

## CARACTERIZAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA MODELAGEM DE UMA PLANTA HÍBRIDA DE GERAÇÃO DE ENERGIA

Bianca Andrade Galvão<sup>1</sup>; Thamiles Rodrigues de Melo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Graduanda em Engenharia de Computação; Iniciação científica – FAPESB  
biancandradegalvao@outlook.com

<sup>2</sup>Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador-BA; thamiles.melo@doc.senaicimatec.edu.br

### RESUMO

Nesta pesquisa é proposta a caracterização de um sistema fotovoltaico para uma futura obtenção de um modelo computacional de uma planta híbrida de geração de energia elétrica, que combina diferentes tipos de fontes renováveis. Foi realizada uma revisão da literatura sobre a modelagem de painéis fotovoltaicos e a análise das especificações técnicas de um modelo comercial de uma placa fotovoltaica (PV) para validação da modelagem desenvolvida. Além disso, foi possível identificar as principais variáveis e parâmetros que descrevem o comportamento estático e dinâmico do sistema em estudo. Como resultados parciais, obteve-se as curvas estáticas I-V (corrente-tensão) e a P-V (potência-tensão) da PV, para diferentes condições climáticas. A partir da simulação do modelo da PV, espera-se extrair informações relevantes para a futura integração dessa fonte renovável na planta híbrida de geração de energia em desenvolvimento no projeto da Chesf, em cooperação técnico-científica com o SENAI CIMATEC e outras instituições parceiras.

**PALAVRAS-CHAVE:** Placa Fotovoltaica; Modelagem de Sistemas; Curvas Estáticas; Geração de Energia Elétrica.

### 1. INTRODUÇÃO

As fontes renováveis de energia são cada vez mais importantes para se alcançar um desenvolvimento sustentável, e entre elas destaca-se, como objeto de estudo, a energia solar. Em resumo, sistemas de geração solar convertem a luz do sol em eletricidade por meio de placas fotovoltaicas, têm custo inicial elevado, mas pode ser uma opção econômica a longo prazo, especialmente em regiões com muita exposição solar e com tarifas elétricas elevadas. Além disso, esses sistemas podem ser utilizados em sistemas híbridos, combinados com outras fontes de energia renovável, como eólica, para garantir uma geração de energia elétrica mais constante e confiável, maximizando a eficiência e reduzindo a dependência de uma única fonte de energia. Nesse contexto, é fundamental compreender a caracterização dos sistemas fotovoltaicos para a transição energética rumo a um futuro mais sustentável e a sua potencial aplicação em sistemas híbridos de geração de energia elétrica<sup>1</sup>.

No entanto, as fontes de energia solar variam temporalmente em muitas escalas, principalmente pela sazonalidade e condições climáticas. Em uma rede elétrica que exige um equilíbrio entre geração e consumo, maiores parcelas de fontes renováveis levam a múltiplos desafios. Neste sentido, modelos computacionais desses sistemas são métodos muito úteis na compreensão e análise sobre a oferta e demanda de energia, desde a operação de curto prazo ao planejamento de longo prazo<sup>2</sup>.

Dessa forma, o objetivo nesta pesquisa é caracterizar um sistema fotovoltaico que será utilizado como uma das fontes de energia de uma planta híbrida de geração de energia elétrica, considerando as condições climáticas na qual o sistema está submetido. Esta planta híbrida está em desenvolvimento no projeto CHESF em cooperação técnico-científica com o SENAI CIMATEC e outras instituições parceiras. A modelagem pode ajudar a otimizar o dimensionamento do sistema, a seleção de tecnologias e a previsão de desempenho, tornando-o mais eficiente e econômico.

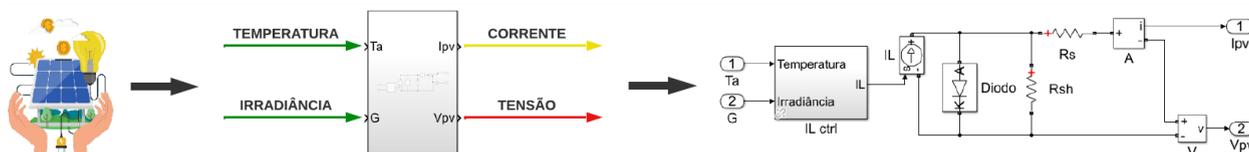
### 2. METODOLOGIA

No primeiro momento foi feita uma revisão da literatura sobre a modelagem de painéis fotovoltaicos, considerando os circuitos elétricos equivalentes, por meio de uma pesquisa sistemática. Esta foi realizada utilizando palavras-chave como "modelagem de painéis fotovoltaicos", "circuitos elétricos equivalentes", "modelagem de sistemas", "geração de energia elétrica", "modelos matemáticos" e "eficiência de conversão", entre outras. Com isso, a revisão permitiu identificar as principais variáveis e parâmetros que descrevem o comportamento estático e dinâmico dos painéis fotovoltaicos.

Segundo Motahhir et al.<sup>3</sup>, o modelo elétrico de uma PV é representado por um circuito elétrico DC, conforme ilustrado na Figura 1, e seu comportamento é representado pela Equação (1). Este circuito tem como sinais de saída a tensão elétrica (V) e a corrente elétrica (I) da placa, e é composto por diversos componentes, tais como diodo (D), resistências série ( $R_s$ ) e shunt ( $R_{sh}$ ), além de uma fonte de corrente dependente ( $I_{ph}$ ) da irradiância solar (G) e da temperatura ambiente ( $T_A$ ) como sinais de entrada. Há também

outros parâmetros que constituem o modelo proposto, que são fundamentais para a simulação e análise do sistema fotovoltaico, tais como: a carga elétrica dos elétrons ( $q$ ), a constante de Boltzmann ( $k$ ), a temperatura da junção P-N em Kelvin ( $T$  [K]), a constante do diodo ( $a$ ), a corrente de saturação do diodo ( $I_s$ ), a tensão térmica do arranjo ( $V_T$ ) e o número de células conectadas em série na placa ( $N_s$ )<sup>1,3</sup>.

Figura 1. Esquemático do modelo dinâmico da PV.



Fonte: Elaboração própria, a partir de (Portal Solar ©, 2014-2023), (FERREIRA, 2018) e MATLAB R2020a

$$I = I_{ph} - I_s \left( \exp \frac{q(V + IR_s)}{akTN_s} - 1 \right) - \frac{(V + IR_s)}{R_{sh}} \quad (1)$$

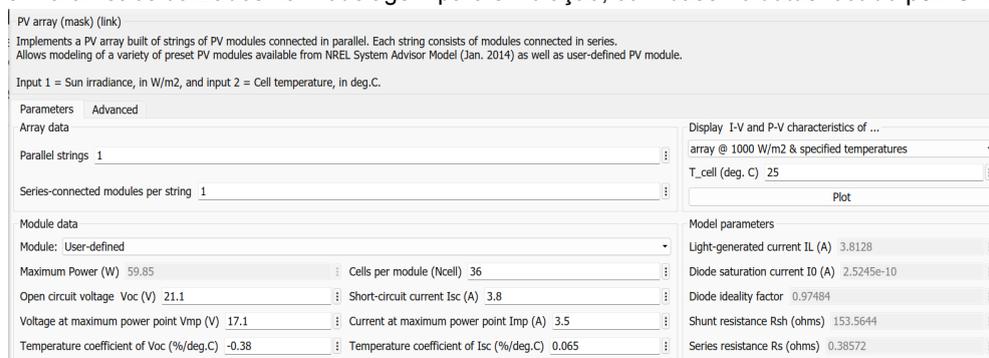
Em um segundo momento, foi feito o levantamento das especificações técnicas do modelo comercial de uma PV para validação da modelagem desenvolvida. Foram analisados os dados do *datasheet* do painel MSX-60, do fabricante “bp solar”, que apresenta as características elétricas construtivas do painel solar em estudo, com uma potência máxima de 60 Wp (Watts-pico) em condições de teste padrão. Além disso, no *datasheet* apresenta-se outras informações importantes, como a eficiência do painel, o coeficiente de temperatura e a faixa de tensão e corrente de operação. A partir dessas informações, foi possível realizar simulações para avaliar o comportamento estático do modelo da PV, para diferentes condições de operação<sup>4</sup>.

A etapa de simulação das curvas estáticas I-V (corrente-tensão) e a P-V (potência-tensão) do sistema PV a partir da variação dos sinais de entrada ( $I_R$ ,  $T_A$ ) foi realizada com o objetivo de entender como as condições climáticas afetam o desempenho do painel solar. Para isso, foram fixados diferentes valores de irradiância solar ( $I_r$ ) e variada a temperatura ambiente ( $T_A$ ) de 0 °C a 75 °C em em passos de 25 °C para cada simulação, obtendo-se os valores de corrente ( $I$ ), tensão ( $V$ ) e potência ( $P$ ) da placa. Além disso, foi fixada a temperatura ambiente e variado o valor da irradiância solar de 0,1 kW/m<sup>2</sup> a 1 kW/m<sup>2</sup> em passos de 0,1 kW/m<sup>2</sup> para cada simulação, obtendo-se também os valores de  $I$ ,  $V$  e  $P$ . A escolha dos passos está associada à validação das curvas simuladas por meio dos dados fornecidos pelo *datasheet*<sup>3</sup>.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Seguindo os passos descritos anteriormente, foi realizada a simulação do modelo elétrico de um painel solar, com as especificações do painel MSX-60, utilizando a ferramenta MATLAB-Simscape. A Figura 3 a seguir apresenta os valores extraídos do *datasheet* preenchidos com os parâmetros necessários. Após o preenchimento dos dados no modelo, pode-se simular a curva característica I-V e a P-V do painel solar, bem como ambas em diferentes condições de irradiância e temperatura.

Figura 3. Parâmetros utilizados na modelagem para simulação, com base no *datasheet* do painel MSX-60.

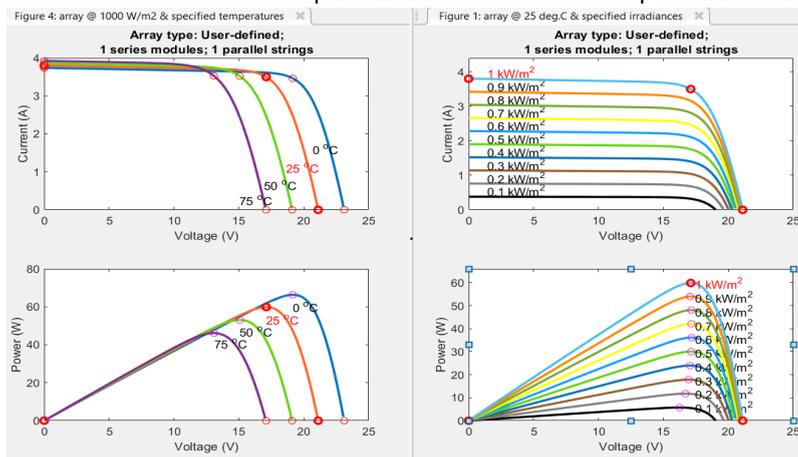


Fonte: Elaboração própria, MATLAB R2020a.

As curvas simuladas para a placa de modelo MSX60PV, conforme observado na Figura 4, foram comparadas com as curvas esperadas para esse tipo de painel, de acordo com documentações relevantes. Os resultados obtidos mostraram uma boa concordância com as especificações técnicas do painel ISSN 0805-2010 – *Anuário de resumos expandidos apresentados no VIII SAPCT - SENAI CIMATEC, 2023*

fornecidas pelo fabricante<sup>3,4</sup>. Além disso, a análise das curvas I-V e P-V permitiu identificar que o ponto de potência máxima (MPP) do PV foi de 59,85 W, assim como o fato de que, à medida que a temperatura do sistema aumenta, a potência gerada começa a diminuir devido às perdas na transmissão de energia e características não ideais dos componentes do sistema. Já o aumento da irradiação gerou o aumento da corrente e da potência, elevando a eficiência da placa e a quantidade de energia elétrica gerada. Dessa forma, é importante dimensionar corretamente o sistema para operar próximo ao MPP, a fim de maximizar a eficiência energética e minimizar perdas.

**Figura 4.** Curvas estáticas I-V e P-V simuladas para diferentes valores de temperatura e irradiação - MSX-60PV.



Fonte: Elaboração própria, MATLAB R2020a.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão da literatura permitiu identificar os parâmetros da PV e sua importância para o desenvolvimento de sistemas fotovoltaicos mais eficientes e sustentáveis. Os resultados parciais demonstraram a efetividade do modelo comercial de placa MSX60PV em produzir energia elétrica a partir da conversão da energia solar, além de validar a abordagem de modelagem utilizada neste estudo. A próxima etapa do estudo consiste na modelagem e simulação de um aerogerador e sua integração com o modelo da PV já desenvolvido, considerando aspectos elétricos, mecânicos e ambientais. A simulação permitirá avaliar o desempenho da planta híbrida baseada no projeto Chesf em diferentes pontos de operação. Posteriormente, simulações serão realizadas com dados provenientes do próprio projeto, no intuito de avaliar o desempenho em condições reais e encontrar possíveis soluções para o funcionamento do sistema híbrido.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pelo suporte financeiro na realização dessa pesquisa.

#### 5. REFERÊNCIAS

- <sup>1</sup>FERREIRA, Andreza Cardoso. **Modelagem e simulação da operação de sistemas de geração com fontes renováveis de energia suprindo minirrede de distribuição**. Orientador: João Tavares Pinho. 2018. 208 f. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Elétrica, Instituto de Tecnologia - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.
- <sup>2</sup>RINGKJØB, Hans-Kristian; HAUGAN, Peter M.; SOLBREKKE, Ida Marie. A review of modelling tools for energy and electricity systems with large shares of variable renewables. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 96, p. 440-459, 2018.
- <sup>3</sup>MOTAHHIR, Saad; EL HAMMOUMI, Aboubakr; EL GHIZAL, Abdelaziz. Photovoltaic system with quantitative comparative between an improved MPPT and existing INC and P&O methods under fast varying of solar irradiation. **Energy Reports**, v. 4, p. 341-350, 2018.
- <sup>4</sup>BP SOLAR. **BP MSX 60 - 60-Watt Multicrystalline Photovoltaic Module**. Disponível em: <https://www.digchip.com/datasheets/parts/datasheet/922/MSX60-pdf.php>. Acesso em: 8 de jun. 2023.