



# Medição da eficiência de uma célula fotovoltaica: Uma proposta de baixo custo para fins didáticos

.....

**Thiago Queiroz Costa**

Instituto Federal do Paraná, Campus Ivaiporã, Ivaiporã, PR, Brasil  
E-mail: thiago.costa@ifpr.edu.br

**Usley da Silva Cherpinski**

Instituto Federal do Paraná, Campus Ivaiporã, Ivaiporã, PR, Brasil  
.....

## Introdução

Há algum tempo, discussões relacionadas à matriz energética brasileira permeiam as discussões nos mais variados setores da sociedade, principalmente nos diversos momentos de crise energética que atingiram e impactam a vida da população. Nesse sentido, dentro de tal temática, sobretudo relacionado às energias renováveis, a proposta deste trabalho é desenvolver um kit experimental de baixo custo para se medir a eficiência de uma fotocélula ou célula fotovoltaica ou simplesmente célula para fins didáticos com foco na educação básica.

O kit é composto então por uma fotocélula conectada a um potenciômetro, cabos elétricos e um suporte articulado a fim de variar parâmetros luminosos que chegam até o dispositivo [1]. O material base desse kit foi aproveitado de luminárias comumente empregadas em jardins como iluminação decorativa (Fig. 1). Esses dispositivos possuem como material semicondutor de suas células geralmente filmes finos de Silício amorfo (a-Si) ou também policristais como cobre, índio, gálio e seleneto (CIS/CIGS).

Embora existam opções de menor preço em diversos sítios eletrônicos,



Figura 1: Exemplo de luminária de jardim do tipo "solar". Fonte: [www.blogdaengenharia.com](http://www.blogdaengenharia.com), acesso em Junho de 2018.

optou-se pela escolha dessa luminária pois a célula é fixada a um vidro que tem a função de sustentação e proteção e também a parte interna e traseira dessa célula acondiciona perfeitamente o potenciômetro a ser utilizado (Fig. 2).

## Objetivo

Desenvolver um kit experimental de baixo custo para se medir a eficiência de uma fotocélula ou célula fotovoltaica ou simplesmente célula para fins didáticos

A proposta desse trabalho consistiu em desenvolver um kit experimental de baixo custo, relacionado a alguns conceitos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) dentro de um projeto de pesquisa/extensão voltado para professores de física da rede estadual. Ao longo deste, foram buscadas atividades relacionadas com aplicações da FMC por se acreditar na maior abrangência dessa opção frente ao público-alvo. Nesse sentido chegamos ao kit aqui apresentado, composto então por uma fotocélula conectada a um potenciômetro, cabos elétricos e um suporte articulado com o objetivo principal de se medir a eficiência de tal dispositivo quando exposto à radiação luminosa ou artificial, onde é possível se utilizar tal aparato com diversos enfoques metodológicos, podendo contribuir com a área de ensino de física e ciências.



Figura 2: Aspecto da célula fotovoltaica (frente e verso).

com foco na educação básica.

## Materiais e equipamentos

Para a confecção do kit foram usados os seguintes materiais e equipamentos:

### Materiais

- 1 Luminária de jardim solar;
- 1 potenciômetro linear ou logarítmico com valores entre 1 kΩ a 5 Ω;
- 4 pinos banana (2 vermelhos e 2 pretos);
- Espaguete termo-retrátil ou fita isolante;
- Estanho para solda;
- Fios elétricos coloridos e finos;
- Madeira para a base do kit;
- Suporte articulado de alarme.

### Equipamentos e ferramentas:

- Alicates de corte;
- Chave de fenda cruzada (chave "Phillips");
- Estilete;
- Ferro de Solda;
- 2 Multímetros digitais.

### Metodologia /procedimentos experimentais

A proposta deste trabalho é a montagem de um kit experimental baseado em uma célula fotovoltaica aproveitada de luminárias decorativas de jardim e, com tal dispositivo, medir a eficiência energética do mesmo ao expô-la à radiação solar. Para tanto, com o auxílio de uma carga conectada à célula, variam-se duas grandezas físicas, tensão ( $V$ ) e corrente ( $i$ ) e com tais variações plotam-se duas curvas: corrente ( $i$ ) em função da tensão ( $V$ ) e po-

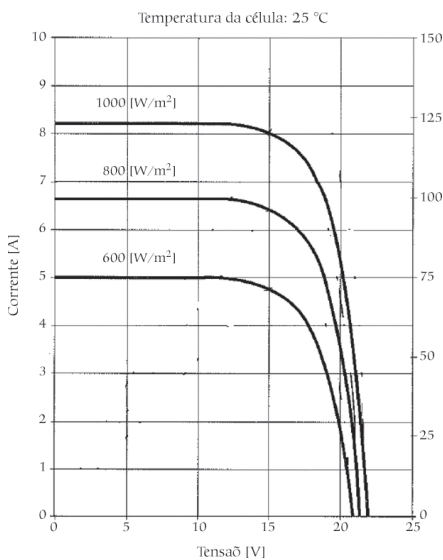


Figura 3: Curva característica  $i$  vs.  $V$  para a célula fotovoltaica. Fonte: Ref. [2].

tência ( $P$ ) em função da tensão ( $V$ ).

A curva  $i$  vs.  $V$  é característica para uma célula fotovoltaica (Fig. 3), pois uma célula fotovoltaica não se comporta como uma fonte elétrica convencional. A célula não apresenta uma tensão de saída constante nos seus terminais. A tensão elétrica depende de sua corrente e vice-versa [3].

A partir da curva potência  $P$  vs.  $V$  gerada pela célula, é possível medir a eficiência da célula fotovoltaica por meio da seguinte relação

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} \times 100\% \quad (1)$$

em que  $P_u$  é a potência útil "fornecida" pela célula e  $P_a$  é a potência absorvida pela célula em  $W/m^2$ .

É possível empregar a Eq. (1), pois uma célula como a utilizada neste trabalho comporta-se tecnicamente como um gerador de corrente contínua; logo, podemos aplicar a fórmula do rendimento de uma máquina em regime de corrente contínua [2]. Ainda relacionado com a expressão, a potência útil é obtida a partir da identificação do ponto de pico (potência máxima) na curva apresentada na Fig. 4. [3].

Para se obter a potência absorvida pela célula, deve-se conhecer a intensidade da radiação solar, irradiação ou irradiância em  $W/m^2$  que atinge o dispositivo multiplicada pelo valor da área da célula em  $m^2$ . Para se medir a irradiância de forma precisa, é necessário o uso de aparelhos denominados solarímetros; contudo, devido a esta proposta ser voltada para o ensino, sugere-se o uso de estimativas para essa grandeza, em acordo com as condições atmosféricas locais no momento de

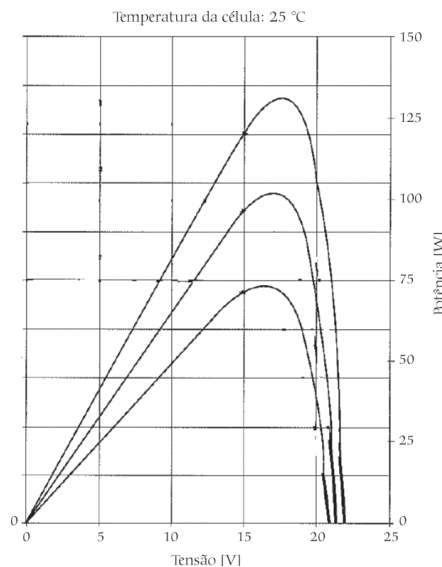


Figura 4: Curva característica  $P$  vs.  $V$  para a célula fotovoltaica. Fonte: Ref. [2].

realização da atividade experimental. Para tais estimativas, empregou-se o gráfico da Fig. 5.

A depender da condição climática do local, usa-se um dos valores indicados na Fig. 5, ou seja, 1000  $W/m^2$  com o dia ensolarado e sem nuvens, cerca de 700  $W/m^2$  para o dia com sol entre nuvens, aproximadamente 400  $W/m^2$  para os dias nublados e nos dias de chuva cerca de 100  $W/m^2$  – mesmo que nesta proposta não seja possível realizar a atividade em dias chuvosos, os demais são plausíveis.

### Montagem do kit experimental

Para o desenvolvimento desse kit experimental, iremos conectar uma carga à célula; no caso, usaremos um potenciômetro linear ou logarítmico com valores entre 1 kΩ a 5 kΩ, de acordo com o circuito elétrico representado na Fig. 6. Em termos de realização do procedimento experimental, a variação da resistência no potenciômetro provocará alterações nos valores da tensão elétrica e na intensidade da corrente elétrica gerados pela célula. Com esses valores, iremos construir as curvas características da célula e também propor a medição da eficiência desse dispositivo.

A partir do diagrama apresentado na Fig. 6 partimos para a montagem desse kit experimental de forma detalhada.

#### Passo 1:

Vamos nos concentrar em utilizar a parte de trás da célula, onde é possível

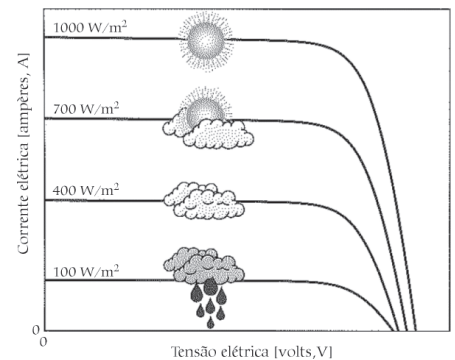


Figura 5: Influência da radiação solar na operação da célula fotovoltaica. Fonte: Ref. [3].

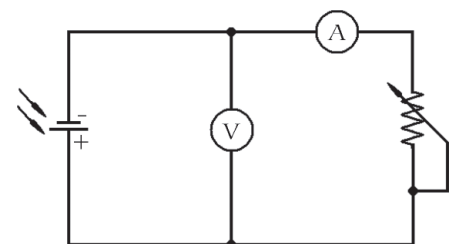


Figura 6: Diagrama da ligação elétrica da célula fotovoltaica.



observar os parafusos que mantêm os componentes internos fixos e também o LED usado para a iluminação decorativa do jardim. Com o auxílio de uma chave de fenda cruzada, ou chave Philips, retire esses parafusos e essa tampa com cuidado para não arrebentar os fios que estarão presos aos LED e também à pilha que vem com o conjunto (Fig. 7).

**Passo 2:**

Retiramos cuidadosamente a pilha, o LED, uma pequena placa de circuito impresso e em alguns modelos também uma chave liga/desliga. Com o auxílio de um alicate, corte os dois fios que se conectam à célula, deixando-os com o maior comprimento possível, conforme ilustra a figura. O fio de coloração azul nesse modelo de célula é o negativo, mas em caso de dúvida, o uso de um multímetro resolve facilmente a questão, pois, dependendo do fabricante, esse padrão de cores muda consideravelmente. Aproveitando ainda o alicate de corte, descasque as pontas dos fios internos da célula (Fig. 8).



Figura 7: Retirada da tampa traseira da célula.

**Passo 3:**

O próximo passo é preparar os cabos elétricos de medição; para isso deve-se cortar 4 cabos de cores variadas e com aproximadamente 40 cm de comprimento (neste manual usamos azul, preto, marrom e amarelo, mas poderão ser usadas quaisquer outras cores). Com o auxílio do ferro de solda e estanho solde esses cabos nos plugues banana de modo que fiquem dois cabos com ponta vermelha e os demais com a ponta preta. (Nesta proposta, os cabos de coloração amarela e azul ficaram com os plugues banana vermelhos) (Fig. 9).

**Passo 4:**

Com os cabos preparados, partimos para abrir espaço suficiente a fim de encaixarmos o potenciômetro na parte de trás da célula. Com a ajuda de alicate de corte ou estilete, retire o excesso de plástico, conforme necessário para o encaixe no potenciômetro. Na sequência, encaixe o potenciômetro no orifício central da tampa que anteriormente era ocupado pe-

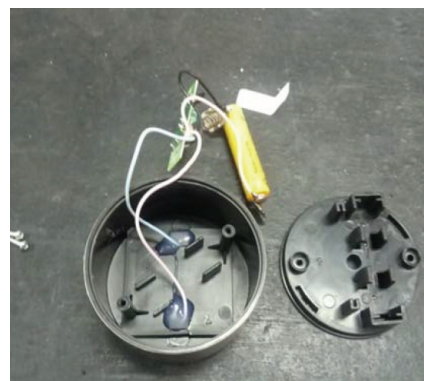


Figura 8: Retirada dos componentes eletrônicos e preparação dos fios da célula.

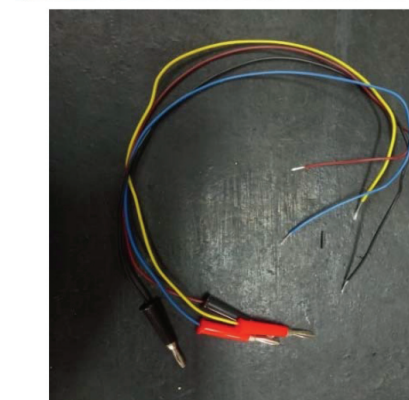
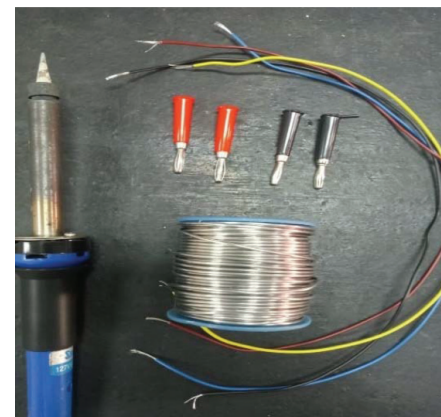


Figura 9: Soldagem dos cabos elétricos para medição de grandezas elétricas.

lo LED, de modo a deixar o botão de ajuste para o lado externo da célula (Fig. 10).

**Passo 5:**

Após preparação dos cabos elétricos, vamos conectar esses cabos com o plugue preto (marrom e preto neste trabalho) ao polo negativo da célula, neste exemplo representado pelo fio de cor azul. Usando os orifícios da tampa da célula, deixe os plugues banana para o lado externo (Fig. 8). Após a conexão, solde esses cabos elétricos que foram unidos anteriormente e isole esse ponto (Fig. 11).

**Passo 6:**

Vamos continuar a conexão dos cabos elétricos, aqueles com os plugues na coloração vermelha. Assim como para os outros, estes devem ser passados pelos orifícios da tampa. Na sequência, em acordo com o circuito elétrico da Fig. 3, parte-se para a soldagem do cabo positivo da célula (vermelho nessa célula) no pino central do potenciômetro e, seguindo a coloração desse kit, solda-se o cabo amarelo (será o que medirá a tensão elétrica da célula) ao pino esquerdo do potenciômetro. Na sequência, com a solda ou com o auxílio de um grampo metálico faça um “jump” nesses dois pinos, deixando-os unidos. Solde o cabo restante (aqui na coloração azul) ao pino livre do potenciômetro (Fig. 12).



### Passo 7:

Com os cabos soldados e isolados, feche a tampa com o auxílio dos parafusos e a chave fenda cruzada, de modo que em nossa montagem o cabo amarelo será liga-

do ao voltímetro e o azul ao amperímetro. O último passo dessa montagem é a inserção de um suporte articulado, daqueles usados em alarmes, entre a célula e uma base de madeira ou plástico (Fig. 13).

### Procedimento experimental

Essa proposta é voltada para que a atividade experimental seja realizada ao ar livre sob iluminação solar ou mesmo iluminação difusa ambiente, pois a célula capta tanto a radiação solar direta como a radiação difusa. É possível também realizar a prática em ambiente interno com iluminação artificial, sendo necessário para isso estimar/calcular ou medir a irradiação que chega até a célula.

O procedimento experimental consiste em deixar a célula com uma inclinação, conectá-la ao voltímetro e ao amperímetro, rotacionar o potenciômetro até que o valor da tensão seja o máximo observado (para essa célula, em torno de 2 V), de modo que consideramos esse estado como inicial. Em seguida, deve-se rotacionar o potenciômetro no sentido contrário ao ponto inicial e anotar os valores apresentados no voltímetro e amperímetro de forma a ter no mínimo vinte pontos experimentais ( $V$ ;  $i$ ).

Com tais dados, plota-se a curva ou gráfico  $i$  vs.  $V$  e também a curva  $P$  vs.  $V$  dessa célula, utilizando-se qualquer software de edição de planilha ou softwares próprios para construção de gráficos como *SciDAVis*, que é livre e voltado também para fins educacionais. Um cuidado ao se realizar o procedimento é monitorar a temperatura da célula, a fim de que não se eleve muito, pois esse parâmetro influencia o rendimento de tal dispositivo

### Resultados e discussões

Aqui, apresenta-se um exemplo de



Figura 13: Célula conectada ao voltímetro e amperímetro e célula finalizada.

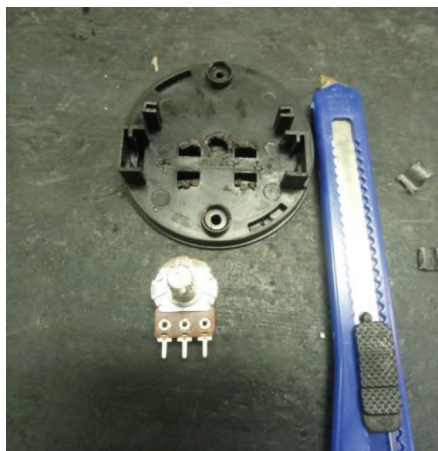


Figura 10: Encaixe do potenciômetro na tampa da célula fotovoltaica.



Figura 11: Conexão dos cabos elétricos ao polo negativo da célula fotovoltaica.

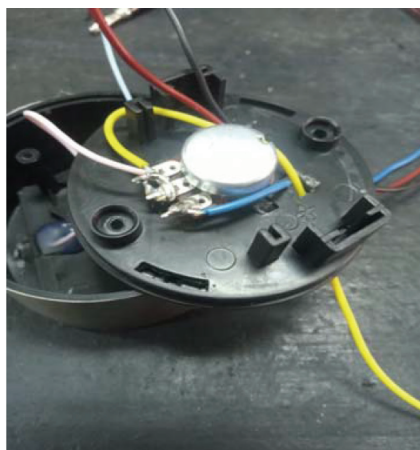
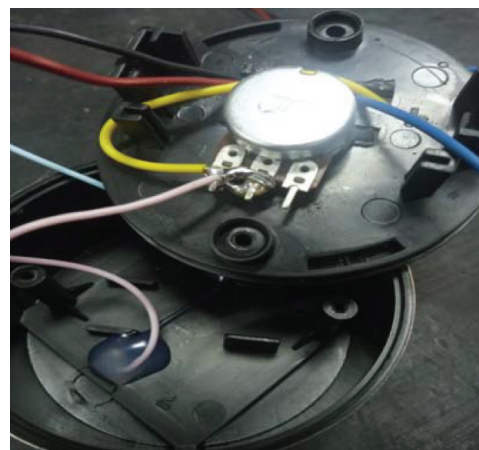


Figura 12: Conexão dos cabos elétricos ao polo negativo da célula fotovoltaica.

dados experimentais (Tabela 1) coletados em diversos momentos na região do campus em que o kit foi desenvolvido, com as principais grandezas relevantes para a atividade experimental.

Com conhecimento desses dados (Tabela 1) e realizando a variação da resistência no potenciômetro conectado a essa célula, foram obtidos os correspondentes pontos experimentais de tensão e corrente ( $V$ ;  $i$ ) medidos com o auxílio de dois multímetros digitais, um na função voltímetro e outro como amperímetro. Primeiramente, com tais dados, apresenta-se o gráfico ou curva experimental  $i$  vs.  $V$  (Fig. 14).

Ao comparar essa curva experimental com a da Fig. 3, é possível observar que o comportamento está dentro do esperado para uma célula fotovoltaica, com uma escala em que se apresentam valores pequenos tanto para tensão quanto para a corrente, devido ao tamanho ou área do dispositivo empregado, mas ressalta-se a obtenção de uma curva experimental adequada aos propósitos educativos desse trabalho. Na sequência, ainda com esses dados experimentais, foi obtida a curva  $P$  vs.  $V$  (Fig. 15), de modo que a potência fornecida pela fotocélula é calculada mediante a multiplicação dos valores da corrente pela tensão.

A curva experimental da potência em função da tensão ( $P$  vs.  $V$ ) também apresentou um comportamento em acordo com o esperado para uma célula fotovoltaica. A partir dessa curva e seguindo a metodologia adequada [3], foi empregado o ponto de máxima potência na Eq. (1) e, com os valores da irradiação e área da célula, foi obtida uma eficiência de aproximadamente 6% para o dispositivo empregado nesta proposta. Para as tecnologias possíveis para essas fotocélulas de jardim, as eficiências ficam numa faixa de 7,5% para a tecnologia de silício amorfo e em torno de 10% para as células de CIS/CIGS [3].

### Considerações finais

Dentro da proposta inicial, foi possível construir um kit experimental didático com custo aproximado de R\$ 15,00 por unidade, sendo então factível de se usar em diversas realidades e contextos educacionais. É possível ainda utilizá-lo em variados níveis de ensino e com variadas propostas metodológicas, desde o laboratório tradicional até uma abordagem com enfoque CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente).

A depender dos conhecimentos técnicos e disponibilidade do professor, é possível tornar tal kit ainda mais barato, com a compra da célula em quantidade em sítios diversos na internet, sendo

Tabela 1: Parâmetros experimentais da célula exemplo desta proposta.

Parâmetros experimentais	
Área da célula	$9 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
Condição ambiental	Dia ensolarado sem nuvens
Horário	11:00 h
Irradiação estimada	$800 \text{ W/m}^2$
Temperatura no local	$22 \text{ }^\circ\text{C}$

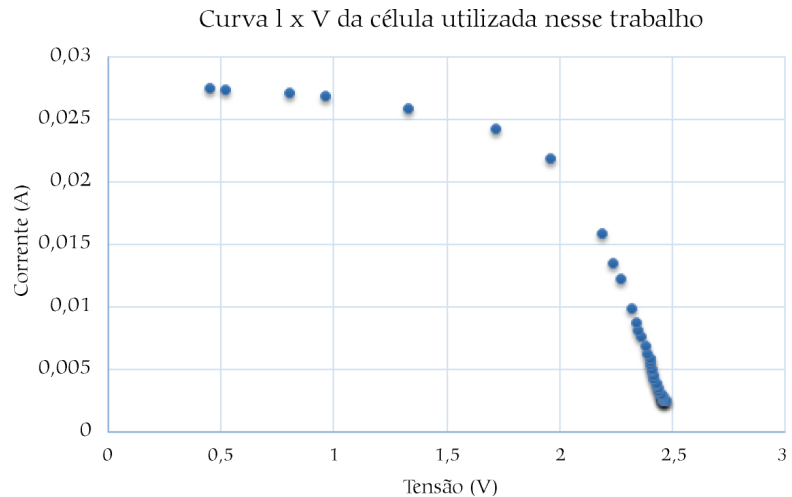


Figura 14: Curva experimental  $i$  vs.  $V$  para a célula empregada neste trabalho.

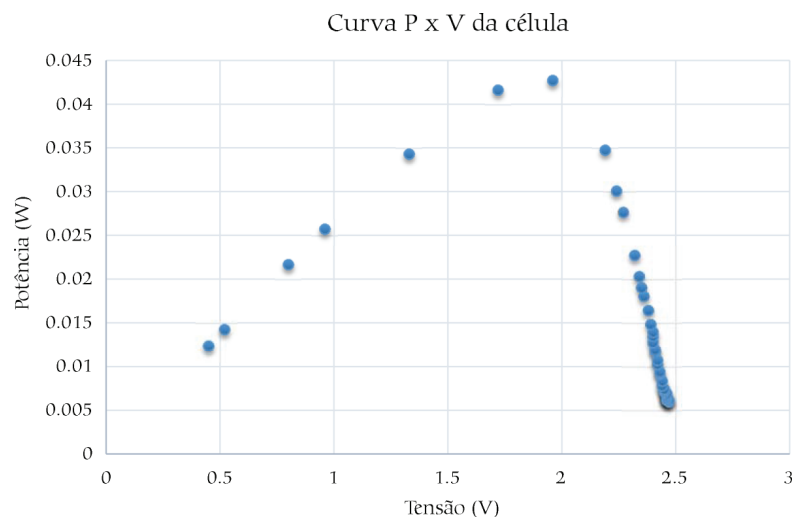


Figura 15: Curva experimental  $P$  vs.  $V$  para a célula empregada neste trabalho.

necessárias algumas adaptações à proposta aqui apresentada. Outro ponto a destacar foram as curvas experimentais obtidas, que se aproximam do que era esperado para as células fotovoltaicas;

portanto, dentro dos objetivos, acredita-se que a proposta aqui apresentada pode contribuir no sentido de promover atividades experimentais no ensino de ciências como um todo.

### Referências

- [1] D.O. Toginho Filho e E. Laureto, in: *Catálogo de Experimentos do Laboratório Integrado de Física Geral, Departamento de Física*, editado por D.O. Toginho Filho e E. Laureto (Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2010).
- [2] F.A.S. Pereira e M.A.S De Oliveira, *Laboratórios de Energia Solar Fotovoltaica* (Publindústria, Porto, 2011).
- [3] M.G. Villalva, *Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações* (Erica, São Paulo, 2013).