabela 3), nota-se uma pequena diferença dos resultados obtidos na associação em série (tabela 2). Vê-se que os LEDs azuis, associados em paralelo, apresentam um pequeno aumento no valor da tensão produzida. Já a corrente elétrica produzida para essa associação, é o dobro daquela medida para uma associação em série.

Os LEDs vermelhos apresentam resultados ainda mais satisfatórios. A tensão elétrica produzida na associação em paralelo tem valor abaixo daquele produzido na associação em série. Entretanto, a intensidade de corrente elétrica medida, é mais que o dobro, na associação em paralelo, justificando o fato de esse tipo de associação ter sido adotado para as mini placas solares, que pode ser melhor compreendido com os resultados apresentados nos gráficos a seguir.

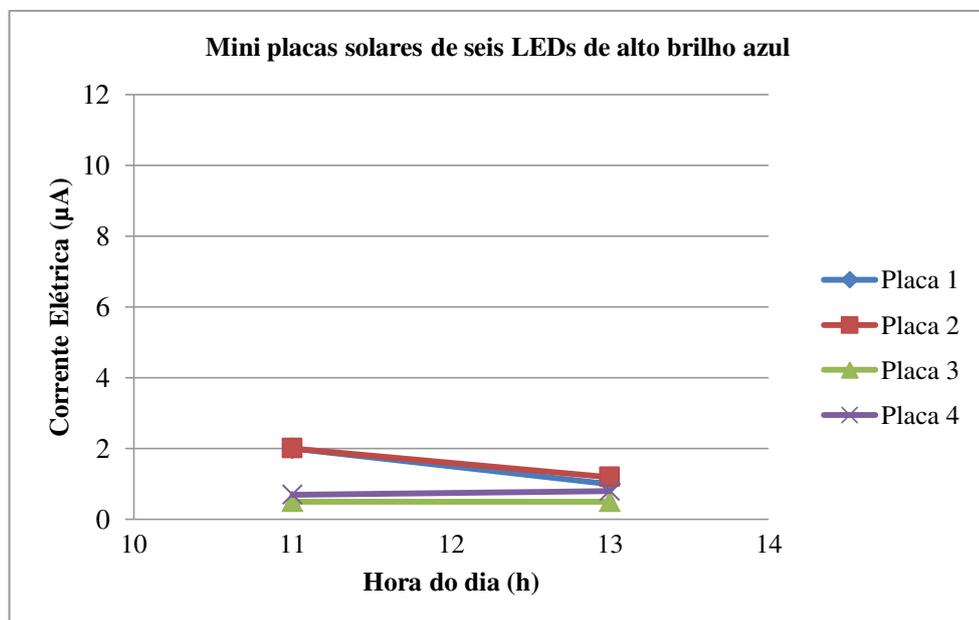
**Figura 12.** Gráfico da tensão elétrica.



**Fonte:** Medidas realizadas pelo autor. Microsoft Excel.

Com os resultados descritos no gráfico anterior (figura 12), observa-se os valores obtidos para a tensão elétrica nas mini placas solares confeccionadas com LEDs azuis, as quais apresentam valores relativamente baixos para essa grandeza. O gráfico seguinte (figura 13) apresenta os valores de intensidade de corrente elétrica medidos nas mesmas mini placas solares.

**Figura 13.** Gráfico da corrente elétrica.

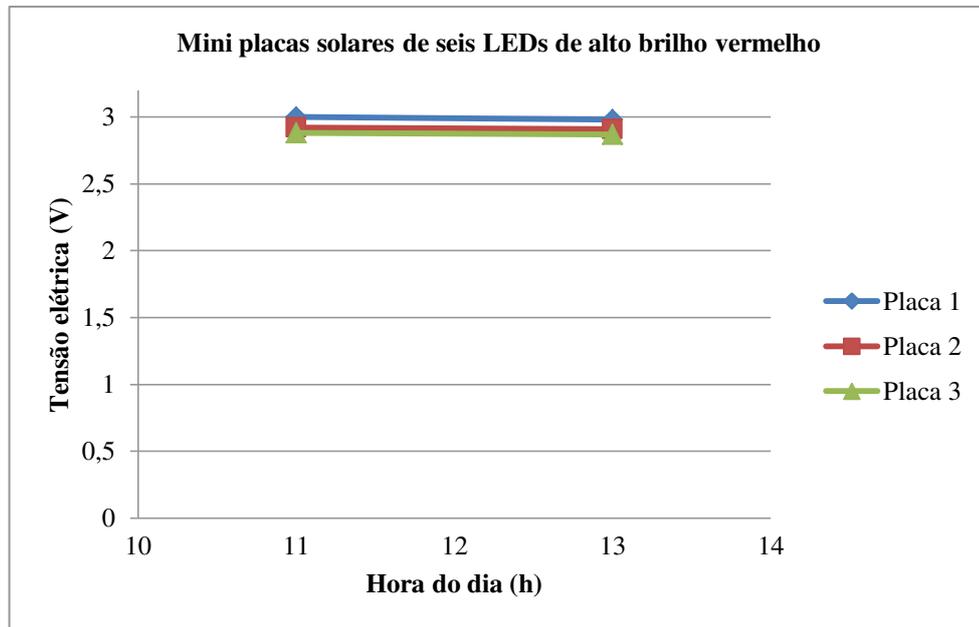


**Fonte:** Medidas realizadas pelo autor. Microsoft Excel.

O gráfico anterior (figura 13) mostra os resultados experimentais obtidos para a intensidade de corrente elétrica produzida nas mini placas solares, usando LEDs de alto brilho azul. Os resultados são expressos em microampère ( $\mu\text{A}$ ).

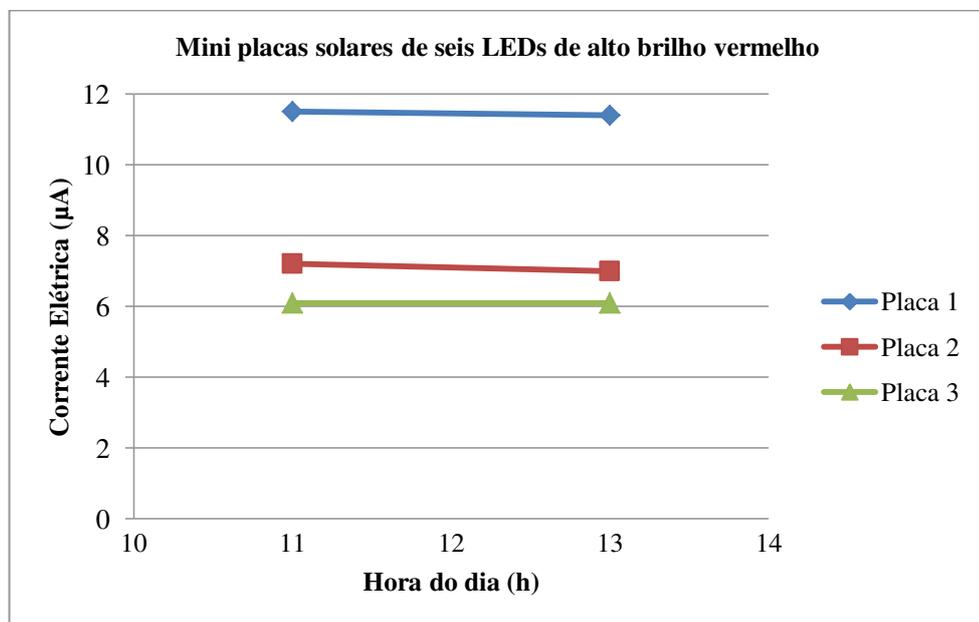
O gráfico seguinte (figura 14), apresenta os resultados experimentais obtidos para três mini placas solares de seis LEDs de alto brilho vermelho.

**Figura 14.** Gráfico da tensão elétrica.



**Fonte:** Medidas realizadas pelo autor. Microsoft Excel.

**Figura 15.** Gráfico da corrente elétrica.



**Fonte:** Medidas realizadas pelo autor. Microsoft Excel.

Comparando os dados dos gráficos anteriores, nota-se que os LEDs vermelhos apresentam resultados mais significativos para a tensão elétrica produzida nos circuitos. Os resultados são ainda mais satisfatórios para a intensidade de corrente elétrica, como pode ser observado no gráfico anterior (figura 15).

Os resultados apresentados no gráfico precedente (figura 15) confirmam a hipótese de que os LEDs de alto brilho vermelhos apresentam melhores resultados quando comparados com os LEDs azuis. Isso leva a algumas indagações sobre tal fenômeno e sua explicação. Entretanto, esse não é o objetivo desse trabalho, explicar a diferença de produção energética para cada tipo de LED.

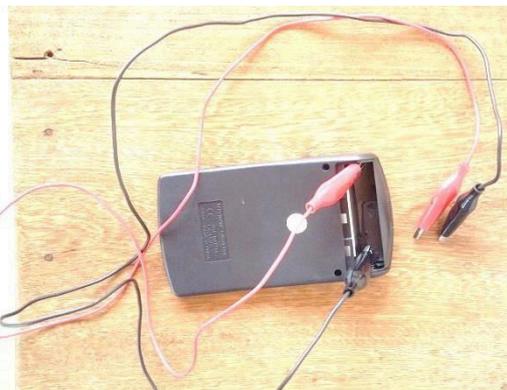
Uma explicação para esse fato pode estar ligada à composição química de cada tipo de LED ou ao fato de terem sido realizadas medidas em horários diferentes, gerando alterações nas condições de exposição solar de cada LED ou conjunto destes, visto que, foram feitas medidas em um dado intervalo de tempo e não instantaneamente. No entanto, busca-se minimizar ao máximo a diferença entre as medidas, para que os resultados sejam satisfatórios e confiáveis.

Como já citado anteriormente, as mini placas solares podem ser usadas para fazer funcionar aparelhos ou equipamentos que operem nas condições descritas acima nos resultados experimentais, de tensão e corrente elétrica produzida. Pensando nisso, usou-se uma calculadora que funciona com uma pilha de 1,5 volts e corrente elétrica na ordem de miliampère (mA). As imagens a seguir (figura 16A e 16B) ilustram essa situação.

**Figura 16.** Ligando uma calculadora com uma mini placa solar.

(A) – Plano de ligação da calculadora.

(B) – Calculadora em funcionamento.



Fonte: Arquivos do autor.

As figuras anterior (figura 16A e 16B), mostram o perfeito funcionamento de uma mini placa solar, convertendo energia solar em elétrica, fazendo funcionar a calculadora.

Acredita-se que esse é um importante recurso a ser utilizado por professores, alunos ou público em geral, que busque converter energia solar em elétrica usando materiais simples e de custo relativamente baixo.

É importante salientar que a finalidade deste trabalho não foi produzir energia em escalas maiores, como é feito pelos sistemas fotovoltaicos convencionais usados em residências, empresas, repartições, etc.. Isso seria inviável, pois como apresentado anteriormente com os resultados experimentais, os LEDs produzem uma tensão considerável, entretanto a corrente elétrica produzida é muito pequena, e isso o torna inviável de ser usado em escalas maiores.

Para entender melhor a capacidade de produção energética das mini placas solares, deve-se tomar como base os melhores resultados obtidos para tensão e corrente elétrica produzida, e calcular a potência gerada por essa mini placa solar. A equação da potência de um gerador é dada por

$$P = U \cdot i \quad (9)$$

onde  $U$  é a tensão elétrica e  $i$  a intensidade de corrente elétrica do circuito.

A mini placa solar que apresentou os melhores resultados foi a Placa 1 de LEDs vermelhos, cujos resultados foram: tensão elétrica máxima de 3,0 volts e corrente elétrica máxima de 11,8  $\mu\text{A}$ . Desse modo, a potência elétrica máxima fornecida por essa mini placa solar é dada por:

$$P = U \cdot i = 3,0 \text{ volts} \cdot 11,8 \mu\text{A} = 35,4 \cdot 10^{-6} \text{ watts} \quad (10)$$

$$P = 0,0000354 \text{ watts}$$

Toma-se como modelo, uma lâmpada de 40 watts de potência. Assim, quando a lâmpada estiver funcionando a máxima potência ela fornece 40 watts de potência na forma de trabalho.

Se desejar ligar com mini placas solares, uma única lâmpada dessas de 40 watts (funcionando com máxima potência) terá a seguinte situação: uma mini placa solar fornece uma potência máxima de 0,0000354 watts e necessita-se de 40 watts de potência.

Fazendo uma simples divisão chega-se ao resultado de que seriam necessárias aproximadamente 1.129.944 (um milhão cento e vinte nove mil novecentos e quarenta e quatro) mini placas solares como a citada acima, para gerar uma potência de 40 watts. Entretanto, isso é apenas um exemplo e esse resultado pode variar, conforme seja alterada a situação.

### 3 CONCLUSÃO

No cotidiano é comum ver e ouvir falar sobre a energia solar e seu potencial como fonte de energia limpa e renovável. Para alguns, é considerada a energia do futuro, entretanto acredita-se que essa seja a energia do presente e do futuro, pois a busca por essa fonte alternativa de energia já é uma realidade e vem crescendo cada vez mais.

Na escola, na universidade, nos jornais, na TV, etc., em todos os casos a energia solar se apresenta. Contudo, o estudo dos fenômenos físicos associados e a demonstração prática desses fenômenos e da conversão dessa energia em outras formas, são pouco debatidos ou não são considerados.

Assim, foram desenvolvidas atividades que aproximam estudantes, professores e público em geral das ciências, em especial da Física, que está inserida nesses processos, uma vez que as práticas desenvolvidas e descritas neste trabalho fortalecem de forma significativa a abordagem desse tipo de energia, dentro e fora da sala de aula.

Neste trabalho, foram realizados alguns métodos, arranjos, associações, entre outras técnicas, que são consideradas importantes e que serão úteis para os educadores que busquem desenvolver atividades voltadas para a conversão de energia solar e formas de obtenção desta.

Os resultados experimentais alcançados foram satisfatórios, uma vez que foi produzida energia elétrica a partir da energia solar, como também, desenvolveu-se um produto que pode ser usado por alunos, professores, escolas, etc., na busca por uma sociedade mais sustentável e consciente de suas ações, que procure entender melhor como acontece o processo de conversão energética e poder “solucionar” situações-problema do cotidiano que envolvam a energia solar, sua obtenção e fenômenos associados.

Acredita-se que os métodos utilizados neste trabalho sejam de grande relevância para alunos, professores e público em geral, que busquem entender melhor a energia solar e os processos de conversão desta.

Certamente, é mais instigante e interessante tratar da energia solar e sua produção, mostrando uma calculadora funcionando com a energia gerada a partir de uma simples associação de LEDs expostos ao sol.

## USING THE LED IN CLEAN AND RENEWABLE ENERGY PRODUCTION: CONSTRUCTION OF MINI PHOTOVOLTAIC SOLAR PLATES

### ABSTRACT

In the present work, a technique for obtaining and converting solar energy to electrical energy using simple, low-cost and easy-to-acquire materials is briefly presented. The main objective is to demonstrate the conversion of solar energy to electrical energy using simple materials, since solar panels have high costs, which encouraged the realization of this research. In order to do so, it is proposed to develop activities and techniques based on bibliographical and quantitative research using high-emitting Lights Emissions Diodes (LEDs) that emit light in blue and red, which when absorbed in sunlight absorb this energy by converting it In electric energy that can be used to operate any electronic device or product that operates under the generated power conditions. LEDs have similar characteristics to photovoltaic cells (made up of semiconductors) and some special techniques make them an energy generator. Specific associations of LEDs will be made based on the basic theory about associations of these devices, and on the experimental results obtained for each type of LED when exposed to the sun. With the experimental results, it will be noticed that the red LEDs are the ones with the best values of voltage and electric current produced, and that by arranging series-parallel associations of these, one can use them as an energy generator by running a calculator. It is desired to produce energy, developing forms and techniques that are able to show in a practical way the conversion of solar energy into electrical and associated physical phenomena.

**Keywords:** Electric power. LED. Mini solar plates.

## REFERÊNCIAS

ALVES, E. G; SILVA, A. F. **Usando um LED como fonte de energia**. Belo Horizonte: FnE, 2008. Disponível em: < <http://www1.fisica.org.br/fne/edicoes/category/15-volume-09-n-1-maio>>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520**: informação e documentação: citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro, 2002.

\_\_\_\_\_. **NBR 14724**: informação e documentação: trabalhos acadêmicos: apresentação. Rio de Janeiro, 2002.

\_\_\_\_\_. **NBR 6023**: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

\_\_\_\_\_. **NBR 6024**: informação e documentação: numeração progressiva das seções de um documento escrito: apresentação. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 6027**: informação e documentação: sumário: apresentação. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 6028**: informação e documentação: resumo: apresentação. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 6034**: informação e documentação: índice: apresentação. Rio de Janeiro, 2004.

ELETRONPI. **Curso de eletrônica: semicondutores**. 3 ilustrações [1]. Disponível em: <<http://www.eletronpi.com.br/ce-024-semicondutor.aspx>>. Acesso em: 21 de dezembro 2016.

FILHO, Júlio Mesquita. **Semicondutores**. Apostilas. São Paulo: 2009. Disponível em: <[http://www.feg.unesp.br/~jmarcelo/restrito/arquivos\\_downloads/apostilas/eb2/semicondut\\_v1.pdf](http://www.feg.unesp.br/~jmarcelo/restrito/arquivos_downloads/apostilas/eb2/semicondut_v1.pdf)>. Acesso em: 10 de janeiro de 2017.

GASPAR, Alberto. **Compreendendo a Física**. Ensino Médio. 3. 2. ed. Livro do professor. São Paulo: Ática, 2013. 460 p.

INSTITUTO PARA O DESENVOLVIMENTO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS NA AMÉRICA LATINA. **O mercado brasileiro de geração distribuída fotovoltaica – edição 2016**. Rio de Janeiro, 2016. 78 p. Disponível em: <[https://issuu.com/idealeco\\_logicas/docs/estudofv2016\\_final](https://issuu.com/idealeco_logicas/docs/estudofv2016_final)>. Acesso em: 21 de dezembro 2016.

MERIGO, C. **Nick Holonyak, o inventor do LED**. Artigos. B9. 2012. Disponível em: <<http://www.b9.com.br/32100/tech/nick-holonyak-o-inventor-do-led/>>. Acesso em: 11 de janeiro de 2017.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de Física básica**. vol. 4. São Paulo: Blucher, 1998. 437 p.

PADILHA, A. C. M. et al. **Caracterização do efeito fotoelétrico e determinação experimental da constante de Planck**. Artigos. São Paulo: 2006. 6 p. Disponível em: <[http://astro.sunysb.edu/steinkirch/reviews/lab\\_fot.pdf](http://astro.sunysb.edu/steinkirch/reviews/lab_fot.pdf)>. Acesso em: 11 de janeiro de 2017.

SILVA, Ennio Peres da. **Fontes renováveis de energia: produção de energia para um desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Livraria da Física, 2014. 356 p.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA. **Guia de normalização de artigos: sistema integrado de bibliotecas**. Campina Grande, 2017. Disponível em: <http://biblioteca.uepb.edu.br/abnt-guia-de-normalizacao/>>. Acesso em: 12 de janeiro de 2017.

ZON 152: Informações de Ciência, Tecnologia e Engenharia. **LED (Light Emitting Diode)**. 2010. 1 ilustração [2]. Disponível em: <<http://zon152.blogspot.com.br/2010/05/led-light-emitting-diode.html>>. Acesso em: 22 de dezembro de 2016.