

Método metaheurístico na estimação de parâmetros de módulos fotovoltaicos

Metaheuristic method in estimating parameters of photovoltaic modules

RESUMO

Este trabalho apresenta o estudo de sistemas fotovoltaicos através de simulações computacionais considerando variações de temperatura e radiação, visando simular um sistema fotovoltaico real, visto que durante o dia, os parâmetros de temperatura e radiação podem variar, sendo possível verificar e analisar o impacto das condições climáticas na geração de energia por sistemas fotovoltaicos. Além de apresentar as contribuições da implementação do algoritmo P&O (perturbação e observação) e do controle multi-malhas na busca do rastreamento do MPP (*Maximum Power Point*) do sistema, o estudo também demonstra a utilização de um algoritmo evolutivo (AE) baseado no método metaheurístico Evolução Diferencial (ED) empregado na estimação de parâmetros necessários para representar o modelo equivalente de uma célula fotovoltaica.

PALAVRAS-CHAVE: Método metaheurístico. Método P&O. Radiação solar. Temperatura.

ABSTRACT

This work presents the study of photovoltaic systems through computational simulations considering variations in temperature and radiation, simulating a real photovoltaic system, since during the day, the temperature and radiation parameters can vary, being possible to verify and analyze the impact of weather conditions in the generation of energy by photovoltaic systems. In addition to presenting contributions from the implementation of the P&O algorithm (disturbance and observation) and multi-mesh control in the search for tracking the system's MPP (*Maximum Power Point*), the study also demonstrates the use of an evolutionary algorithm (AE) based on metaheuristic method Differential Evolution (ED) in base rate calculation to represent the equivalent model of a photovoltaic cell.

KEYWORDS: Metaheuristic Method. P&O Method. Solar irradiation. Temperature.

João Pedro Bernardo

eng.joao.p.bernardo@gmail.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Avaré, SP, Brasil

Sérgio Augusto Oliveira da Silva

augus@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procopio, Paraná, Brasil

Rafaela Dizaró Silveira

rafaeladsilveira@hotmail.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procopio, Paraná, Brasil

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



INTRODUÇÃO

Como bem sabido, atualmente vive-se em uma sociedade tecnológica, diferentemente de décadas anteriores. Conseqüentemente, com a ascensão da tecnologia o consumo de energia aumentou. Além de que o crescimento econômico de um país está vinculado ao potencial de energia disponível. A energia é a força essencial para todo o funcionamento de uma economia e o desenvolvimento de uma sociedade (CAMARGO, 2017).

No Brasil, por sua vez, a EPE (Empresa de Pesquisa Energética) estimou um aumento no consumo em 3,7% ao ano entre os anos de 2017 e 2026. Isso implica na necessidade de planejamento do setor energético incluindo o sistema elétrico de potência (SEP), para expansão da geração de energia (SILVEIRA, 2019).

Com este cenário, a previsão de aumento da demanda energética é nítida sendo necessário planejar o aumento da geração de energia, por meio de diversas fontes, sendo elas renováveis e não renováveis (PRADO, 2016). Logo, deve-se levar em consideração os sérios impactos ambientais causados pela construção de novas usinas geradoras de energia, sendo elas, hidrelétricas, nucleares, derivadas de biomassa, derivadas de biogás, derivada de combustíveis fósseis, entre as outras opções de geração.

Neste âmbito, as fontes alternativas de energia, a energia elétrica proveniente dos painéis fotovoltaicos (PV, do inglês *Photovoltaic*) é considerada como sendo a fonte de energia natural mais útil, uma vez que é livre, abundante e não poluente (BRITO et al., 2011).

Com a evolução de fontes de energia solar fotovoltaica, resultou na implementação de diversos sistemas em todo o mundo. Entretanto, ainda existe oportunidades no sistema de conversão da energia. É desejável que estes sistemas sempre operem em sua capacidade máxima de geração de energia (DA COSTA, 2010).

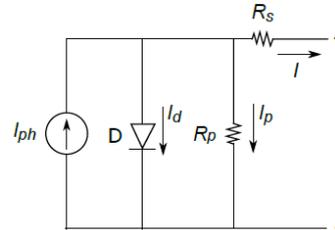
No entanto, tal esforço requer reconhecimento detalhado de parâmetros do sistema, por exemplo parâmetros meteorológicos como a radiação solar e temperatura do local onde o sistema se encontra instalado, para que seja possível uma estimativa da capacidade máxima de geração de energia por um arranjo PV.

Sendo assim, este trabalho tem como objetivos utilizar um algoritmo metaheurístico para estimar parâmetros desconhecidos de módulos fotovoltaicos e aplicar uma técnica de rastreamento do ponto de máxima potência (MPPT – *Maximum Power Point Tracking*) para garantir que o sistema esteja sempre operando em sua máxima eficiência.

CIRCUITO EQUIVALENTE DE UMA CÉLULA FOTOVOLTAICA

O mais simples circuito equivalente de uma célula fotovoltaica é uma fonte de corrente em anti-paralelo com um diodo (CASARO; MARTINS, 2008). A precisão da modelagem aumenta quando as não idealidades são consideradas e representadas através das resistências série e paralela, conforme a Figura 1.

Figura 1 – Circuito equivalente de uma célula fotovoltaica



Fonte: Autoria própria (2020).

Aplicando a primeira lei de Kirchhoff, pode-se analisar e equacionar o comportamento da corrente gerada pela célula fotovoltaica, conforme a Eq. (1).

$$I = I_{ph} - I_r \left[e^{q \left(\frac{V + IR_s}{nkT} \right)} - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_p} \quad (1)$$

Sendo:

V - Tensão nos terminais de saída da célula fotovoltaica; I - Corrente nos terminais de saída das células fotovoltaicas; I_r - Corrente de saturação reversa da célula; I_{ph} - Fotocorrente; q - Carga do elétron, $1,6 \times 10^{-19}$ C; η - Fator de qualidade da junção p-n; R_s - Resistências série; R_p - Resistência paralela; k - Constante de Boltzmann, $1,38 \times 10^{-23}$ J/K; T - Temperatura ambiente, em K.

Com a obtenção de todas as variáveis citadas na Eq. (1), é possível então obter as curvas características corrente-tensão (I-V) e potência-tensão (P-V).

CURVAS I-V E P-V

O levantamento dos parâmetros de um painel fotovoltaico pode ser realizado sob condições padronizadas. Neste estudo em questão utilizou-se como referência, uma densidade de radiação solar de 1000 W/m^2 , e uma temperatura de 25°C , obtendo as curvas I-V e P-V apresentadas nas Figuras 2 e 3 respectivamente.

Figura 2 – Curva I-V

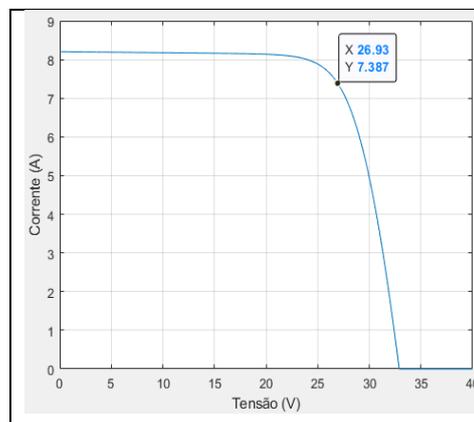
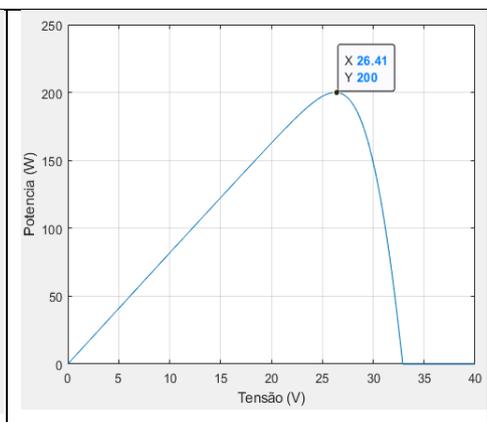


Figura 3 – Curva P-V



Fonte: Autoria própria (2020).

Para entender a influência das variáveis de radiação e temperatura no sistema fotovoltaico, foi necessário diferenciar os valores das mesmas. Logo, segue abaixo as Figuras 4, 5, 6 e 7 das curvas I-V e P-V com diferentes valores de radiação solar e temperatura.

Considerando radiação = 800 W/m² e Temperatura = 25°C.

Figura 4 – Curva I-V

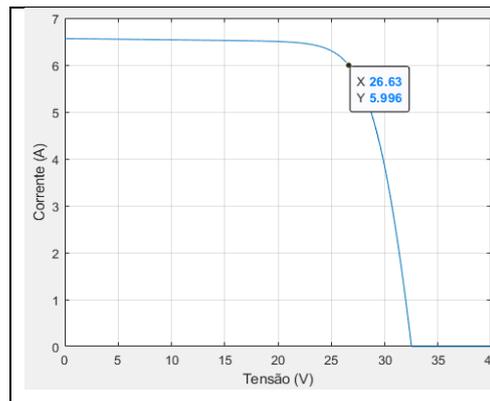
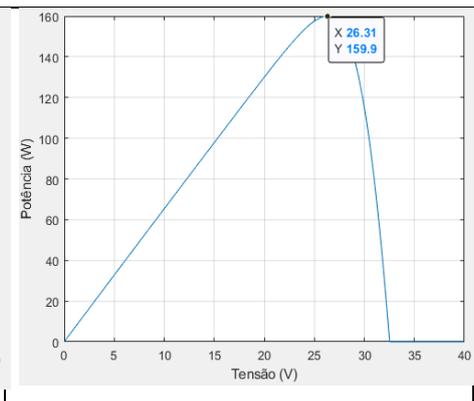


Figura 5 – Curva P-V



Fonte: Autoria própria (2020).

Considerando radiação = 1000 W/m² e Temperatura = 35°C.

Figura 6 – Curva I-V

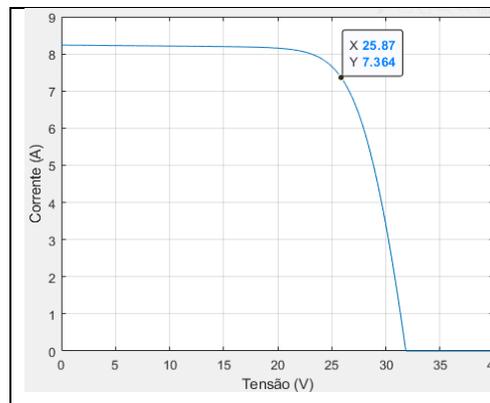
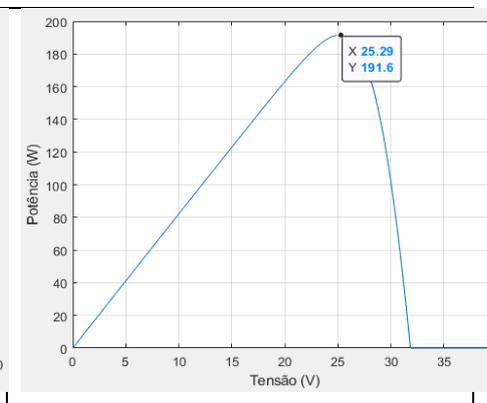


Figura 7 – Curva P-V



Fonte: Autoria própria (2020).

Desta forma, com a análise realizada, verificou-se que com a alteração da radiação solar, a corrente produzida é significativamente afetada. Já a temperatura influencia diretamente a tensão do circuito, porém não impacta tanto na corrente gerada pelo sistema.

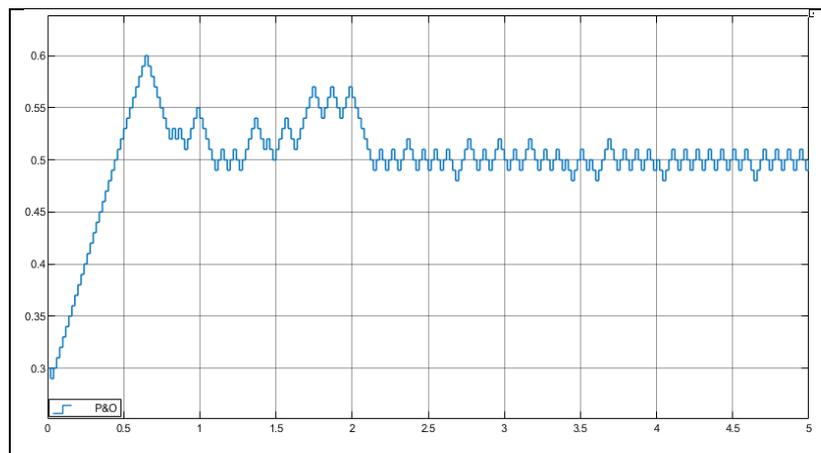
BUSCA PELO MPPT

Com o intuito de buscar uma maior eficiência no sistema fotovoltaico, foi acoplado a um arranjo fotovoltaico um conversor *boost* associado a uma carga resistiva. Com a finalidade de realizar o rastreamento do ponto de MPP (*Maximum Power Point*) do sistema, implementou-se o algoritmo P&O controlando a razão

cíclica do conversor *boost*. A Figura 8 apresenta a razão cíclica rastreada pelo MPPT P&O.

Portanto, é possível observar o incremento e o decremento da razão cíclica, que consiste em gerar uma pequena perturbação na tensão do módulo fotovoltaico em uma dada direção e em seguida observar a potência de saída gerada pelo PV. Logo, mostrou-se a eficiência do algoritmo P&O, visto que durante toda simulação o algoritmo P&O se manteve na busca pelo ponto de máxima potência, sendo próximo de 0,5.

Figura 8 – Algoritmo P&O buscando o MPPT através da Razão Cíclica

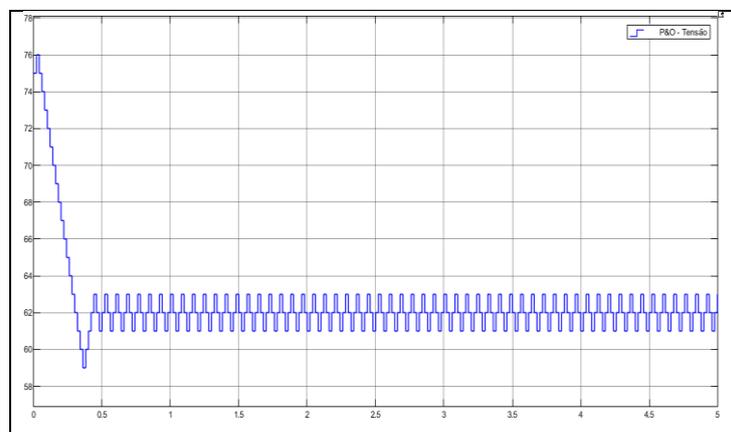


Fonte: Autoria própria (2020).

CONTROLADOR DO CONVERSOR *BOOST*

O conversor *boost* também foi controlado através de um controlador Proporcional-Integral (PI), em conjunto com o método P&O que desta vez fornece a tensão de referência para o sistema, sendo assim, a saída do algoritmo P&O será a tensão de referência do controle multi-malhas, composto por uma malha de controle de tensão e uma malha de controle de corrente. Na Figura 9 é mostrada a tensão de referência gerada pelo P&O.

Figura 9 – P&O buscando MPP através da Tensão

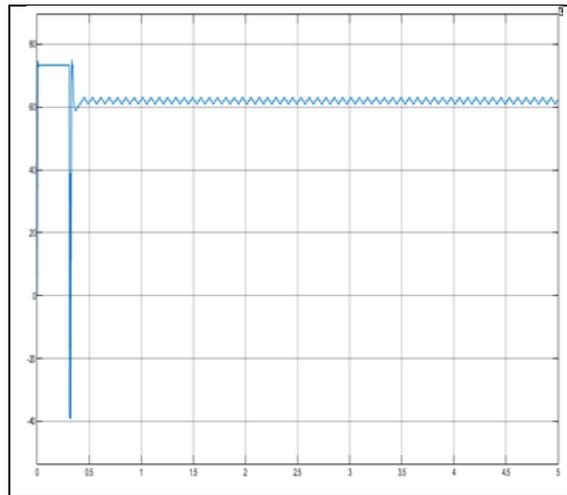


Fonte: Autoria própria (2020).

Deste modo, pode-se verificar que o algoritmo P&O provou sua eficiência em realizar o rastreamento do MPPT através da tensão.

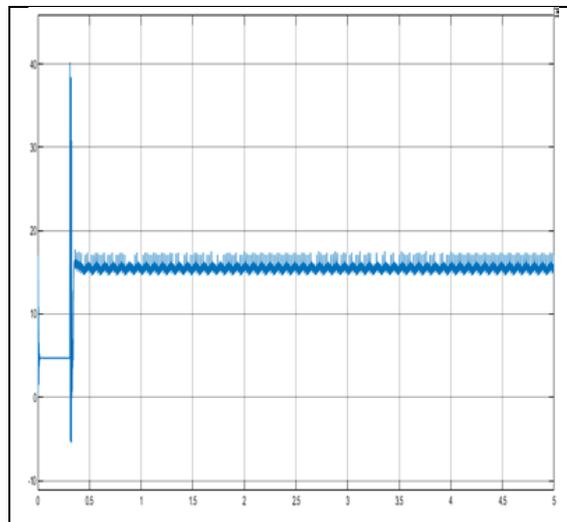
Dando continuidade na divulgação dos resultados, segue as curvas de tensão e corrente do arranjo fotovoltaico controlada pelo conversor *boost* em conjunto com a tensão controlada representadas respectivamente pelas Figuras 10 e 11.

Figura 10 – Tensão controlada



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 11 – Corrente controlada



Fonte: Autoria própria (2020).

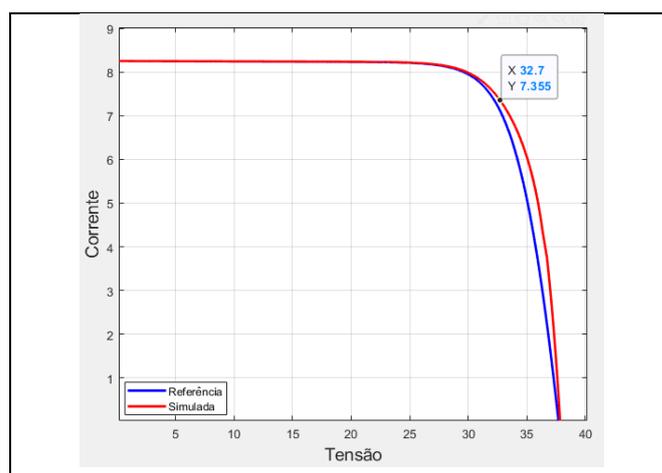
Como se pode observar, o sistema controlado por um controlador multi-malhas em conjunto com o P&O, é eficiente, visto que o mesmo apresenta um transitório curto. Portanto, este modelo de controle é eficaz, já que conforme a radiação e a temperatura variam durante o dia, o modelo se adequa rapidamente maximizando os ganhos de energia, buscando sempre o MPPT.

MÉTODO METAHEURÍSTICO EVOLUÇÃO DIFERENCIAL

O método metaheurístico Evolução Diferencial (ED), é um algoritmo evolutivo que as populações de indivíduos são criadas e submetidas aos operadores genéticos: seleção, mutação e recombinação (*crossover*). Estes operadores utilizam uma caracterização da qualidade de cada indivíduo como solução do problema (avaliação) e geram um processo de evolução natural destes indivíduos, que eventualmente deverá gerar um indivíduo que caracterizará uma boa solução, ou a melhor possível, para o problema (ISHAQUE et al., 2011). Desta forma, o método é utilizado para estimar parâmetros que não são disponibilizados no *datasheet* dos módulos fotovoltaicos, além de ser possível realizar comparação entre os dados fornecidos pelo fornecedor e os dados gerados pelo algoritmo.

Sendo assim, após aplicar o algoritmo baseado nas características da célula fotovoltaica, foi possível analisar a curva de referência que é gerada pelos dados disponibilizados pelo fabricante e a curva gerada pelo algoritmo ED através de seus parâmetros conforme apresentado na Figura 12. É de fácil visualização o quanto a curva I-V simulada fica próxima da curva de referência I-V. Logo, pode-se concluir que o algoritmo ED estimou os parâmetros fornecidos no *datasheet* do fornecedor.

Figura 12 – Curva I-V com algoritmo ED



Fonte: Autoria própria (2020).

CONCLUSÃO

Portanto, para comparação entre os modelos individuais, foram realizadas simulações para diversas situações e condições ambientais, utilizando o *software* Matlab. Dentre as simulações, pode-se chegar à conclusão que o algoritmo P&O em conjunto com o controlador multi-malhas do conversor *boost* é mais eficiente do que quando o P&O é aplicado no sistema individualmente. Além disso, com a ED, também foi apresentado a curva I-V simulada e a curva I-V de referência com os parâmetros fornecidos pelo fabricante. O resultado obtido foi satisfatório, visto que as curvas ficaram muito próximas, sinal de que o algoritmo ED estimou os parâmetros fornecidos pelo *datasheet* do fornecedor.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as contribuições da Universidade Tecnológica Federal do Paraná pelo apoio para o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

BRITO, M. A. G. et al. Evaluation of MPPT techniques for photovoltaic applications. **IEEE International Symposium on Industrial Electronics**, 2011. p. 1039-1044.

CAMARGO, L. **Projeto de Sistemas Fotovoltaicos conectados à Rede Elétrica**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado – Engenharia Elétrica). Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2017. Disponível em: http://www.uel.br/ctu/deel/TCC/TCC2017_LucasTamaniniCamargo.pdf. Acesso em: 02 Jun.2020.

CASARO, M. M.; MARTINS, D. C. **Modelo de arranjo fotovoltaico destinado a análises em eletrônica de potência via simulação**. *Eletrônica de Potência*, v. 13, n. 3, p. 141-146, 2008. Disponível em: <https://sobraep.org.br/artigo/modelo-de-arranjo-fotovoltaico-destinado-a-analises-em-eletronica-de-potencia-via-simulacao/>. Acesso em: 05 Jun. 2020.

DA COSTA, W. T. **Modelagem, estimação de parâmetros e método mppt para módulos fotovoltaicos**. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia de Elétrica) Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010. Disponível em: http://repositorio.ufes.br/bitstream/10/4120/1/tese2756_Tese_Doutorado_WagnerTeixeiradaCosta.pdf. Acesso em 03 Jun. 2020.

ISHAQUE, K. et al. Parameter extraction of photovoltaic cell using differential evolution method. In: **2011 IEEE Applied Power Electronics Colloquium (IAPEC)**. IEEE, 2011. p. 10-15.

PRADO, T. A. **Síntese de um controlador de rastreamento de máxima potência em fpga**. 2016. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado – Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/155289>. Acesso em: 03 Jun.2020.

SILVEIRA, R. D. **Análise comparativa entre sistemas fotovoltaicos multifuncionais de único e duplo estágios de conversão de energia**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procopio, 2019. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br:8080/jsp/ui/handle/1/5176>. Acesso em: 08 jul. 2020.