

# AVALIAÇÃO DOS MODELOS DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Eduardo José Barbosa<sup>1</sup>; Marcelo Cabral Cavalcanti<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Estudante do Curso de Engenharia Elétrica - CTG – UFPE; E-mail: eduardobarbosa631@gmail.com

<sup>2</sup>Docente/pesquisador do Depto de Engenharia Elétrica – CTG – UFPE. E-mail: marcelo.cavalcanti@ufpe.br

**Sumário:** Para melhorar a eficiência e o rendimento de painéis fotovoltaicos foi proposto estudar o modelo matemático da célula, sendo representado a partir de circuitos elétricos, comparando os resultados obtidos para o modelo com um diodo e dois diodos tornando mais complexo o modelo já que o número de parâmetros aumenta. O que pode auxiliar no aumento da viabilidade técnica e econômica de sistemas fotovoltaicos em futuras pesquisas.

**Palavras-chave:** diodo; modelo matemático; painéis fotovoltaicos; parâmetros;

## INTRODUÇÃO

Com o aumento considerável de demanda de energia ao longo do tempo nos obrigou a pensar em novas formas de obter energia, levando em consideração seu preço e o impacto ambiental que esta fonte de energia irá provocar. A energia solar é sem dúvida uma das opções mais práticas e viáveis de geração de eletricidade em um momento de crise do setor energético cada vez menos confiável.

A caracterização elétrica de dispositivos fotovoltaicos passa pela determinação da curva I-V, de onde se obtêm informações sobre o desempenho elétrico do gerador fotovoltaico, na condição padrão e alguns parâmetros fundamentais do circuito elétrico para o modelo permitindo qualificar o módulo e avaliá-lo em diversas condições de operação. Na maioria dos casos, é difícil determinar os 5 parâmetros do modelo com um diodo ou os seis parâmetros do modelo com duplo diodo matematicamente, devido à equação exponencial da junção p-n do(s) diodo(s) tornando assim o modelo mais complexo.

Neste trabalho foi feita uma série de simulações com preferência para o modelo com dois diodos, pois se esperava que fosse possível obter resultados melhores em relação ao modelo de 1 diodo, porém sempre se comparando com os melhores resultados obtidos quando possível.

Algumas vezes foi necessário fazer certos tipos de aproximações, como por exemplo, considerar parâmetros como  $R_s$  e  $R_p$  constantes. Porém vale salientar que, foi usado e muitos autores costumam utilizar certas previsões que geram um modelo menos preciso podendo acarretar erros. Tornando modelos menos complexos e com menor esforço computacional.

É possível que sejam encontrados os parâmetros dos modelos testados, de maneira eficiente e rápida, para os diversos tipos de painéis que estão disponíveis no mercado, obtendo um maior rendimento do painel na produção de energia elétrica.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A representação de uma célula fotovoltaica é na grande maioria dos casos feita seguindo um modelo de um diodo ou utilizando o modelo de dois diodos. O modelo de um diodo é mais simples contendo um diodo, um resistor em paralelo com o mesmo e um em série. A corrente elétrica em uma célula fotovoltaica pode ser considerada como a soma da corrente de uma junção PN, no diodo semicondutor, mais a corrente gerada pelos fótons absorvidos

da radiação solar. Já o modelo de dois diodos, basicamente, acrescenta mais um diodo em paralelo, o que torna as análises e simulações mais complexas.

O método utilizado, referente ao modelo de um diodo, para começar a simular os modelos de células fotovoltaicas na plataforma MATLAB/Simulink®, foi o “varredura total”, método utilizado por um aluno de mestrado do Grupo de Eletrônica de Potência [1], no qual é feita uma varredura de todos os valores fisicamente possíveis de  $A$  e  $R_s$ , resultando em uma equação para encontrar o  $R_p$ . Assim, o melhor conjunto de parâmetros é encontrado através do menor erro médio percentual (EMP) de corrente ou potência. Foram utilizados para este método curvas dos *datasheets* fornecidas pelo fabricante. Essas curvas são usadas em um programa de processamento de imagem, gerando curvas de referência para as simulações.

A partir desse circuito e já com as equações em software foram simulados os diversos tipos de modelos para as diversas condições impostas de irradiância e temperatura para obter as curvas I-V (corrente versus tensão) e P-V (potência versus tensão).

A proposta inicial, para o modelo de dois diodos, seria utilizar o método de varredura total adaptado para tal modelo com algumas modificações, porém percebeu-se que poderia melhorar a precisão ainda mais desse método se fosse utilizado um método iterativo que alcançasse a curva proposta do *datasheets* com as curvas simuladas. Segue a baixo um script no MATLAB/Simulink®, do método iterativo escolhido.

```
for ind = 1:1:Nlin1
    for i = 1:1:10 % Inicia o método Newton-Raphson
        g_I = Ig-I-Isat*(exp((Vlin1(ind)+Rs*I)/Vt)-1) - ((Vlin1(ind)+Rs*I)/Rp);
        dg_I = (-Rs*Isat*exp((Vlin1(ind)+Rs*I)/Vt)/Vt) - Rs/Rp - 1;
        dI = - g_I/dg_I;
        I = I + dI;
```

Figura 1 – Método de Newton-Raphson para o modelo de dois diodos.

Como se pode ver pela figura 1 o método de Newton-Raphson [2] foi o método iterativo escolhido, pois este método é um dos mais utilizados para obter solução de equações não lineares, pois converge rapidamente, diferente de outros métodos que demoram bem mais para convergir como o método de Gauss-Seidel.

Logo o método de Newton-Raphson foi o método que melhor se encaixou durante toda a pesquisa.

## RESULTADOS

A primeira parte da pesquisa foi entender todo o programa do método “varredura total” e adaptá-lo para o trabalho proposto de achar o melhor modelo de célula fotovoltaica.

Foram salvos todos os dados relevantes de cada simulação, na plataforma MATLAB/Simulink®, para análise comparativa com o modelo de dois diodos. Foram analisados para o modelo de um diodo, os tipos de erros abordados com e sem  $R_s$ .

Na figura 2 é possível verificar os dados dos principais parâmetros e os diversos erros para o modelo de um diodo com  $R_s$ , pois a inclusão do  $R_s$  tornou o modelo mais preciso sendo assim escolhido para tal comparação.

A	1.2100	1.2100	1.2300	1.2200	1.3600	1.3000
Rs	0.2320	0.2320	0.2220	0.2260	0.1880	0.2060
Rs_50	0.2153	0.2153	0.2124	0.2138	0.1927	0.2021
Rs_75	0.2425	0.2425	0.2369	0.2397	0.1974	0.2162
MEAB(I)	0.0716	0.0716	0.0708	0.0711	0.0684	0.0691
MEPM(I)	2.2391	2.2391	2.2201	2.2317	2.0260	2.0969
MEQM(I)	0.0922	0.0922	0.0917	0.0921	0.0854	0.0870
MEAB(P)	1.4000	1.4000	1.3796	1.3877	1.3200	1.3375
MEPM(P)	2.3152	2.3152	2.2963	2.3079	2.1014	2.1725
MEQM(P)	2.0815	2.0815	2.0743	2.0835	1.9220	1.9530
Critério	% corr	% pot	ABS corr	ABS pot	quad-corr	quad-pot

Figura 2 - Dados para o modelo com a inclusão de Rs com um diodo.

Para as simulações com dois diodos foi utilizado o modelo modificado, já citado anteriormente com o Método de Newton-Raphson para implementar as iterações. Foi também feito um rastreamento para os diversos parâmetros do modulo na irradiância de 1000, 800 e 600 W/m<sup>2</sup> encontrando assim faixa de valores ideais para as grandezas: Rs, Rp A1 e A2 nas suas respectivas irradiância.

Tabela 1 – Faixa de valores dos parâmetros para dois diodos.

Dados	Irradiância (W/m <sup>2</sup> )		
	1000	800	600
A1	1	1	1
A2	2	2	2
Rs	0.27	0.39	0.40
Rp	118.70	146.30	220

Apenas para análise de comparação foi calculado o erro médio absoluto em potencia, no modelo de dois diodos, na irradiância de 1000 W/m<sup>2</sup> para se comparar com o modelo de um diodo. O resultado obtido foi:

$$\text{EMAP(erro médio absoluto em potencia)} = 0.9718.$$

Em relação ao modelo de um diodo o erro absoluto em potencia é menor cerca de 29.97%.

## DISCUSSÃO

A partir das tabelas montadas e dos dados obtidos da simulação do circuito elétrico de ambos os modelos, incluindo as devidas simplificações e adaptações é notável que nos leva a crer que o modelo de dois diodos adaptado tem menor erro absoluto em potencia que o modelo de apenas um diodo, com inclusão do Rs nas simulações. Embora tenha um tempo de simulação maior exigindo um custo também mais alto no momento de fabricar tais painéis. O erro absoluto foi escolhido para fazer essa comparação, pois o erro médio absoluto se preocupa com os extremos da curva I-V, ou seja, os pontos de curto circuito e circuito aberto, porém os outros erros não devem ser desprezados, pois também servem de índice de desempenho para as técnicas abordadas.

Logo é possível que em futuras pesquisas possa ser analisado tais modelos de maneira mais cuidadosa e levando em consideração outros parâmetros, como a temperatura, o que pode tornar o modelo mais complexo ainda.

### **CONCLUSÕES**

Neste trabalho foi apresentado um método para determinação dos principais parâmetros do modelo do painel,  $R_s$ ,  $R_p$ , fator de idealidade, corrente de saturação reversa, a partir das curvas I-V. Os valores encontrados também foram utilizados para plotar as curvas I-V e P-V para comparar com a curva fornecida pelo fabricante. Os resultados obtidos, de maneira geral, foram satisfatórios.

Pode-se concluir que o modelo de um diodo, adotado para representar o circuito equivalente de uma célula ou módulo fotovoltaico, mostrou-se eficaz, porém para o principal erro, de acordo com a pesquisa, foi maior em relação ao modelo de dois diodos, ou seja, é possível afirmar que o a inclusão de um diodo torna o modelo mais eficiente embora tenha um esforço computacional maior.

Logo vale a pena aplicar um modelo mais complexo, pois como já vimos só haverá a necessidade de simular uma única vez.

### **AGRADECIMENTOS**

Agradecimentos ao órgão de fomento, CNPq, pelo auxílio financeiro, à Universidade Federal de Pernambuco pela oportunidade, ao professor orientador, Marcelo Cabral Cavalcanti, ao aluno de doutorado, Aguinaldo Junior, e ao grupo de pesquisa, GEPAE, pelas discussões e recomendações que contribuíram para que os trabalhos avançassem.

### **REFERÊNCIAS**

- [1] “Estimação de parâmetros visando a melhoria da precisão das simulações de módulos fotovoltaicos” Emerson Alves da Silva. Dissertação de mestrado.
- [2] “Métodos Iterativos Para Resolução de Sistemas de Equações Não Lineares” Gerardo Valdísio Rodrigues Viana.
- [3] “Determinação de parâmetros fotovoltaicos a partir de ensaios de curvas características sem iluminação” Alexandre José Bühler. Dissertação de mestrado.