

# Seguimento solar fotovoltaico – um protótipo construído com material reutilizável

*Photovoltaic solar tracking on – a prototype built with reusable material*

## **Autores:**

Mirian E. Bracco. Professora titular do Departamento de Matemática Física e Computação,

Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Autor correspondente

**Email:** Mirian.Bracco@gmail.com

Léo Zamboti Brandão. Engenheiro mecânico. Faculdade de Tecnologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Rio de Janeiro, RJ, Brasil

**Email:** LeoZamboti@gmail.com

Yan Ambrósio. Engenheiro mecânico. Faculdade de Tecnologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, Brasil

**Email:** yanambrosiosouza@hotmail.com

**Recebido em:** 27/07/2022 **Aprovado em:** 22/08/2023

**DOI:** 10.12957/interag.202269397

## Artigo

### Resumo

Visando um melhor aproveitamento da energia solar, construímos um protótipo solar fotovoltaico inteligente. Este protótipo contém uma placa solar fotovoltaica, a qual permite fazer a conversão da energia solar em energia elétrica. Um mecanismo para acompanhar o movimento do sol, isto é um seguimento solar inteligente. A construção deste dispositivo, que podemos chamar de Girassol Solar, tem como objetivos principais: mostrar como alcançar maior eficiência energética com uso de placas solares e fazer divulgação de esta fonte alternativa de energia, a qual tem alto crescimento no Brasil e no mundo.

### Abstract

Aiming at a better use of solar energy, we built an intelligent photovoltaic solar prototype. This prototype contains a photovoltaic solar panel, which allows the conversion of solar energy into electrical energy. A mechanism follows the sun trajectory, this is an intelligent solar tracking. The construction of this device, which we can call Girassol Solar, has as main objectives: to show how to achieve greater energy efficiency with solar panels and to promote this alternative source of energy, which is experiencing high growth in Brazil and in the world. We believe that scientific dissemination to the

Acreditamos que a divulgação científica para a população em geral é de extrema importância para observar as vantagens e desvantagens do uso desta energia.

general population is extremely important to observe the advantages and disadvantages of using this energy.

**Palavras-chave:** Sustentabilidade; Energia Solar; Fotovoltaico; Automação

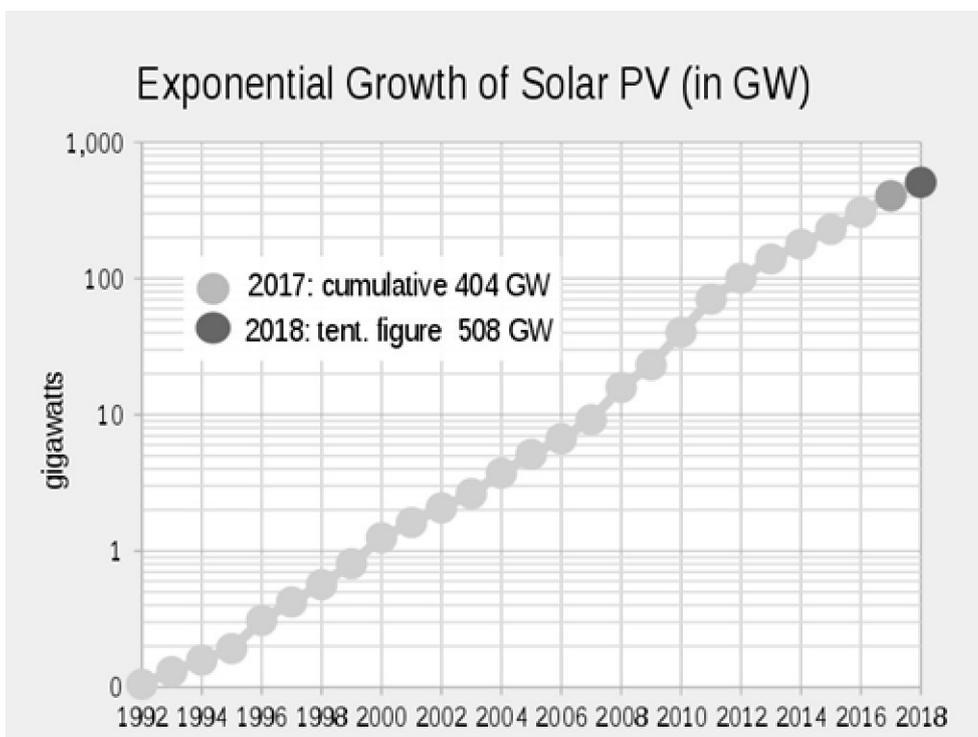
**Keywords:** Sustainability; Solar Energy; Photovoltaic; Automation

**Área Temática:** Educação

**Linha Temática:** Divulgação Científica e Tecnologia

Nosso ecossistema, assim como o clima e a vida neste planeta estão diretamente associadas ao Sol. O sol disponível para produzir tanta riqueza, sem nenhuma interferência humana, pode ser aproveitado por nós, para produzir energia elétrica, da qual nós, humanos, somos totalmente dependentes. Com o aumento da população mundial e as mudanças climáticas aceleradas pela alta emissão de CO<sub>2</sub>, se faz imperioso diversificar as formas de obtenção de energia, sendo uma delas a energia solar fotovoltaica.

A energia solar fotovoltaica está em alto crescimento no mundo, incluindo no Brasil. A Figura 1, mostra o crescimento global de energia fotovoltaica desde 1990 até 2018, medido em Gigawatts.



**Figura 1** - Gráfico da capacidade energética desde 1990<sup>1</sup>

Fonte: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PV\\_cume\\_semi\\_log\\_chart\\_2014\\_estimate.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PV_cume_semi_log_chart_2014_estimate.svg)

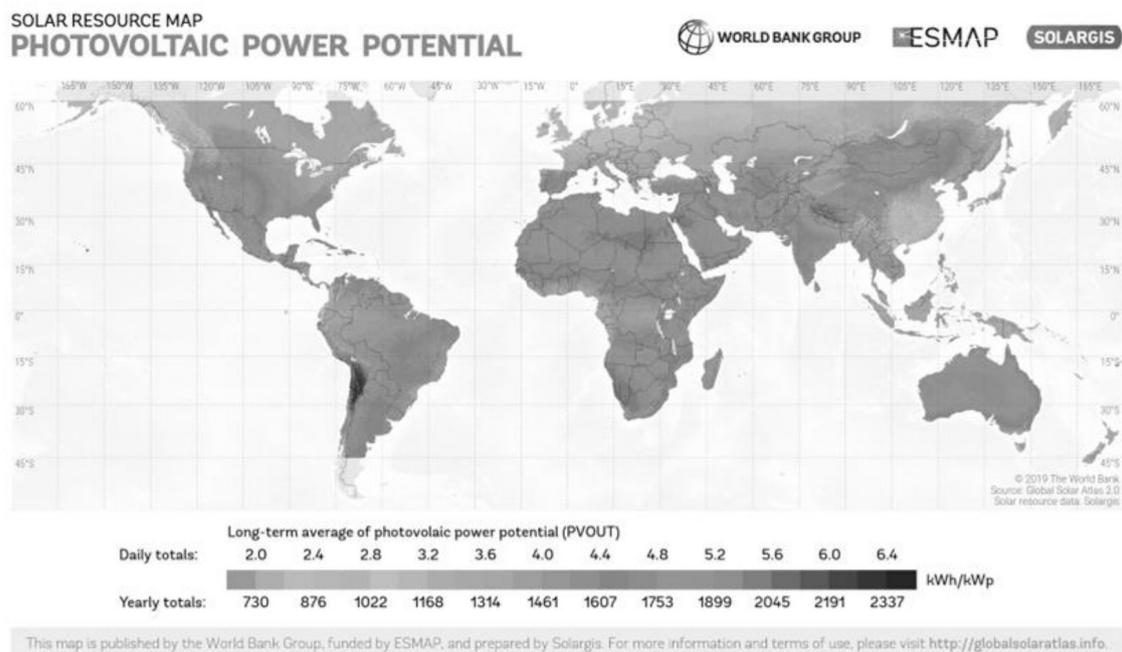
Para produzir energia elétrica fotovoltaica são utilizados painéis solares, que permitem absorver a radiação, provida pelo sol, e a convertem em corrente elétrica. Para fabricar os painéis fotovoltaicos (PV), usam-se laboratórios, que fazem a preparação do material fotovoltaico, assim como outros componentes que farão parte dos painéis, até chegar ao produto final comercializado. Existem diferentes materiais usados na fabricação dos PV, sendo um dos mais comercializados os de silício, elemento muito abundante na natureza. Outros cristais como a perovskita <sup>2</sup>, ou materiais orgânicos<sup>3</sup>, entre outros podem ser já encontrados no mercado internacional. Após fabricados os PV são expostos à radiação solar e produzem corrente elétrica. Com equipamentos adicionais, que controlam esta energia, fica pronta para ser usufruída por nós.

Os PV podem ser alocados nos telhados de residências, indústrias, prédios ou em solo dando lugar aos chamados parques solares. A Agência Nacional de Energia (ANEL) aprovou um decreto<sup>4</sup>, no ano 2012, que estabelece que o pequeno consumidor pode produzir sua própria energia elétrica, usando o sol, e o excesso de eletricidade produzido, não utilizado, pode gerar um crédito, na concessionária abastecedora local, para que o consumidor garanta a eletricidade durante a noite. O investimento inicial para a instalação do sistema fotovoltaico, tem uma compensação em aproximadamente 8 anos.

O processo para produzir a energia elétrica solar, respeitando uma gestão sustentável, tem que ser observado desde a extração de matéria prima, a fabricação das placas, seu uso durante a vida útil e seu descarte final, isto é, quando as mesmas não produzirem mais energia. No processo de fabricação destas placas, alguns componentes metálicos, produtos químicos e condutores são utilizados. Uma vez fabricadas e instaladas, as placas têm uma durabilidade (vida útil) de 25 anos, quase não precisam de manutenção, só limpeza. Como funcionam sem queima de combustíveis, não emitem CO<sub>2</sub> ou qualquer gás nocivo para o planeta. Desta forma para serem realmente sustentáveis é preciso ter cuidado especial com o descarte delas. O descarte adequado precisa a separação de componentes metálicos (como prata, cobre, alumínio), assim como os outros materiais os quais podem ser reutilizados, desta forma diminuir o acúmulo de resíduos sólidos<sup>5</sup>. Já existem muitos estudos de reaproveitando dos materiais para construção de outras placas<sup>5</sup>, desta forma, se todo o processo, desde a fabricação das placas ao seu descarte, no final da sua vida útil, for tratado com cuidado, estaríamos gerando um processo que está dentro do que hoje se conhece como economia circular <sup>5</sup>, isto é produzir algo de forma sustentável.

Divulgar todo o processo, que leva a usar esta fonte alternativa de energia (fotovoltaica), utilizando o protótipo em pequena escala construído por nós, é um objetivo que desejamos alcançar. O Protótipo Girassol solar pode ser levado em eventos de ciências, em escolas e/ou em comunidades. Gostaríamos que os conhecimentos adquiridos por nós, e mostrados em parte neste artigo, consigam alcançar usuários assim como empresas que comercializam a energia solar fotovoltaica, promovendo um uso e comercialização consciente.

O Brasil é geograficamente um país privilegiado para o uso da energia solar. Localizado no trópico, recebe um nível de radiação solar que se estende por muitas horas. Na Figura 2, podemos comparar o potencial fotovoltaico mundial, observando em comparação com continente europeu que tem uma potência fotovoltaica que varia entre 730-1000 kWh por ano, sendo que no Brasil a potência chega a ser de 1400 a 1700 kWh por ano, quase duplicando.



**Figura 2 -** Potencial fotovoltaico mundial<sup>6</sup>

Fonte: [https://en.wikipedia.org/wiki/Solar\\_power\\_by\\_country#/media/File:World\\_PVOUT\\_Solar-resource-map\\_GlobalSolarAtlas\\_World-Bank-Esmap-Solargis.png](https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_power_by_country#/media/File:World_PVOUT_Solar-resource-map_GlobalSolarAtlas_World-Bank-Esmap-Solargis.png)

O ponto de vista científico tecnológico, visa reduzir o número de placas usadas, gerando assim menos lixo. Entre as técnicas está o desenvolvimento de placas mais eficientes na absorção da radiação solar, ou focalizar mais radiação com uso de concentradores solares ou seguir o sol para captar de forma mais eficiente a radiação. Esta última, inclui colocar no equipamento, um mecanismo para seguir o sol. Este seguimento reproduz de forma similar, o movimento que as flores executam para seguir o Sol. Este sistema de seguimento é conhecido popularmente como Girassol Solar e o mesmo traz várias vantagens, sendo uma delas a de produzir mais energia com mesmo número de placas.

Neste trabalho nos construímos um equipamento pequeno, Protótipo Girassol Solar (PGS), com o objetivo de fazer medidas comparativas da energia absorvida com o PGS ao se comparar com a de uma placa solar fixa. Quando a placa se move com o movimento do sol, espera-se ter uma maior absorção de energia.

Para sua construção usamos material reutilizável e seu tamanho é adequado para ser transportado facilmente a eventos de ciência, férias ou comunidades. Já que, como mencionado antes, a divulgação deste tipo de energia renovável é um dos principais objetivos.

A seguir, mostramos a metodologia para a construção do protótipo PGS Fotovoltaico. O mesmo, faz parte de uma série de protótipos educativos, construídos por nós, usados para divulgar cientificamente o fácil aproveitamento desta fonte de energia inesgotável. Este trabalho foi desenvolvido por alunos de graduação de Engenharia, que foram bolsistas de iniciação à docência e extensionistas.

## Metodologia

### A construção do Protótipo Girassol Solar fotovoltaico (PGS)

A seguir, descreveremos o procedimento que foi realizado para construir nosso PGS. Este dispositivo mostra a técnica de aumentar a eficiência, tanto energeticamente como de abaixar custos, aproveitando de forma melhor a radiação solar e usando menor quantidade de placas. Já que ao obter mais energia absorvida, devido ao seguimento solar, usaremos menos placas absorvedoras, abaixando desta forma os custos <sup>6,7,8,9</sup> e o futuro acúmulo de lixo, caso não fosse reaproveitado.

O seguimento solar é feito através do uso resistores sensíveis à intensidade de luz, chamados de foto resistores. Estes dispositivos, leem a intensidade de luz, a qual pode ser registrada e assim recebida num micro controlador (Arduino), o qual transmite esta informação a um motor de passo, para fazer mover a placa fotovoltaica orientada em direção ao sol. Caso sua intensidade não alcance o valor máximo, devido a orientação da placa respeito ao sol, o motor gira para chegar a máxima radiação. Desta forma, priorizamos que a placa absorvedora siga o sol recebendo a radiação máxima sempre. Além desta função, o micro controlador faz também leituras da Voltagem (energia) e intensidade de corrente produzida, podendo programar um cálculo da potência. Todo isto programado, na linguagem que o microcontrolador Arduino utiliza.

O protótipo PGS, consta de uma placa fotovoltaica orientada com angulação adequada à latitude geográfica <sup>7-10</sup>, colada em uma base de madeira de 13 cm x 13 cm, é sustentada por uma haste oca de 20 cm de altura, que tem liberdade mecânica de giro na sua base. A base tem um espaço dimensionado para colocar o motor de passo, responsável pelo movimento. O Material utilizado foi de madeira de reaproveitamento.

Para o rastreamento solar, decidimos usar um componente eletrônico, que registrasse a quantidade de luz que incide sobre o mesmo, sendo adequado: o resistor LDR. Estes resistores são colocados junto a placa fotovoltaica, com mesma orientação. Com um programa adequado, o resistor LDR registra a maior incidência de luz e usando o micro controlador Arduino <sup>11</sup>, que ordena ao motor acionar para movimentar a placa seguindo a máxima intensidade de luz. O programa consta de três partes: a primeira foi para acionar o movimento, função de giro: para esquerda e para a direita, através do uso de um motor de passo; a segunda, e mais importante, foi em relação ao resistor LDR, que direciona o seguimento da placa fotovoltaica segundo o movimento do Sol; a terceira parte foi em si um complemento para automatização do processo de comparação, onde se obtém os cálculos de tensão, corrente e potência de uma placa com o sistema de rastreamento e sem rastreamento.

Finalmente uma adaptação foi feita para a interação entre todas as partes e para ter uma melhor apresentação dos dados coletados fizemos uma interface de comunicação entre o Arduino e Excel, permitindo que os dados da corrente fornecida pela placa, fossem automaticamente lançados numa tabela em tempos pré-configurados.

### Especificações Mecânicas

Na Figura 3, mostramos a base de madeira onde foi colocado motor de passo 28BYJ-48, o qual possui 4 fases e trabalha com 5V DC (cinco Volts de corrente) através de pulsos sequenciais entre as fases, fazendo assim ter uma precisão maior que um motor comum.

O mesmo fixado numa base, onde a haste gira livremente, transmite o movimento para a haste (pé), onde, no topo da mesma se encontra o painel fotovoltaico. O protótipo foi feito em madeira. No entanto o mesmo seria muito afetado em exposição direta as condições climáticas, sendo assim, o recomendado é que o mesmo seja feito de um metal leve, como alumínio, onde além de diminuir o impacto ambiental e aumentar o tempo de vida útil do protótipo, diminuiria o esforço que o peso da estrutura exerce sobre o motor.



**Figura 3** - Motor de passo colado em base de madeira

Fonte: Elaborado pelos autores

### Especificações Eletrônicas

Os componentes eletrônicos usados foram apenas resistores, sendo de dois tipos diferentes: ôhmicos e LDR's. Os ôhmicos são utilizados para queda de tensão nos LDR e também na placa fotovoltaica. Eles são imprescindíveis devido as placas trabalharem com uma tensão superior à de operação do Arduino. Já os LDR's, mostrados na Figura 4, são utilizados para registrar a intensidade de luz solar e assim seguir o sol. Nesta figura mostramos três resistores LDR, separados por pequenas barreiras, feitas de madeira, com uma angulação determinada. Os sensores LDR são conectados à interfase Arduino, para registrar a máxima intensidade de luz solar e ordenar o giro da placa. Desta forma executamos o rastreamento solar.



**Figura 4** - Sensores LDR, separados por madeiras

Fonte: Elaborado pelos autores

## Especificações do programa

A lógica do rastreamento foi feita com a linguagem usada pelo próprio Arduino. Quando uma maior incidência de luz é captada pelo LDR, se produz uma queda na resistência do mesmo, registrando-se uma maior tensão no micro controlador, ou seja, o maior valor analógico indica onde o sol está. Explicando em outras palavras, se o Sol estiver à esquerda da placa, uma tensão maior que a dos demais resistores seria registrada na porta analógica do resistor da esquerda, no Arduino. Com isso, sinais seriam enviados ao motor de passo, o fazendo girar até que a maior tensão seja registrada pelo LDR do centro. Por sua vez, não enviaria sinais ao motor, deixando a placa fotovoltaica alinhada com a maior intensidade do Sol. Além disso, toda vez que o Arduino faz uma leitura para ver se está alinhado com o Sol, ele também faz o cálculo de tensão das placas, isto convertendo o valor analógico em Volts. No entanto, o valor máximo de leitura de tensão do Arduino é de até 5 V, mas a placa fotovoltaica utilizada tem pico de até 7,5 V. Para resolver, este problema, foi necessário fazer uma queda de tensão com resistores.

As equações governantes são mostradas a seguir: para cálculo de Voltagem e Potência da placa. Sabemos que um resistor (ôhmico), ao ser atravessado por uma corrente, tem uma queda de potência  $V$  entre os extremos, expressa a através da Equação 1:

$$V = R \times I \quad (1)$$

E a potência é dada por:

$$P = V \times I \quad (2)$$

Sendo  $R$  a resistência,  $I$  a intensidade e  $V$  a voltagem. Usando a Equação 1 é possível deduzir a corrente do sistema<sup>7-10</sup>. Desta forma a potência se torna facilmente obtida através da Equação 2.

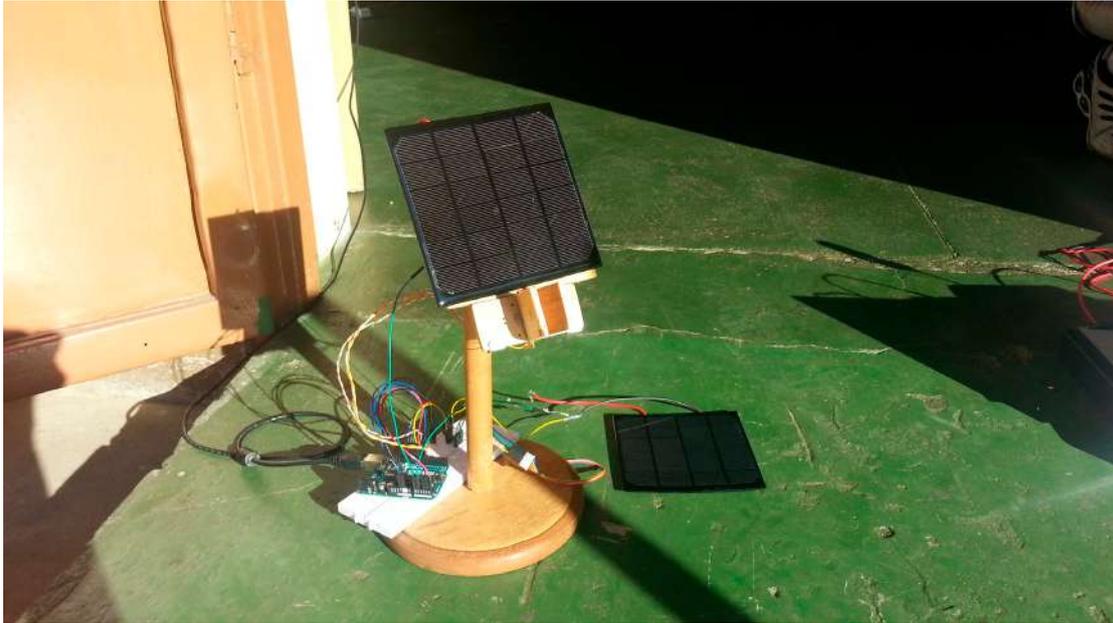
## Resultados

Os testes foram realizados com placas fotovoltaicas de 15x15 cm que geram em média 6V, 400 mA de corrente e uma potência de 2,4 W. Sendo este tipo de placa usada no protótipo PGS, conforme a Figura 5.

Na Figura 5, observamos o PGS feito por nós. A base de madeira, a haste e a placa solar no topo. Com ele procedemos para colheita de dados. Junto a ele, na mesma figura vemos uma placa solar com características similares, fixa, isto é, sem seguir o sol.

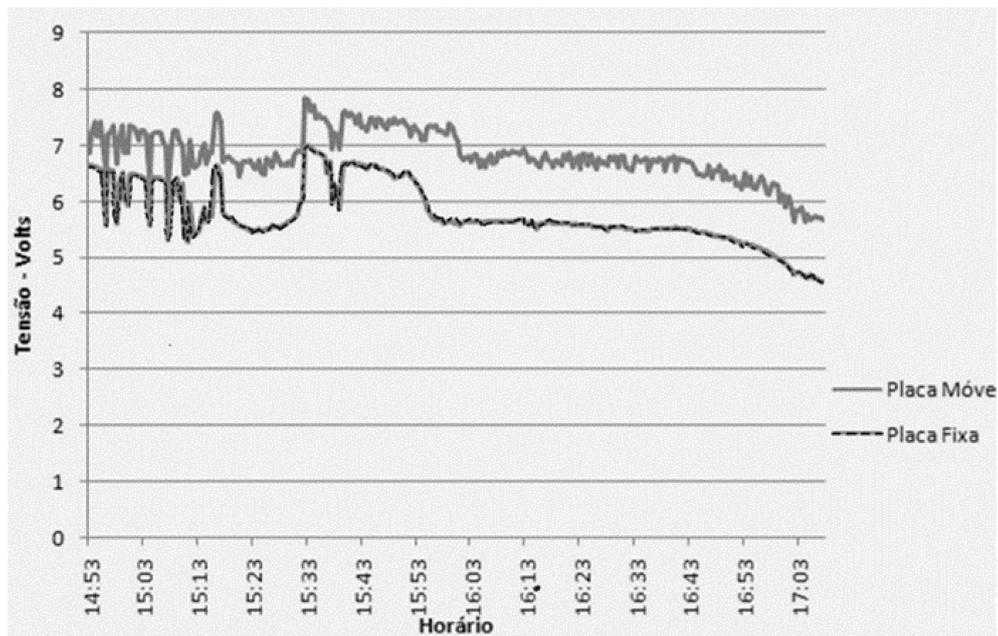
No dia que realizamos a colheita o tempo não favoreceu muito pelo fato de ter sempre algumas nuvens atrapalhando um pouco na irradiância solar. Os dados já tabelados no Excel, foram analisados e com o auxílio de gráficos, são mostrados na Fig. (6) e Fig. (7).

Na Fig. (6), mostramos os resultados de Tensão (Voltagem) obtida na placa, das 14.53 h até 17.00 h. A curva inferior, que oscila perto da média de 6 Volts corresponde ao sistema fixo, isto é, sem seguimento solar, com o mesmo tipo de placa fotovoltaica e no mesmo dia (linha tracejada). E a curva superior, com média em torno dos 7 Volts, mostra a voltagem produzida com seguimento solar, feita no Protótipo Girassol solar (linha solida). Os altos e baixos abruptos nas curvas, refletem as flutuações de radiação, pelo aparecimento de nuvens que cortam a radiação direta do sol.



**Figura 5** - Protótipo Girassol Solar, Arduino e fiações

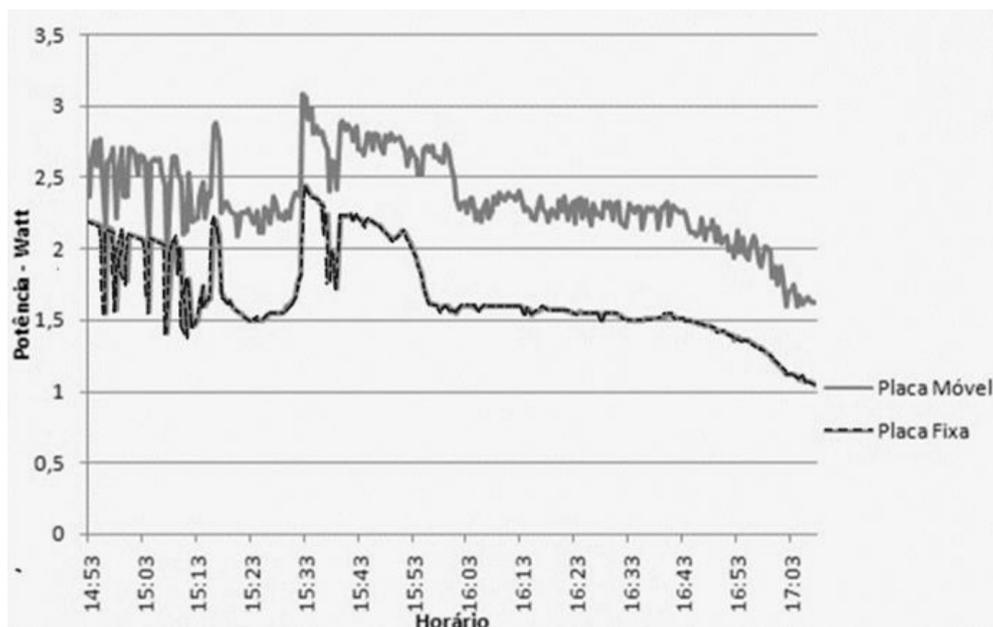
Fonte: Elaborado pelos autores



**Figura 6** - Tensão (Volts) versus horário

Fonte: Elaborado pelos autores

Na Fig. (7), mostramos o cálculo da potência em unidades de Watts, resultado do uso da Eq. 2, onde usamos os dados obtidos antes. Novamente a curva inferior (linha tracejada) é a do sistema fixo e a superior (linha sólida) é a do Girassol Solar. Foi observado uma diferença significativa entre a voltagem ou potência produzida pelas placas fotovoltaicas sem e com rastreamento. Em valores médios a potência no PGS aumentou mais de 15%, comparado ao sistema fixo.



**Figura 7** - Potência (Watts) versus horário

Fonte: Elaborado pelos autores

Em média, a tensão teve uma diferença de aproximadamente 1V entre as placas, o que afetava diretamente na potência, que teve uma média de diferença de 0,6 W. Contudo, se deve levar em conta que esses dados foram obtidos num intervalo de apenas 2 horas do dia com algumas nuvens, e com uma exposição maior e direta pode ser que aja diferenças nos resultados.

## Conclusão e Consideração Finais

A construção do Protótipo, permitiu através do método científico mostrar, como se pode observar nas Figs. (6) e (7), a melhoria da eficiência (maior potência) energética com o PGS, em comparação com o dispositivo fixo. E o segundo objetivo, da divulgação científica desta forma alternativa de energia, está sendo feita usando o PGS, nas férias de ciências, comunidades e escolas. O PGS é facilmente transportável e só precisamos sol para funcionar, divulgando de forma prática o uso da energia solar fotovoltaica.

Através das medidas realizadas com o protótipo Girassol Solar foi possível mostrar uma significativa melhora na potência obtida, superior em 15%, quando comparadas com as medidas do protótipo fixo.

Além de atingir os objetivos principais, os alunos de engenharia envolvidos no projeto, entenderam a respeito do método científico durante a construção do protótipo e durante a obtenção de dados, que mostraram o aumento na eficiência. Obtiveram uma noção geral a respeito do problema energético no Brasil e no mundo, e das melhoras tecnológicas que podem nos permitir um melhor aproveitamento da radiação solar<sup>12</sup>. Ampliando os conhecimentos do uso de motores de passo, do uso de componentes eletrônicos, sensores, resistores etc., noções básicas de robótica e aprender a programar na linguagem C para uso do Arduino, necessária para tomada de dados.

Como nosso intuito é também, que este dispositivo possa ser construído por alunos de ensino médio em escolas, confeccionamos um manual, com passos detalhados da sua construção. O mesmo pode auxiliar ao professor a introduzir diversos conceitos de forma prática em física básica (eletricidade, intensidade, voltagem), aprender o uso de gráficos explicativos e para alunos mais avançados a programação, com uso de Arduino. A construção do dispositivo incentiva a criatividade e a lógica do aluno. Sendo, os alunos e professores, os mais importantes vetores de divulgação, a energia solar pode desta forma ser melhor compreendida pela sociedade num futuro próximo, o que levaria naturalmente a um maior incentivo para nossos governantes trabalharem isto junto a investidores.

### **Agradecimentos**

Agradecemos ao Centro de Fontes Renováveis de Energia (CFRE), pelas instalações e apoio. Este centro está instalado na Faculdade de Tecnologia (FAT) da UERJ, Campus Resende. Agradecemos ao CNPq, CAPES e FAPERJ, pelos apoios financeiros.

## Referências

1. Crescimento da energia solar fotovoltaica de 1994-2018, In wikipedia.org. Disponível em: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PV\\_cume\\_semi\\_log\\_chart\\_2014\\_estimate.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PV_cume_semi_log_chart_2014_estimate.svg)
2. SNAITH, H.J., **Present status and future prospects of perovskite photovoltaics**. *Nature Mater* 17, 372-376 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41563-018-0071->
3. LEO, K., **Organic photovoltaics**, *Nat Rev Mater* 1, 16056 (2016). <https://doi.org/10.1038/natrevmats.2016.56>
4. **Da Agencia Nacional de Energia Elétrica, Micro e Minigeração distribuída**, disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>
5. MATHUR, N., Singh S., Sutherland J.W., **Promoting a circular economy in the solar photovoltaic industry using life cycle symbiosis, Resources, Conservation and Recycling**, Volume 155,2020,104649, ISSN 0921-3449, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104649>
6. **Potência energética solar por país**. In Wikipedia. Org. Disponível em: [https://en.wikipedia.org/wiki/Solar\\_power\\_by\\_country#/media/File:World\\_PVOUT\\_Solar-resource-map\\_GlobalSolarAtlas\\_World-Bank-Esmap-Solargis.png](https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_power_by_country#/media/File:World_PVOUT_Solar-resource-map_GlobalSolarAtlas_World-Bank-Esmap-Solargis.png)
7. HANUS, B., **“J’emploie l’énergie solaire dans la maison et le jardin”**, Ed. SAEP, Ingersheim, Alemanha, 2007.
8. PINHO, J. T., Galdino, M. A., **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**, Ed. CEPEL - CRESEB, Rio de Janeiro, Brasil, 2014.
9. **Photovoltaics**, Disponível em Wikipedia.org: <https://en.wikipedia.org/wiki/Photovoltaics>
10. ZILLES, R., Macêdo, W. N., Galhardo, M. A. B., Oliveira, S. H. F., **Sistemas Fotovoltaicos conectados à rede elétrica**, Ed. Oficina de Textos, São Paulo, Brasil.2007.
11. **Librarias do ARDUINO**, 2015. Disponível em: <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/>
12. **Photovoltaics, Desing and Installation Manual, Solar Energy Intenational, New Society Publishers** (NSP), Canada 2012, ISBN 978-0-86571-520-2.