

## **SIMULAÇÃO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS PELO MÉTODO DE CHENNI.**

Lethicia Fernanda Paris (PIC/UEM), Rafael Krummenauer (Orientador). E-mail: rkrummenauer2@uem.br, Lucas Lima Provensi (Coorientador). E-mail: llprovensi@uem.br

Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Maringá, PR.

**Área: 3.04.00.00-7 Engenharia Elétrica / Sub Área: 3.04.04.01-0 Geração de Energia Elétrica.**

**Palavras-chave:** Modelagem de um painel fotovoltaico; Extração de parâmetros; Curva  $I \times V$ .

### **RESUMO**

Este projeto de iniciação científica propõe a modelagem e simulação do módulo fotovoltaico Hiku7 Monocristalino de 650Wp da Canadian Solar utilizando o método de CHENNI (CHENNI et al., 2007), afim de verificar o comportamento da curva  $I \times V$  do painel solar para diferentes cenários de temperatura e irradiação. É obtido como resultado que o método é capaz de simular as curvas para quaisquer valores de temperatura e irradiação. Além disso, foi realizada uma comparação com os dados fornecidos pelo fabricante do módulo e as simulações nas condições de referência, obteve-se que o método tem uma acurácia alta com erros inferiores a 2%.

### **INTRODUÇÃO**

A energia solar fotovoltaica no Brasil possui uma presença substancial na Micro e Minigeração Distribuída. Dados do Balanço Energético Nacional de 2021 revelam que mais de 44% da matriz energética brasileira é proveniente de fontes renováveis, com 5,5% vindo da energia solar fotovoltaica, representando um aumento significativo em relação a 2020.

Os módulos e o sistema de geração fotovoltaico são comumente projetados e dimensionados considerando que o sistema opere com sua potência máxima de saída, sob condições de teste padrão, com uma irradiação solar de  $1000\text{W/m}^2$  e temperatura na célula de  $25^\circ\text{C}$ . Apesar do dimensionamento do sistema ser frequentemente realizado por meio das condições de teste padrão, ambos os aspectos (irradiação e temperatura) que geram a curva característica de funcionamento do módulo, denominada de curva  $I \times V$ , sofrem alterações conforme a irradiação e temperatura do local de instalação do sistema gerador (PINHO; GALDINO, 2014). A curva  $I \times V$  é obtida pela incidência de irradiação solar sobre o módulo proporcionando a tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ), máxima tensão de operação, sendo está uma exponencial logarítmica em função do aumento de luminosidade. Enquanto que a corrente de curto circuito ( $I_{sc}$ ), máxima corrente pode

ser obtida. Assim, para o adequado projeto de todo o sistema e redução de dispêndios na aquisição e operação, principalmente para grandes consumidoras de energia, como as indústrias, busca-se considerar as variações geográficas no dimensionamento através de métodos de modelagem e de simulação fotovoltaica (PINHO; GALDINO, 2014).

A validação de um projeto de sistema fotovoltaico exige um estudo preciso do potencial do local de instalação, considerando que fatores geográficos, como a temperatura e a irradiação, alteram a curva característica dos módulos. Para isso, simulações e métodos matemáticos baseados na modelagem do circuito equivalente do equipamento são amplamente utilizados afim de garantir o melhor dimensionamento e eficiência de um sistema de geração distribuída, visando diferentes condições de temperatura e irradiação (PROVENSI, 2022).

## MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo se inicia com a compreensão da curva característica de um módulo fotovoltaico e os fatores que os influenciam, analisando três pontos principais: ponto de máxima potência ( $V_{mp}, I_{mp}$ ); ponto de tensão de circuito aberto ( $V_{oc}, 0$ ) e o ponto de corrente de curto-circuito ( $0, I_{sc}$ ).

Tendo isto como base, a próxima etapa é a modelagem do painel, que envolve a extração de quatro parâmetros do seu circuito equivalente:  $I_L, I_0, R_s$  e  $A$ . Este circuito equivalente é definido aproximando seu funcionamento a uma fonte de corrente em paralelo com um diodo, e ambos em série com um resistor. A equação que descreve esse sistema para um módulo de  $n$  células fotovoltaicas em série ( $NCs$ ) é dada por:

$$I = I_L - I_0[\exp(q \cdot (V + IR_s) \cdot A \cdot NCs \cdot k \cdot T_c) - 1]$$

Fazendo o uso dos três pontos da curva característica nas condições padrão de teste na equação que descreve o sistema, é possível encontrar três equações para os quatro parâmetros mencionados. O último parâmetro é obtido comparando o valor teórico do coeficiente de temperatura da tensão de circuito aberto, com seu valor prático encontrado no datasheet do módulo fotovoltaico, através do método da bissecção.

Para simular o módulo em diferentes condições climáticas, os parâmetros  $I_L$  e  $I_0$  são modificados utilizando as respectivas equações, enquanto  $R_s$  e  $A$  se mantêm fixos (CHENNI et al., 2007):

$$I_L = \frac{G}{G_{ref}} \cdot (I_{L,ref} + u_{sc,ref} \cdot (T_c - T_{c,ref}))$$
$$I_0 = I_{0,ref} \cdot \left(\frac{T_c}{T_{c,ref}}\right)^3 \cdot \exp\left[\left(\frac{q e_g}{k A}\right) \cdot \left(\frac{1}{T_{c,ref}} - \frac{1}{T_c}\right)\right]$$

A etapa final envolve a implementação do algoritmo para obtenção dos parâmetros, a modificação deles para as condições desejadas e a geração da curva característica do módulo. Os resultados serão comparados com dados da Canadian Solar (CANADIAN, 2022), empresa responsável por fabricar painéis solares.

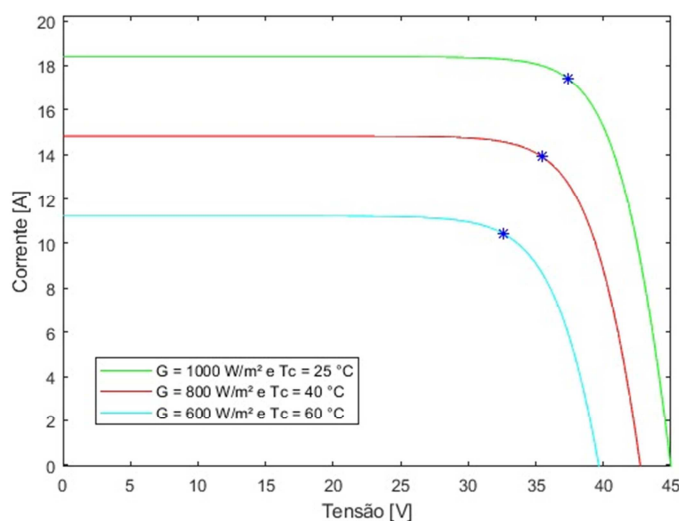
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O mecanismo de modelagem e simulação foi aplicado para o painel Hiku7 Monocristalino de 650Wp da Canadian Solar (CANADIAN, 2022). A Tabela 1 apresenta os dados  $V_{oc}$ ,  $I_{sc}$ ,  $V_{mp}$  e  $I_{mp}$  nas condições de  $G = 1000 \text{ W/m}^2$  e  $T_c = 25^\circ\text{C}$  obtidos na simulação pelo método de Chenni e os dados presentes no datasheet do fabricante, bem como o Erro percentual entre os dados simulados e práticos.

**Tabela 1**

|              | Dados da<br>folha técnica | Método de<br>Chenni | Erro<br>percentual (%) |
|--------------|---------------------------|---------------------|------------------------|
| $V_{oc}$ (V) | 45,00                     | 44,9213             | 0,1748%                |
| $I_{sc}$ (A) | 18,39                     | 18,3914             | 0,0076%                |
| $V_{mp}$ (V) | 37,90                     | 37,35               | 1,4511%                |
| $I_{mp}$ (A) | 17,16                     | 17,4266             | 1,5536%                |

Analisando a Tabela 1, é possível perceber que o método atinge seu objetivo na simulação dos módulos fotovoltaicos, pois o erro percentual máximo é inferior a 2%. Para demonstrar que o método é capaz de gerar curvas em quaisquer condições de temperatura e irradiação a Figura 1, apresenta 3 curvas  $I \times V$  do módulo em diferentes cenários de temperatura e irradiação e seu ponto de máxima potência.



**Figura 1** – Gráfico I X V do módulo fotovoltaico Canadian Solar HiKu7 Mono PERC de 650Wp para diferentes irradiações e temperaturas

## CONCLUSÕES

O presente trabalho tratou da importância em se calcular os valores de tensão e corrente dos painéis fotovoltaicos para diferentes situações climáticas de temperatura e irradiação solar, afim de garantir uma maior precisão no dimensionamento de projetos de geração distribuídas. O método de Chenni implementado se mostrou efetivo ao ser utilizado no cálculo e na modelagem da curva característica do módulo da Canadian Solar para  $G = 1000W/m^2$  e  $T_c = 25^\circ C$  ao dar resultados próximos dos valores fornecidos pelos fabricantes do módulo. Além disso, foi possível perceber que com o método de Chenni é possível simular o módulo fotovoltaico para quaisquer situações de temperatura e irradiação.

## AGRADECIMENTOS

DEQ/UEM.

## REFERÊNCIAS

Balanço Energético Nacional (BEN). Relatório Síntese, 2022. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-631/BEN\\_S%C3%ADntese\\_2022\\_PT.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-631/BEN_S%C3%ADntese_2022_PT.pdf). Acesso em: 23 de Agosto de 2023.

CANADIAN, S. **Folheto de Dados Técnicos Módulos Fotovoltaicos Canadian.** Canadian Solar Inc, 2022. Disponível em: <https://d2fp8gxcpx7iq0s.cloudfront.net/documents/bAQ4E2fOrgolBkt2sgEB8BjCsBr99gAMZPm2rF0y.pdf>. Acesso em: 23 de Agosto de 2023.

CHENNI, R. et al. A detailed modeling method for photovoltaic cells. **Energy**, v 32, n. 9, p.1724-1730, 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544206003501?via%3Di%3Dhub>. Acesso em: 22 de Agosto de 2023.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** Rio de Janeiro: CEPEL - CRESEB, 2014.

PROVENSÍ, L. L. **Modelagem das características de operação de módulos fotovoltaicos com base em otimização por enxame de partículas.** 2021. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Paraná, 2007.