



ENSAIO PARA OBTENÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DE UMA CÉLULA FOTOVOLTAICA PARA APLICAÇÃO EM UM RASTREADOR SOLAR

Mario Mollo Neto¹, Willian Aparecido Leoti Zanetti², Jhonatan Cabrera Piazzentin³,

- 1- Prof. Dr. da FCE da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP, Campus de Tupã/SP – Brasil. mariomollo@tupa.unesp.br
- 2- Aluno do Curso de Engenharia de Biosistemas da FCE da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP, Campus de Tupã/SP – Brasil
- 3- Licenciado do Curso de Matemática da Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT) da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP, Campus de Presidente Prudente/SP – Brasil

Recebido em: 08/04/2017 – Aprovado em: 10/06/2017 – Publicado em: 20/06/2017
DOI: 10.18677/EnciBio_2017A154

RESUMO

O mercado de painéis solares, na atualidade, possui variados tipos de arranjos e modelos disponíveis, construídos aplicando de diversos materiais, visando a melhoria na construção dos painéis solares e na utilização de diferentes métodos para obter-se uma eficiência adequada. Para tanto, são utilizados semicondutores, e estes, tratados com diferentes processos e utilizando diversos elementos químicos em sua composição e dopagem. Quando da aquisição de painéis para o estudo científico ou instalação, tanto os pesquisadores quanto os instaladores, deparam-se com certa dificuldade para determinar, mesmo nos catálogos dos fabricantes, da real composição química aplicada na fabricação dos dispositivos e a sua eficiência real. Desta forma, neste artigo buscou-se o desenvolvimento de um modelo, que permita, com os ensaios, obter as reais características elétricas que descrevem o funcionamento e rendimento para aplicação na criação de um rastreador solar automático. Para o conhecimento dos indicadores elétricos foram realizados ensaios com o painel adquirido permitindo traçar a curva característica do mesmo e, com os dados coletados analisar se o método proposto apresenta resultados coerentes com a literatura disponível. A modelagem do processo, pode permitir um melhor entendimento das possibilidades de converção de energia na célula solar em estudo, possibilitando obter, assim, mais eficiência para o projeto do rastreador Fuzzy automático pretendido.

PALAVRAS- CHAVE: Célula Fotovoltáica, Eficiência, Rastreamento.

TEST FOR OBTAINING THE ELECTRIC POWER FEATURES OF A PHOTOVOLTAIC CELL FOR USE IN A SYSTEM TRACKING

ABSTRACT

The market for solar panels, at present, has several types of arrangements and models available, built using various materials, aiming at the improvement of the

construction of solar panels and the use of different methods to obtain an efficiency. For that, semiconductors are used, and these, treatments with different processes and implementation of various chemical elements in their composition and doping. When purchasing panels for scientific study or installation, both researchers and installers are faced with a difficulty in determining, even in the manufacturers' catalogs, the actual chemistry applied in the manufacture of devices and their actual efficiency. Thus, in this article we have tried to develop a model that allows, with the tests, to obtain as real electrical characteristics that describe the operation and performance for application in the creation of an automatic solar tracker. For the purpose of evaluating the electrical results, the tests with the control panel can be used with the characteristic curve of the same and with the data collected. The modeling of the process, can allow a better understanding of the possibilities of energy conversion in the solar cell under study, making it possible to obtain more efficient for the design of the tracker.

KEYWORDS: Efficiency, Photovoltaic Cell, Tracking.

INTRODUÇÃO

Segundo ELY & SWART (2014) a busca por alternativas menos poluentes e renováveis tem aumentado grandemente a capacidade instalada de usinas solares e eólicas no mundo inteiro, e o custo por watt pode ser reduzido aumentando-se a eficiência das células solares individuais e dos painéis e ou reduzindo o custo de fabricação. Assim, as novas tecnologias precisam ser simultaneamente de alta eficiência e com custo reduzido.

Considerando esta colocação, a busca do ponto ótimo de operação para um painel fotovoltaico, consiste em garantir que um bom sistema automático de posicionamento garanta que a máxima superfície de coleta de irradiação solar possa estar corretamente posicionada em relação à fonte solar, visando ampliar o rendimento, fato que é corroborado, segundo as pesquisas descritas por FATHABADI, (2016), que dizem existir muitos estudos que podem ser encontrados e que introduziram diferentes procedimentos de domínio de projetos de células com o objetivo de maximizar o rastreamento para a conversão máxima de energia.

No estudo de CARVALHO & CARDOSO (2012) há o destaque para o fato que um dos principais fatores que limita a utilização da energia proveniente do Sol é a baixa eficiência das células solares e, a pesquisa e desenvolvimento de materiais e técnicas para incrementar a eficiência das células e painéis fotovoltaicos tornaram-se muito importantes, fazendo com que pesquisadores tenham concentrado esforços na procura por soluções para que a energia gerada pelos painéis fotovoltaicos seja extraída de forma mais eficiente.

Segundo a pesquisa realizada por MOLLO NETO & ZANETTI (2016), a eficiência dos coletores solares está relacionada a fatores como a posição em relação a incidência de luz, a temperatura e a geração de corrente elétrica, sendo que a obtenção de potência máxima depende de um complexo projeto considerando as tecnologias aplicadas a fabricação. Ainda na pesquisa destes autores foi apresentado um protótipo microprocessado, para fazer a orientação do painel direcionado aos raios solares com auxílio de dois sensores e algoritmo Fuzzy com inferência por Mandani presente no software MATLAB (MATHWORKS, 2017). Estes procedimentos visam garantir sempre o posicionamento de máxima eficiência para o painel solar adotado.

Segundo descrevem REZENDE & GUIMARÃES JUNIOR (2012), os painéis fotovoltaicos são descritos através de suas curvas características, as quais contêm os valores de corrente elétrica e tensão que o módulo fotovoltaico fornece em determinadas condições de temperatura ambiente e radiação solar. Com essas curvas é possível identificar os valores máximos de corrente, tensão e potência que o conjunto fornece. Assim, traçando essas curvas para as condições reais de temperatura ambiente e radiação solar do local onde será instalado o painel é possível determinar os valores de corrente, tensão e potência que o mesmo fornece nessas condições e projetar de maneira correta a aplicação.

REZENDE & GUIMARÃES JUNIOR (2012), complementam a descrição dizendo que as curvas características são de extrema importância no uso adequado da placa coletora fotovoltaica, pois traçando estas curvas para as condições ambientais do local onde será utilizado o placa fotovoltaica, pode-se através destas projetarem-se adequadamente os parâmetros para a correta instalação contribuindo, assim, para ampliar a conversão da energia fotovoltaica gerada.

Segundo BOUNECHBA et al., (2014) as células fotovoltaicas são constituídas por junções de silício P-N (pastilhas de valência Positiva e pastilhas de valência Negativa) que, quando expostas à luz, liberam elétrons em um circuito elétrico fechado. A partir desta premissa o circuito equivalente de uma célula fotovoltaica pode ser modelado através do diagrama elétrico apresentado através da Figura 1.

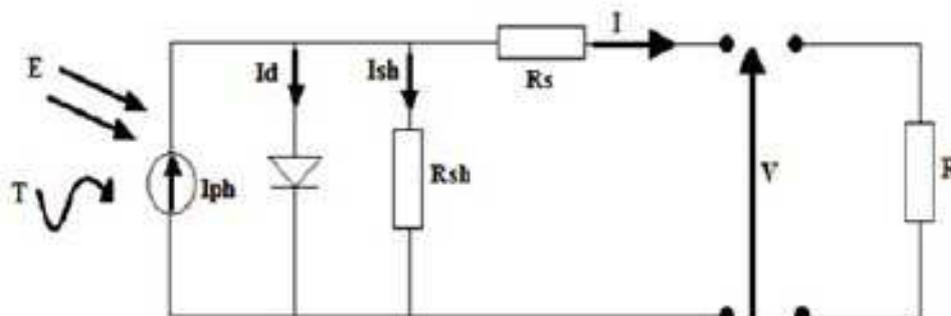


FIGURA 1. Circuito elétrico equivalente da célula solar fotovoltaica.
Fonte: BOUNECHBA et al., (2014).

Na Figura 1, as siglas indicadas no diagrama são respectivamente:

- I_{ph} - Fotocorrente gerada pela luz na célula fotovoltaica;
- T - Irradiação Solar;
- E - Energia;
- I_d - Corrente no diodo equivalente (Junção P-N) da célula fotovoltaica;
- I_{sh} - Corrente de saturação da célula fotovoltaica;
- R_{sh} - Resistência Paralela da célula fotovoltaica;
- R_s - Resistência Série da célula fotovoltaica;
- I - Corrente de saída da célula fotovoltaica;
- V - Tensão de saída da célula fotovoltaica;
- R - Resistência de carga.

Segundo PINHO & GALDINO (2014) e BOUNECHBA et al., (2014), o circuito equivalente apresentado na Figura 1, permite que se observem equações

matemáticas correspondentes aos parâmetros elétricos. Estes parâmetros, podem ser obtidos à partir de curva I-V (Tensão x Corrente) como exhibe a Figura 2.

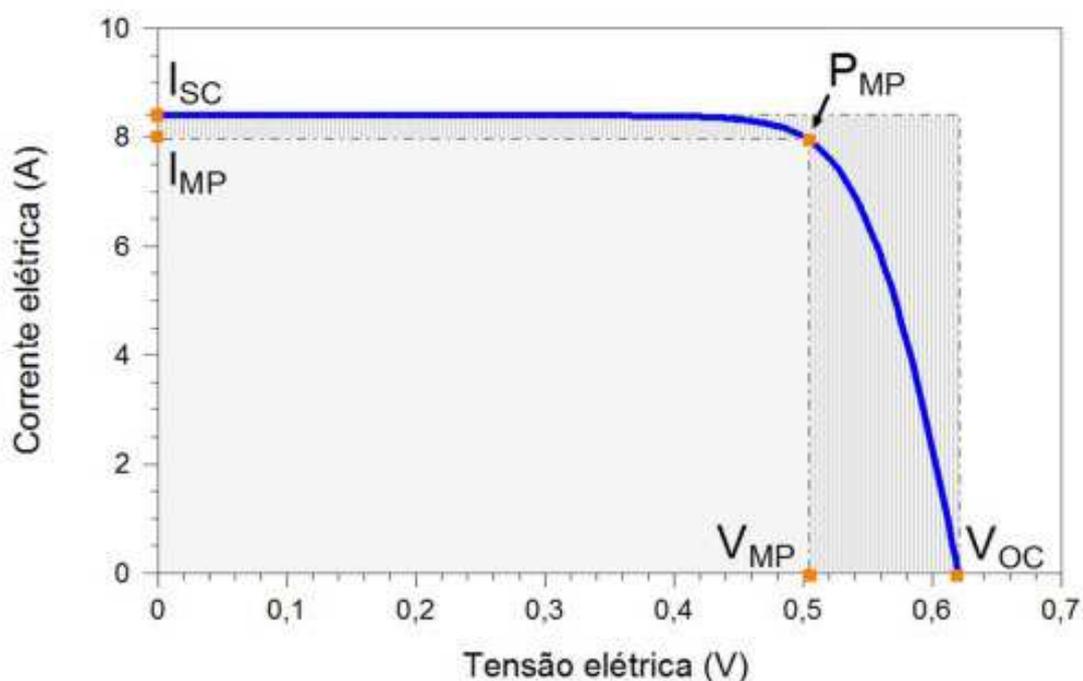


FIGURA 2. Gráfico da Corrente em função da diferença de potencial aplicada em uma célula fotovoltaica de silício, sob condições-padrão de ensaio. Fonte: PINHO & GALDINO, (2014).

E desta curva (Figura 2), podem ser derivados os parâmetros a partir da Equação 1 desenvolvida por William Bradford Shockley (1910-1989) do diodo ideal.

$$I = I_l - I_0 [\exp(qV + IR_s / nkT) - 1] - [(V + IR_s) / R_p] \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

I_l – Corrente Fotogerada (A);

I_0 – Corrente de Saturação Reversa do Diodo (A);

n – Fator de idealidade do diodo (número adimensional entre 1 e 2 obtido experimentalmente);

q – carga do elétron ($1,6 \times 10^{-19}$ C);

k – Constante de Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$ j/K);

T – Temperatura absoluta (K).

R_s – Resistência Série (Ω);

R_p – Resistência Paralelo (Ω).

Então, derivados da equação 1, obtêm-se os parâmetros tensão de circuito aberto, corrente de curto-circuito, fator de forma e eficiência, descritos a seguir:

Tensão de Circuito Aberto (V_{oc}):

Esta tensão, segundo PINHO & GALDINO (2014), é a tensão entre os terminais de uma célula fotovoltaica quando não há corrente elétrica circulando e é a máxima tensão que uma célula fotovoltaica pode produzir. Esta tensão pode ser obtida por meio da medição direta entre os terminais do módulo, com o auxílio de um multímetro.

Corrente de Curto-Circuito (I_{sc}):

Também, segundo PINHO & GALDINO (2014), é a máxima corrente que se pode obter e é medida na célula fotovoltaica quando a tensão elétrica em seus terminais é igual a zero. Segundo os mesmos autores, pode ser medida com um amperímetro curto-circuitando os terminais do módulo.

Potência Elétrica Gerada (P):

Conforme indicado por MENDES (2010), o cálculo da potência elétrica gerada é realizado por meio do produto da tensão gerada pelo módulo com a corrente gerada pelo módulo.

Fator de Forma (FF):

O valor de FF é a razão entre a máxima potência da célula fotovoltaica e o produto da corrente de curto-circuito com a tensão de circuito aberto (PINHO & GALDINO, 2014). Portanto tem-se a Equação 2 que permite a obtenção deste parâmetro:

$$FF = (V_{MP} I_{MP}) / (V_{OC} I_{SC}) \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

V_{MP} – Tensão para obter a Máxima Potência (V);

I_{MP} – Corrente obtida no ponto de Potência Máxima (A);

V_{OC} – Tensão de Circuito Aberto (V);

I_{SC} – Corrente de Curto-Circuito (A).

Eficiência (η)

Na pesquisa de PINHO & GALDINO (2014), temos a definição para este parâmetro como sendo o quão efetiva é a conversão de energia. Representa a relação entre a potência elétrica produzida pela célula fotovoltaica e a potência da incidência solar, definida como segue na Equação 3:

$$\eta = [(I_{SC} \cdot V_{OC} \cdot FF) / (A \cdot G)] \cdot 100\% \quad \text{Eq. 3}$$

Onde:

A – Área da Célula Fotovoltaica (m^2);

G – Irradiância Solar Incidente num plano perpendicular à direção da propagação no topo da atmosfera terrestre (W/m^2) = $1367 W/m^2$;

P_{MP} – Ponto de obtenção da Máxima Potência ($V_{MP} \cdot I_{MP}$), obtido da curva $I \times V$.

Neste artigo, o objetivo foi focado na determinação experimental, com um ensaio em laboratório de eletrônica, dos parâmetros elétricos de uma célula fotovoltaica adquirida no mercado, buscando traçar a sua curva característica e, com os dados coletados determinar os valores de tensão de circuito aberto, corrente de curto-circuito, fator de forma e eficiência, averiguando se o método proposto apresenta resultados coerentes com a literatura disponível, visando prever a potência máxima a ser gerada num rastreador automático com algoritmo Fuzzy embarcado em *firmware* de um microcontrolador.

MATERIAL E MÉTODOS

Realizou-se inicialmente a busca das bibliografias em bases de artigos científicos para obtenção do conhecimento aplicado ao tema em pesquisa.

Foi adquirida no mercado uma placa fotovoltaica para a avaliação. O painel foi montado em uma estrutura de fixação para apontamento à fonte de irradiação solar.

O procedimento adotado para o ensaio do painel fotovoltaico em laboratório para se obter suas características elétricas, compreendeu as seguintes etapas, que segundo PETRY (2012), consistem em:

- a) Medição da área do módulo fotovoltaico adquirido com um paquímetro;
- b) Montagem do circuito elétrico para ensaio;
- c) Levantamento dos dados para a curva característica por meio da montagem de um circuito para a medição de corrente e tensão do módulo;
- d) Medição do valor de V_{oc} do módulo fotovoltaico com um multímetro nos terminais do módulo em aberto e sem carga;
- e) Medição de I_{sc} do módulo fotovoltaico através de um amperímetro para a saída em curto-circuito;
- f) Aplicando-se iluminação artificial de alta intensidade ao painel fotovoltaico e variando-se o valor da carga na saída do módulo, coletaram-se os valores obtidos para tensões e correntes de saída. Permitindo, assim, o cálculo das potências obtidas;
- g) Efetuaram-se os cálculos dos parâmetros elétricos do módulo fotovoltaico segundo as indicações encontradas em Bounechba et al., (2014) e PINHO & GALDINO (2014) apresentando, os mesmos em uma tabela;
- h) Construção da curva da tensão versus a corrente (curva $V \times I$) com o auxílio do software SCILAB (2017) e inferência dos valores de V_{MP} e I_{MP} ;
- i) Construção do gráfico de tensão versus a potência (curva $P \times V$) com o auxílio do software SCILAB (2017) e aferição de V_{MP} e P_{MP} .

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 3, tem-se o módulo fotovoltaico adquirido no mercado já com os terminais montados na face posterior para acesso às medições.



FIGURA 3. Módulo fotovoltaico adquirido no mercado para a experimentação de avaliação de características elétricas.

Medição da área do módulo fotovoltaico:

As dimensões do módulo fotovoltaico são necessárias para o cálculo do rendimento, portanto foram coletadas com o emprego de um paquímetro mitutoyo de 150mm, Ref. MITUTOYO-530-312B-10, e apresentaram-se os valores a seguir:

Comprimento do módulo: 80,05 mm;
Largura do módulo: 54,90 mm.

Realizando-se o produto do comprimento com a largura obteve-se o valor da área total do painel fotovoltaico que foi igual a 0,00439 m².

Montagem do circuito elétrico para ensaio:

O circuito elétrico montado para o ensaio compreendeu a instalação de dois multímetros, um sendo utilizado como voltímetro e o outro como Amperímetro. A Figura 4, apresenta o circuito base do ensaio:

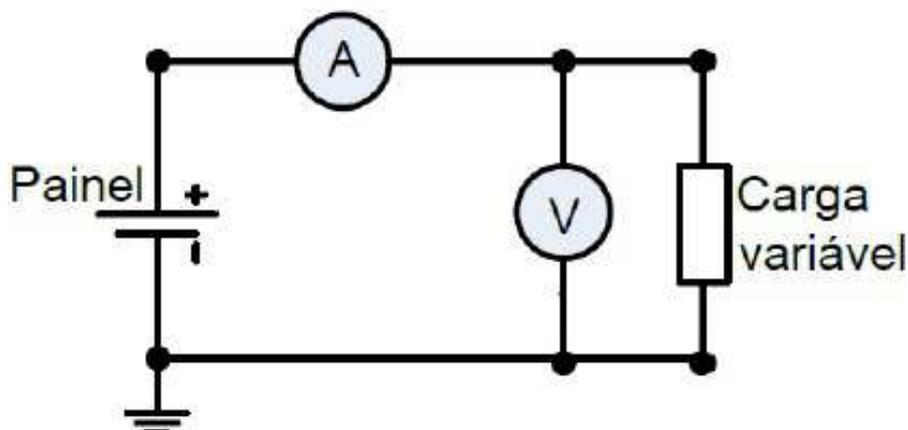


FIGURA 4. Circuito aplicado para a verificação das medições no módulo fotovoltaico do experimento de avaliação de características elétricas.

Levantamento da curva característica do Módulo Fotovoltaico:

As medições para levantamento da curva característica da corrente *versus* a diferença de potencial aplicada na célula em ensaio estão apresentadas na Tabela 1.

Para o levantamento da curva característica foram efetuadas as medições do valor de V_{oc} (Tensão de circuito aberto) e para a aquisição de I_{sc} (Corrente de curto-circuito) do módulo fotovoltaico com dois multímetros MINIPA modelo ET-1002, sendo um configurado como voltímetro digital na escala de tensão contínua (V_{cc}) e um configurado como amperímetro digital na escala de miliampéres (mA).

A Tabela 1 apresenta os dados obtidos no experimento de laboratório, que descrevem o comportamento do painel fotovoltaico, com os valores medidos para a tensão de circuito aberto e a corrente de curto circuito, segundo procedimentos citados por PINHO & GALDINO (2014), o cálculo da potência gerada, aplicando-se o procedimento descrito por MENDES (2010), o fator de forma e a eficiência conforme indicado por PINHO & GALDINO (2014).

TABELA 1. Dados obtidos do experimento de ensaio para a avaliação de características elétricas do painel fotovoltaico .

Tensão de Circuito Aberto (V_{oc})	6,29 (V)			
Corrente de Curto_Circuito (I_{sc})	26,6 (mA)			
Ensaio de Avaliação: (Resistor de carga variável = 1 K Ω)				
Tensão Medida (mV)	Corrente Medida (mA)	Potência Calculada (mW)	Fator de Forma (FF)	Eficiência (η)
0,00	26,25	0,00	0,00	0,00
0,25	26,15	6,53	0,04	0,11
0,50	26,03	13,02	0,08	0,22
0,75	25,80	19,35	0,12	0,32
1,00	25,75	25,75	0,15	0,43
1,25	25,75	32,19	0,19	0,54
1,50	25,68	38,52	0,23	0,64
1,75	25,68	44,94	0,27	0,75
2,00	25,60	51,20	0,31	0,85
2,25	25,55	57,49	0,34	0,96
2,50	25,48	63,70	0,38	1,06
2,75	25,43	69,93	0,42	1,16
3,00	25,38	76,14	0,46	1,27
3,25	25,28	82,16	0,49	1,37
3,50	25,20	88,20	0,53	1,47
3,75	25,10	94,13	0,56	1,56
4,00	25,03	100,12	0,60	1,66

4,25	24,90	105,83	0,63	1,76
4,50	24,78	111,51	0,67	1,85
4,75	24,50	116,38	0,70	1,93
5,00	23,90	119,50	0,71	1,99
5,25	22,73	119,33	0,71	1,98
5,50	20,03	110,17	0,66	1,83
5,75	15,93	91,60	0,55	1,52
6,00	9,00	54,00	0,32	0,90
6,10	7,12	43,43	0,26	0,72

Fonte: Os Autores.

O circuito apresentado na Figura 4, juntamente com as indicações obtidas de BOUNECHBA et al., (2014), PETRY (2012) e PINHO & GALDINO (2014), permitiram traçar a real curva para o módulo adquirido (Figura 5), que apresenta características semelhantes à curva apresentada por PINHO & GALDINO (2014). Na Figura 5 é possível identificação da curva obtida para V-I (Tensão x Corrente), plotada com o auxílio do *software* SCILAB (2017):

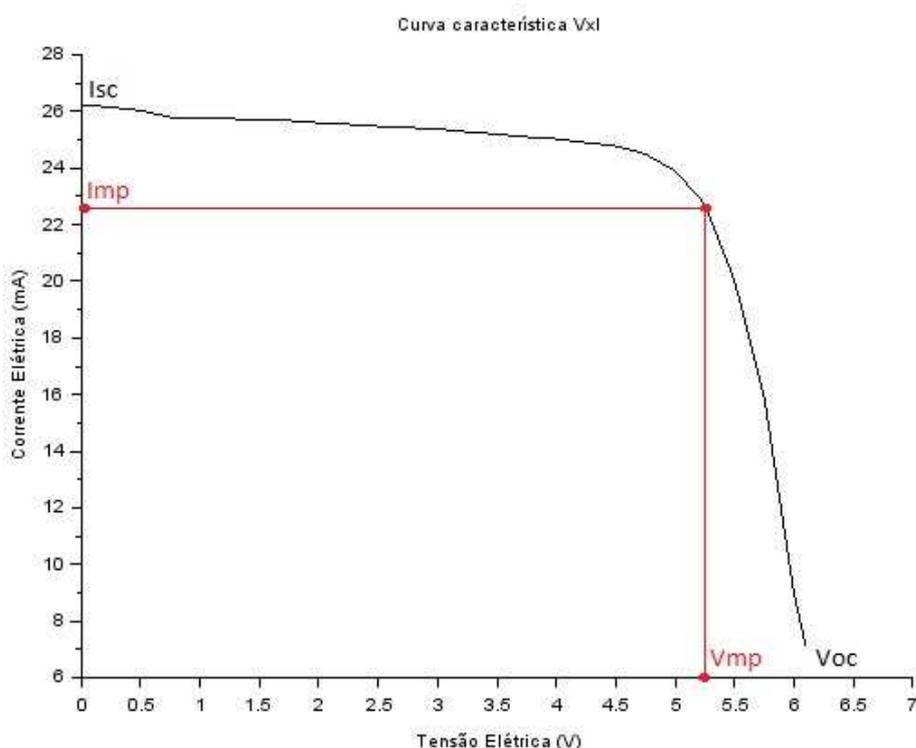


FIGURA 5. Gráfico da Corrente *versus* a diferença de potencial aplicada na célula fotovoltaica do experimento em ensaio.

Na Figura 6 tem-se apresentada a curva obtida para V-P (Tensão x Potência), plotada com o auxílio do *software* SCILAB (2017):

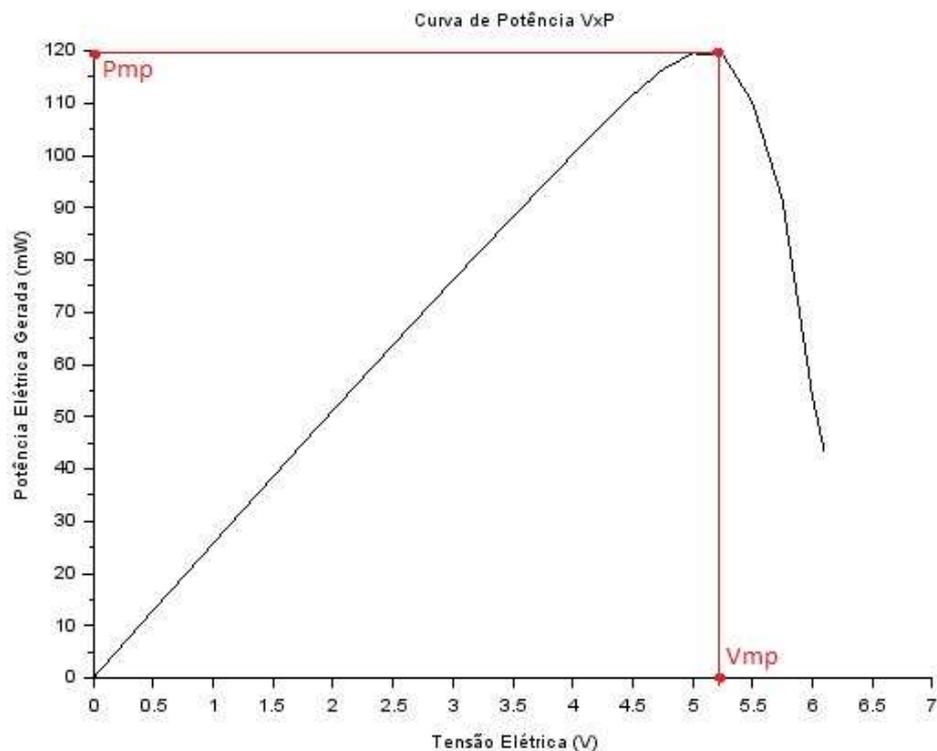


FIGURA 6. Potência Elétrica obtida em função da diferença de potencial aplicada na célula fotovoltaica do experimento em ensaio.

Observando-se as duas curvas obtidas com o auxílio do *software* SCILAB (2017), inferiram-se, como indicado na Figura 2, o valor para aquisição de potência máxima (P_{mp}), que é obtido quando a derivada em relação à tensão do painel fotovoltaico é nula, e os correspondentes valores para a corrente máxima potência (I_{mp}) e a tensão de máxima potência (V_{mp}).

Os valores obtidos foram:

$$(P_{mp}) = 119,50 \text{ mW};$$

$$(I_{mp}) = 22,50 \text{ mA};$$

$$(V_{mp}) = 5,25 \text{ V}.$$

Os resultados indicam que o melhor aproveitamento para alcance da máxima potência dos módulos de conversão, pode expandir em até 30% a transformação de energia como descrito na pesquisa de WU et al. (2016) e FATHABADI (2016).

Neste experimento, foi possível observar que este valor de 30% é viável, concordando, desta forma, com os autores, pois, como pode-se observar na Tabela 1, fazendo-se a média dos valores de potência, ou da eficiência e confrontando-se com os valores máximos obtidos, foi possível alcançar o valor de 79% (Condições ótimas de comportamento encontradas durante o experimento em laboratório), o que seria uma condição complicada para se manter, pois o sistema eletrônico de rastreamento apresenta movimentos com baixa velocidade, perdendo-se um pouco do rendimento máximo, levando a considerar 30% um bom valor médio para a potência da placa ensaiada.

O rastreador pretendido, portanto, construído de acordo com as referências e o algoritmo de MOLLO NETO & ZANETTI (2016), pode garantir maior valor agregado na conversão de energia, permitindo maior absorção durante a presença de radiação proveniente do sol.

As curvas características encontradas no ensaio, permitem inferir que o método proposto, e aplicado no experimento, apresentam, sim, resultados coerentes com a literatura disponível, inclusive com comportamento gráfico muito similar às apresentadas por PINHO & GALDINO (2014) e MENDES (2010).

Foi possível, no ensaio, observar que as equações matemáticas encaminham corretamente aos parâmetros elétricos pretendidos e permitem que se traçam as curvas características de V-I (Tensão x Corrente) e de V-P (Tensão x Potência), corroborando com as indicações obtidas de BOUNECHBA et al., (2014), PETRY (2012) e PINHO & GALDINO (2014).

Com o auxílio desta metodologia apresentada e de posse dos parâmetros elétricos encontrados no ensaio, foi possível dar andamento à construção do rastreador, apresentado por MOLLO NETO & ZANETTI (2016). O processo apresentado para a busca dos parâmetros elétricos desta pesquisa, é de fácil entendimento, não requerendo equipamentos de alto custo para a implementação, o que permite que se realizem ensaios com qualquer painel fotovoltaico disponível na atualidade e no mercado, com o objetivo de maximizar a conversão de energia com o rastreamento, como indicado por FATHABADI, (2016).

CONCLUSÕES

Considerando os resultados obtidos do ensaio, conclui-se que o método proposto permite a determinação dos parâmetros elétricos de uma célula fotovoltaica adquirida no mercado, para traçar as suas curvas características, os valores de tensão de circuito aberto, corrente de curto-circuito, fator de forma e eficiência, o valor para a determinação da potência máxima (P_{mp}), e os correspondentes valores para a corrente de obtenção de potência máxima (I_{mp}) e a tensão para a obtenção de potência máxima (V_{mp}).

Os resultados obtidos, habilitam os autores para que, a seguir, realizem a elaboração de um protótipo microcontrolado, com o algoritmo Fuzzy embarcado.

A metodologia apresentada também permite ao público geral, quando da obtenção de qualquer painel fotovoltaico, obter todos os seus parâmetros elétricos buscando um melhor rendimento de suas instalações.

AGRADECIMENTOS

Os pesquisadores agradecem à UNESP, pela liberação da utilização dos laboratórios para os estudos e ao CNPq pela bolsa Produtividade DT e à bolsa PIBIC concedidas.

REFERÊNCIAS

BOUNECHBA, H.; BOUZID, A.; NABTI, K.; BENALLA, H. Comparison of perturb & observe and fuzzy logic in maximum power point tracker for PV systems. **Energy Procedia**, v.50, p.677-684, 2014. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610214008194>>. Acesso em 20/01/2017. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2014.06.083>

CARVALHO, E., P.; CARDOSO, R. A. Controle do ponto de máxima potência em painéis fotovoltaicos com microcontrolador PIC. IX SEGeT 2012 - **Simpósio de excelência em gestão e tecnologia**, 2012. Disponível em: <<http://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos12/59816477.pdf>> Acesso em: 21/02/2017.

ELY, F.; SWART, J. W. Energia solar fotovoltaica de terceira geração. **IEEE - O setor Elétrico**, v. 1, p. 138-139, 2014. Disponível em: <<http://www.ieee.org.br/wp-content/uploads/2014/05/energia-solar-fotovoltaica-terceira-geracao.pdf>> Acesso em: 21/02/2017.

FATHABADI, H. Novel high efficient offline sensorless dual-axis solar tracker for using in photovoltaic systems and solar concentrators. **Renewable Energy**, n.1, v.95, p.485–494, 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148116303652>> Acesso em 08/09/2016. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2016.04.063>

MATHWORKS. **Matlab The Language of Technical Computing. Version R2017a**. The MathWorks, Inc., 2017. Disponível em: <<https://www.mathworks.com/products/matlab.html>> Acesso em 28/03/2017. DOI: Não Disponível.

MENDES, F. Eletricidade Básica: Curso Técnico em Informática. **e-Tec Brasil, Cuiabá-MT**, 2010. Disponível em: <http://ftp.comprasnet.se.gov.br/sead/licitacoes/Pregoes2011/PE091/Anexos/Inform%20E1tica_M%20F3dulo_I/ELETRICIDADE_BASICA/ELETRICIDADE_BASICA.pdf> Acesso em: 21/02/2017. ISBN 978-85-61819-78-1. DOI Não disponível.

MOLLO NETO, M.; ZANETTI, W. A. L. Construção de algoritmo fuzzy para rastreamento solar com painel fotovoltaico montado em suporte de um eixo. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.13, n.24, p.1643–1654, 2016. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2016b/engenharias/construcao%20de%20algoritmo.pdf>> Acesso em: 25/01/2017. doi: DOI: 10.18677/EnciBio_2016B_151

PETRY, C. A. Aula exp 01 experimentos com painéis fotovoltaicos. Notas de aula. 2012. **Instituto federal de educação, ciência e tecnologia de Santa Catarina** - departamento acadêmico de eletrônica, Laboratório de Eletrônica de Potência. Disponível em: <http://professorpetry.com.br/Ensino/Repositorio/Docencia_CEFET/Eletronica_Potencia/2012_1/Exp01.pdf> Acesso em: 15/01/2017. DOI: Não Disponível.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. **CEPEL-DTE-CRESESB. Rio de Janeiro**, 2014. Disponível em: <<http://www.portal-energia.com/downloads/livro-manual-de-engenharia-sistemas-fotovoltaicos-2014.pdf>> Acesso em 15/02/2017. DOI: Não Disponível.

REZENDE, J. O.; GUIMARÃES JÚNIOR, S. C. DETERMINAÇÃO DE PROCESSOS PARA LEVANTAMENTO PRÁTICO DAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS. In: **X CEEL - Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica, UFU - Uberlândia - MG.** 2012. Disponível em <http://www.ceel.eletrica.ufu.br/artigos2012/ceel2012_artigo010_r01.pdf> Acesso em: 25/01/2017. DOI: Não disponível.

SCILAB. Software for numerical computation. Release 6.0.0. **Scilab Enterprises**, 2017. Disponível em <https://www.scilab.org/scilab/about> Acesso em: 23/02/2017.

WU, J.; ZHANG, B.; WANG, L. Optimum design and performance comparison of a redundantly actuated solar tracker and its nonredundant counterpart. **Solar Energy**, n.1, v.127, p.36–47, 2016. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X1600030X>> Acesso em 08/09/2016. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2016.01.017>