

AValiação de Métodos de Estimacão de Perdas Associadas ao Material de Fabricacão e Estrutura de Módulos Fotovoltaicos

Wyara Maria Carlos Souza Pontes (UFC) - wyara_w2@hotmail.com

Ligia Maria Carvalho Sousa Cordeiro (UNILAB) - ligia@unilab.edu.br

Resumo:

O desempenho dos geradores fotovoltaicos é bastante influenciado pelas condições ambientais de temperatura e radiação, e pelas características dos materiais que compõem os módulos fotovoltaicos. A literatura dispõe de modelos matemáticos que permitem estimar o comportamento dos módulos mediante estas influências. Nesse contexto, o presente trabalho propõe estudar técnicas de estimacão das perdas relacionadas ao material de fabricacão dos módulos para o modelo de um diodo e uma resistência. O objetivo do estudo é analisar qual técnica melhor descreve as perdas fotovoltaicas de acordo com as especificacões e dados experimentais disponibilizados pelo fabricante. O módulo selecionado para o estudo foi o MaxPower CS6U da marca Canadian Solar, o qual está sendo utilizado em uma usina de minigeraçao instalada no Campus das Auroras da Universidade da Integraçao Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira.

Palavras-chave: *Módulos fotovoltaicos. Modelagem matemática. Parametrizacão.*

Área temática: *Conversão Fotovoltaica*

Subárea temática: *Aspectos técnicos de sistemas fotovoltaicos instalados*

AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE ESTIMAÇÃO DE PERDAS ASSOCIADAS AO MATERIAL DE FABRICAÇÃO E ESTRUTURA DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Wyara Maria Carlos Souza Pontes – wvara_w2@hotmail.com

Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Elétrica

Lígia Maria Carvalho Sousa Cordeiro - ligia@unilab.edu.br

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável

Resumo. O rendimento dos geradores fotovoltaicos é bastante influenciado pelas condições ambientais de temperatura e radiação, e pelas características dos materiais que compõem os módulos fotovoltaicos. A literatura dispõe de modelos matemáticos que permitem estimar o comportamento dos módulos mediante estas influências. Nesse contexto, o presente trabalho propõe estudar técnicas de estimação das perdas relacionadas ao material de fabricação dos módulos para o modelo de um diodo e uma resistência. O objetivo do estudo é analisar qual técnica melhor descreve as perdas fotovoltaicas de acordo com as especificações e dados experimentais disponibilizados pelo fabricante. O módulo selecionado para o estudo foi o MaxPower CS6U da marca Canadian Solar, o qual está sendo utilizado em uma usina de minigeração instalada no Campus das Auroras da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira.

Palavras-chave: Módulos fotovoltaicos, Modelagem matemática. Parametrização.

1. INTRODUÇÃO

A busca pela diversificação da matriz elétrica aliada ao crescimento da demanda por energia, tem impulsionado a geração de energia elétrica por meio de fontes renováveis como a energia solar fotovoltaica.

O fenômeno responsável pela conversão solar fotovoltaica é chamado efeito fotovoltaico. Este efeito ocorre devido a excitação dos elétrons de materiais semicondutores quando estes absorvem luz solar, resultando em uma diferença de potencial na estrutura desses materiais. As células fotovoltaicas, dispositivo no qual ocorre o processo de conversão, podem ser arranjadas em estruturas conhecidas como módulos fotovoltaicos e painéis fotovoltaicos (CEPEL-CRESESB, 2014).

A eficiência das células ainda é relativamente baixa. Os modelos comerciais atuais apresentam eficiência de conversão em torno de 20%. A eficiência dos módulos depende de fatores externos, como radiação incidente, nebulosidade, precipitação, temperatura ambiente, e fatores internos como composição dos materiais, estrutura das células, cabos e conexões elétricas (CANTOR, 2017).

Para representar o comportamento do módulo, estão disponíveis na literatura modelos matemáticos que possuem variáveis que representam os fatores externos e internos. Dentre estes modelos destacam-se:

- o modelo de um diodo e uma resistência; o qual considera perdas devido a resistência interna do próprio material semicondutor e à resistência devido ao contato entre este e os contatos metálicos, representadas por uma resistência em série;
- o modelo de um diodo e duas resistências: o qual considera além de uma resistência série, uma resistência em paralelo que representa as perdas devido a impurezas e defeitos na estrutura, que provocam redução da corrente gerada (LOPES, 2013; HANSEN, 2015);
- o modelo de dois diodos e duas resistências: além das resistências série e paralelo considera também as perdas de corrente que ocorrem na região de depleção na junção p-n (ALVES, 2018).

Entre os modelos supracitados, o modelo matemático que melhor representa o módulo MaxPower CS6U é o modelo de um diodo e duas resistências (PONTES, 2018).

O circuito elétrico equivalente de uma célula fotovoltaica representada pelo modelo de um diodo e duas resistências é mostrado na Fig. 1.

Aplicando a Lei de Kirchoff dos nós, a corrente I é dada pela Eq.(1).

$$I = I_{pv} - I_D - I_p \quad (1)$$

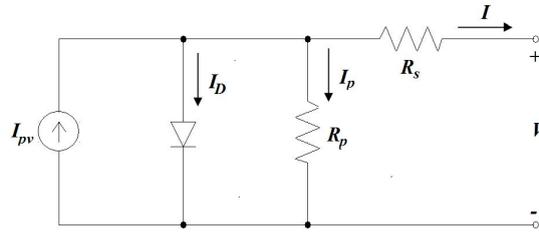


Figura 1 - Circuito equivalente do modelo de um diodo e duas resistências. Fonte: Autora.

A fotocorrente I_{pv} depende diretamente da irradiação solar G (W/m^2), da temperatura (T_c) e do coeficiente de temperatura da corrente de curto circuito (K_0), podendo ser expressa pela Eq. (2). A corrente I_D flui através do diodo, a corrente I_0 é a corrente de saturação do diodo, dada pela Eq. (3) e I_p é a corrente que flui através da resistência R_p e expressa pela Eq. (4).

$$I_{pv} = I_0 + K_0 (T_c - T_{ref}) \quad (2)$$

$$I_0 = I_{scSTC} \times \frac{G_a}{G_{ref}} \quad (3)$$

$$I_p = \frac{V_{cel} + R_s I}{R_p} \quad (4)$$

Onde: T_{ref} é a temperatura ambiente; I_{scSTC} é a corrente de curto-circuito a $25^\circ C$ e irradiância G ; G_{ref} corresponde a radiação de $1000 W/m^2$; e R_s é a resistência série sobre a qual flui a corrente I .

Os parâmetros de resistência possuem influência bastante significativa no comportamento da curva I-V da célula. Através da Fig. 2 a), observa-se que a resistência série contribui para a redução da corrente de curto-circuito (I_{sc}), reduzindo o fator de forma e consequentemente a eficiência. A tensão de circuito aberto (V_{oc}) não é afetada (CEPEL-CRESESB, 2014; CARVALHO, 2014).

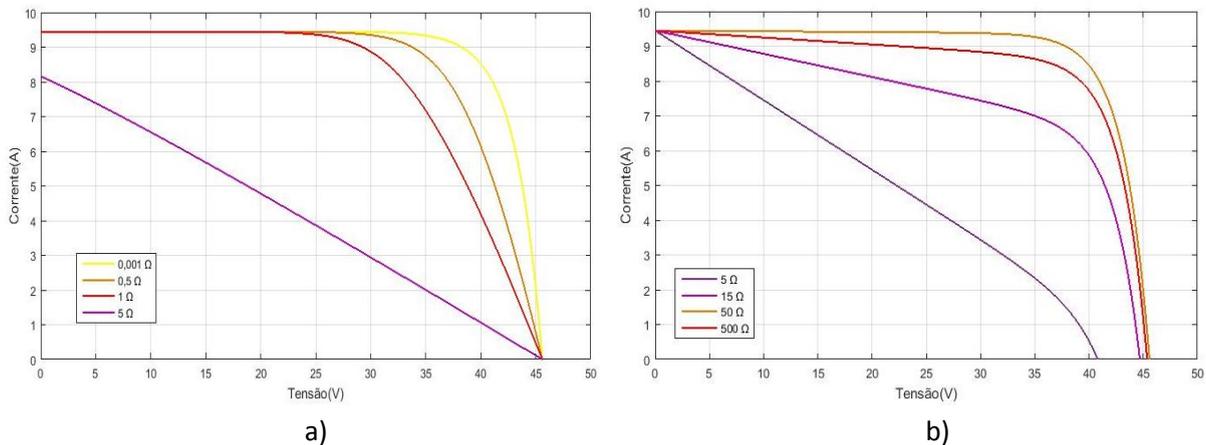


Figura 2 - a) Efeito da resistência série (R_s) na curva I-V nas condições STC e considerando $R_p \rightarrow \infty$. b) Efeito da resistência paralelo (R_p) na curva I-V nas condições STC e considerando R_s nula. Fonte: Adaptado de Bueno, 2016.

O efeito da resistência paralelo R_p , conforme mostrado na Figura 2 b), embora não afete na I_{sc} possui influência sobre a tensão V_{oc} e portanto sobre o fator de forma (FF), uma vez que este parâmetro é a razão entre a potência máxima fornecida e o produto de V_{oc} e I_{sc} .

Diante da influência relevante dos fatores externos, representados pelas resistências, na eficiência dos módulos o presente trabalho tem como objetivo avaliar as principais técnicas disponíveis na literatura de modo a constatar qual delas fornece a melhor estimativa desses parâmetros para o módulo em estudo.

2. METODOLOGIA

2.1 Módulo Fotovoltaico

Para estudo foi selecionado o módulo MAXPOWER CS6U do fabricante Canadian Solar, composto por 72 células de silício policristalino conectadas em série. O módulo apresenta uma potência máxima para as condições padrão de teste (STC) de 330 W e uma eficiência de 17,23%. A Tab. 1 contém as especificações do módulo para as condições STC e para as condições de temperatura nominal de operação do módulo (NMOT).

Tabela 1- Características STC e NMOT do módulo CS6U-Canadian Solar.

Parâmetro	Variável	Grandeza STC	Grandeza NMOT
Potência máxima	$P_{m\acute{a}x}$ (W)	330	243
Tensão em MP	V_{mp} (V)	37,20	34,20
Corrente em MP	I_{mp} (A)	8,88	7,10
Tensão de circuito aberto	V_{oc} (V)	45,60	42,50
Corrente de curto circuito	I_{sc} (A)	9,45	7,63
Coeficiente de temp. de I_{sc}	k_i (A/°C)	0,0005	0,0005
Coeficiente de temp. de V_{oc}	k_v (V/°C)	-0,0031	-0,0031

2.2 Técnicas de estimação da resistência série R_s

2.2.1 Solver Excel

O Solver é um suplemento do Microsoft Excel utilizado para teste de hipóteses e pode ser utilizado para encontrar um valor ideal para a fórmula de uma célula através do ajuste de outras células conforme restrições pré-estabelecidas. O Solver realiza o ajuste dos valores das células variáveis de forma a satisfazer os limites impostos sobre células de restrição gerando o resultado desejável para a célula destino (MICROSOFT SUPPORT OFFICE).

A vantagem é que o método usado pelo suplemento Solver não necessita manipular as equações do módulo fotovoltaico nem realizar a normalização dos dados para variações de temperatura e irradiância, referente ao levantamento da curva característica do módulo (COSTA, 2010).

Para realizar a parametrização através do solver Excel é necessário obter os dados da curva digitalizada. Em seguida são calculados analiticamente os valores da corrente fotogerada e a corrente de saturação reversa e então apenas as resistências série e paralelo ficam por se conhecer. Posteriormente a corrente de saída é calculada em função das variáveis ausentes, possibilitando estabelecer um erro absoluto para cada ponto da curva. Assim, a célula de destino é a que contém a média dos erros. Os valores de corrente, os valores de parâmetros utilizados, as células variáveis e os erros e o erro médio foram calculado.

No trabalho de Chenche (2015), foi realizada a análise de algumas técnicas para obter os parâmetros de um módulo fotovoltaico. A solução pelo Solver do Excel apresentou os melhores resultados dentre os métodos analisados pelo autor. No trabalho de Costa (2010) também foi utilizado o Solver Excel para a parametrização de módulos fotovoltaicos.

2.2.2 Método da derivada

Na seção anterior foi mostrada a influência que as resistências série e paralelo tem na inclinação da curva I-V do módulo. A extração dos parâmetros R_s e R_p pode ser feita através da inclinação da curva disponibilizada pelos fabricantes. Entretanto, dificilmente esses dados são disponibilizados em formato *xls* ou similar, sendo necessário recorrer a técnicas de processamento de imagens para possibilitar a extração destes dados de uma imagem digitalizada das curvas I-V (VIDAL, 2013; BUHLER, 2011).

A Eq. (5) representa a equação característica em relação a tensão (BUENO, 2014; EICKER, 2001). A resistência série pode ser determinada geometricamente pela curva experimental através da inclinação $\frac{dI}{dV}$ em $I \approx 0$ no ponto (0, V_{oc}) conforme a Fig. 3 (COTFAS et al, 2008). A resistência paralela R_p é dada pela Eq. (7).

$$\frac{dI}{dV} = -I_0 \left[e^{\frac{V+R_s I}{nV_t}} - 1 \right] V_t \left(1 + R_s \frac{dI}{dV} \right) \quad (5)$$

Derivando a Eq. (5) no ponto de tensão V_{oc} , as resistências R_s e R_p são dadas pela Eq. (6) e Eq. (7).

$$R_s = \frac{-dV}{dI_{V_{oc}}} = \frac{-V_T}{I_0 e^{\frac{V_{oc}}{nN_s V_T}}} \quad (6)$$

$$R_p = \frac{-dV}{dI_{cell_{sc}}} - \frac{V_T}{I_{sc}} \quad (7)$$

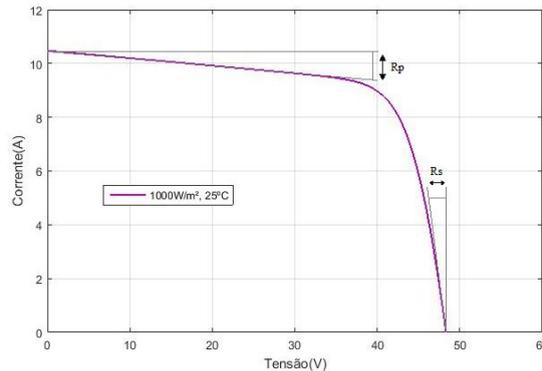


Figura 3 – Extração dos parâmetros R_s e R_p pelo método da derivada através da curva experimental. Fonte: Adaptado de (COTFAS et al, 2008).

Esse método não é tão confiável pois depende de pontos escolhidos na curva, porém é um método simples que estima valores preliminares.

Segundo Carvalho (2014), este método possui uma precisão razoável, fornecendo uma aproximação de R_s melhor que alguns métodos disponíveis na literatura. Nos trabalhos de Vidal (2013) e Siddique (2017), o método da derivada obteve uma excelente correspondência com a curva disponibilizada pelo fabricante. Já em Bueno (2016) não foram alcançados bons resultados estimando a resistência série por este método, obtendo resultados consideravelmente divergentes ao esperado.

2.2.3 Método Iterativo

No ponto de operação de I_{sc} , a corrente I_{pv} é bem próxima de I_{sc} . Desta forma, a corrente I_{pv} é dada pela Eq. 8.

$$I_{pv} = I_{sc} \quad (08)$$

A corrente I_{sc} e a tensão V_{oc} , correspondem aos valores nominais e podem ser obtidas através do *datasheet* fornecido pelo fabricante. O valor da energia de GAP (E_g) e o fator de idealidade do diodo (n) para células de silício policristalino podem ser obtidos consultando a literatura.

Para determinar os parâmetros R_s e R_p deve-se primeiramente considerar o fato de que só existe um par de R_s e R_p que fazem com que a $P_{máx,m}$ calculada seja igual a $P_{máx,e}$ obtida no ponto (V_{mp}, I_{mp}) da curva I-V, dada pelo produto $V_{mp}I_{mp}$. Desta forma, este método propõe corresponder o valor da potência calculada $P_{máx,m}$ com a potência experimental $P_{máx,e}$ por meio do aumento iterativo de R_s (Eq. (8)), calculando simultaneamente o valor de R_p (SANTOS, 2011; NASSAR-EDDINE et al, 2016; LEAL NETO, 2016).

$$P_{máx,m} = P_{máx,e} = V_{mp} \left(I_{pv} - I_0 \left(e^{\frac{V_{mp} + R_s I_{mp}}{nN_s V_T}} - 1 \right) - \frac{V_{mp} + R_s I_{mp}}{R_p} \right) \quad (09)$$

Onde a resistência R_p é dada pela Eq. (10).

$$R_p = \frac{(m_p + R_s I_{mp}) V_{mp}}{V_{mp} I_{pv} - V_{mp} I_{0STC} \left(e^{\frac{V_{mp} + R_s I_{mp}}{nN_s V_T}} \right) + V_{mp} I_{0STC} - P_{máx,e}} \quad (10)$$

Desta forma, para cada valor de R_s existe um R_p que faça com que as curvas I-V se cruzem no ponto $P_{máx,e}$. Assim o método consiste em encontrar valores de R_s e R_p que satisfaçam essa coincidência. O processo iterativo termina quando o valor de $P_{máx,m}$ se aproxima ao $P_{máx,e}$, considerando um erro previamente definido.

2.3 Fator de idealidade do diodo

O fator de idealização do diodo (n) apresenta valores maiores que 1 para modelos de um diodo, sendo $n=1$ o valor desse parâmetro para um diodo ideal (BUENO, 2013). Embora a literatura apresente alguns valores para o fator de idealidade, segundo Hashim e Khazaal (2017), para módulos de silício assume-se geralmente um valor médio de 1,3 para esse parâmetro, que é o mesmo valor fornecido por Tsai (2008) para células de silício policristalino, mesma tecnologia do módulo em estudo. Desta forma, considerou-se que esse valor para implementar os modelos.

2.4 Implementação no Matlab

Como a equação característica do modelo de um diodo e duas resistências é transcendental, ou seja, da forma: $I = f(I, V)$, é necessário recorrer à métodos numéricos para sua solução. Desta forma, para ajustar a curva a partir dos parâmetros considerados e extraídos, foi utilizado o método de Newton-Raphson, cuja implementação é baseada na Eq. (11).

$$I_{n+1} = I_n - \frac{f(I_n)}{f'(I_n)} \quad (11)$$

Onde $f'(I_n)$ é a derivada da função $f(I_n)$, I_{n+1} é o valor de corrente a ser encontrado, I_n é o valor atual da corrente e $f(I_n)$ é a equação do modelo. Para o modelo de um diodo e uma resistência série e paralelo $f(I_n)$ corresponde a Eq. (12).

$$f(I_n) = I_{ph} - I - I_0 \left(e^{\frac{V + IR_s}{V_t}} - 1 \right) - \left(V + \frac{IR_s}{R_p} \right) \quad (12)$$

Inicialmente estima-se que I_{sc} seja a raiz. O valor encontrado será o valor inicial da próxima iteração e assim sucessivamente, até que a tangente que corta o eixo X esteja bem próximo de I calculado, considerando um erro escolhido arbitrariamente.

O programa calcula a corrente I de saída para o modelo, considerando os mesmos cenários de temperatura e radiação que as curvas da folha de dados do módulo. Quanto à influência que estes fatores têm sobre os parâmetros de resistência, foram consideradas desprezíveis as variações da resistência série com a temperatura e radiação, enquanto a resistência paralela sofre influência significativa apenas da radiação solar. (HIBRAHIM *et al.*, 2017)

As curvas I-V obtidas na caracterização foram analisadas tanto qualitativamente (graficamente) quanto quantitativamente. A análise gráfica ou qualitativa é uma metodologia de análise mais abrangente e menos precisa, porém permite visualizar as diferenças de comportamento entre a célula/módulo real e simulada. A análise quantitativa verifica os desvios entre os valores experimentais e os obtidos pelos modelos matemáticos para pontos da curva I-V através da Eq. (13) e Eq. (14).

$$|Erro_{abs}| = |experimental - teórico| \quad (13)$$

$$Erro_{\%} = \frac{Erro_{abs}}{experimental} \times 100 \quad (14)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Solver Excel

Estimou-se uma resistência série de $0,48\Omega$ e uma resistência paralelo de 1000Ω com a solução do Solver. A Fig. 4 compara as curvas obtidas utilizando o modelo com as curvas digitalizadas do fabricante. A Fig. 5 mostra a curva de erro relativo da curva do fabricante com a curva obtida pelo modelo.

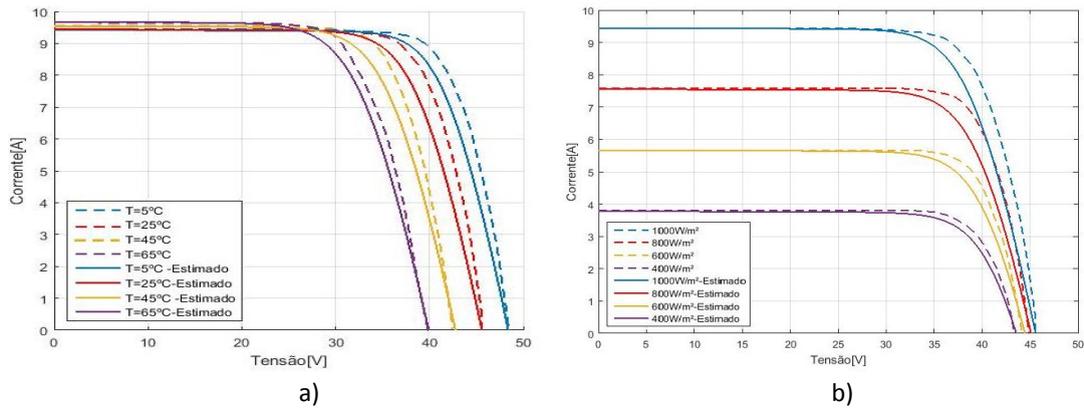


Figura 4 - Comparação das curvas do módulo com a estimação das resistências utilizando o Solver Excel.

Nota-se, da Fig. 4, que o método fornece uma boa correspondência com as curvas do fabricante para temperaturas distintas. Entretanto, observa-se uma discrepância mais acentuada na região do joelho da curva. Um fator que pode ter colaborado para a discrepância nessa região da curva é o fator de idealidade do diodo já que este parâmetro influencia no ponto de inflexão da curva I-V, o que pode indicar que para este método apresentar êxito, o fator de idealidade deve ser inferior ao utilizado no modelo. Na Figura 5 observa-se que o erro entre as correntes chega a mais de 15%.

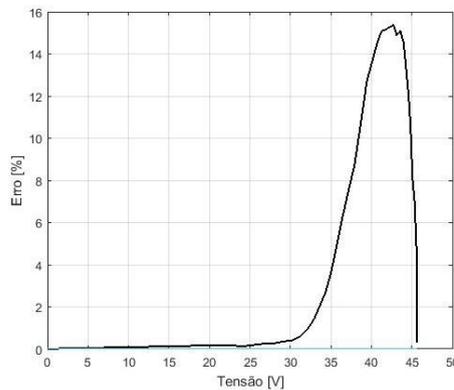


Figura 5 - Gráfico do erro relativo entre a curva do módulo em estudo e o método de estimação Solver Excel.

3.2 Método da Derivada

Utilizando o método da derivada foi obtido um valor de resistência em paralelo de 558,82 Ω , enquanto a resistência série obtida foi de 0,053 Ω . A Fig. 6 compara as curvas obtidas utilizando o modelo com as curvas digitalizadas do fabricante. A Fig. 7 mostra a curva de erro relativo entre a corrente gerada pelo modelo e corrente fornecida pelo fabricante.

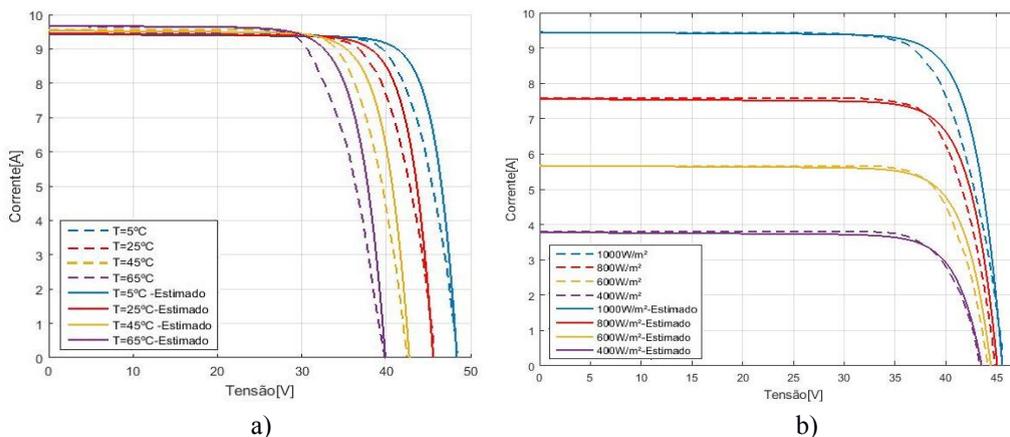


Figura 6 - Comparação das curvas do módulo com a estimação das resistências utilizando o método da derivada.

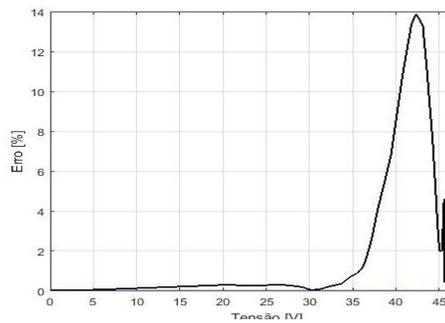


Figura 7 - Gráfico do erro relativo entre a curva do módulo em estudo e o método de estimação da Derivada.

Observa-se na Fig. 6 a) a existência de discrepâncias na região em que a tensão tende a V_{oc} em relação a curva do fabricante. Na Fig. 6 b) nota-se que o método da derivada apresentou uma melhor aproximação para condições de variação de radiação que o método de estimação Solver Excel. Na Fig. 7 observa-se que o erro máximo da corrente foi de 14%.

3.3 Método Iterativo

Para estimar as resistências utilizando o método iterativo, utilizou-se o *software* Matlab conforme a metodologia da seção 2.2.3. Obteve-se uma resistência série de $0,17\Omega$ e uma resistência em paralelo de $1101,915\Omega$. A Fig. 8 compara as curvas obtidas utilizando o método com as curvas digitalizadas do MAXPOWER (CS6U). A Fig. 9 mostra o erro entre a corrente gerada pelo modelo e a da curva real do módulo.

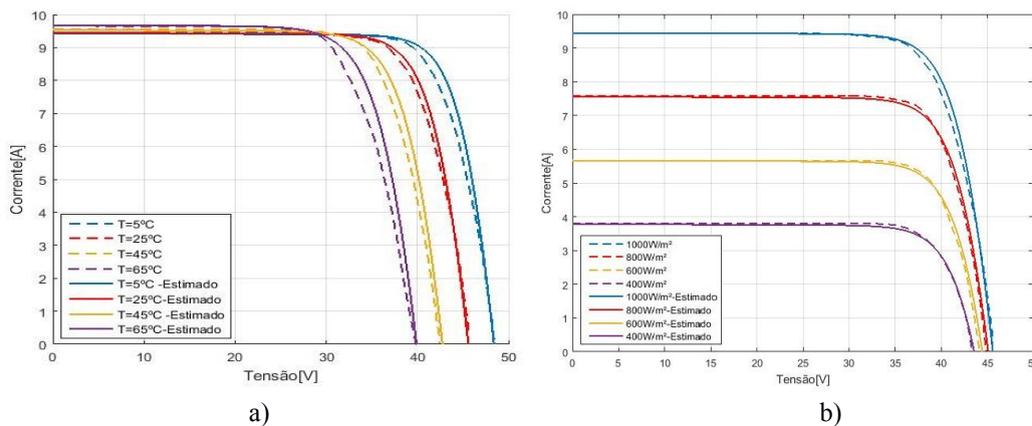


Figura 8 - Comparação das curvas do módulo com a estimação das resistências utilizando o método iterativo.

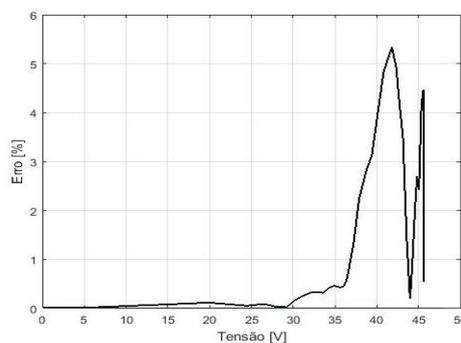


Figura 9 - Gráfico do erro relativo entre a curva do módulo em estudo e o método de estimação Iterativo.

Percebe-se da Fig. 8 que o método de estimação iterativo apresentou uma correspondência bastante satisfatória com as curvas do fabricante, principalmente para condições distintas de radiação, apresentado um erro máximo para as condições STC de menos de 6% com a curva real, conforme a Fig. 9

3.4 Comparação entre as técnicas

Na Fig. 10 foram plotadas as curvas de cada método e a curva original fornecida pelo fabricante segundo as condições STC, nas quais se considera a temperatura da célula de 25°C e irradiância solar de 1000 W/m². A Fig. 11.a) e Fig. 11.b) mostram os erros relativos referentes ao ponto de inflexão da curva característica I-V, correspondente a cada método aplicado ao modelo, para diferentes níveis de temperatura e radiação, respectivamente. Das Fig. 10, Fig. 11.a) e Fig. 11.b) nota-se que o método da derivada demonstrou o menor erro para radiações distintas. Já o método de solução pelo Solver do Excel resultou nos maiores erros para todas as condições. O método que apresentou o menor erro médio para este modelo, foi o método iterativo, representando com mais precisão as características do módulo.

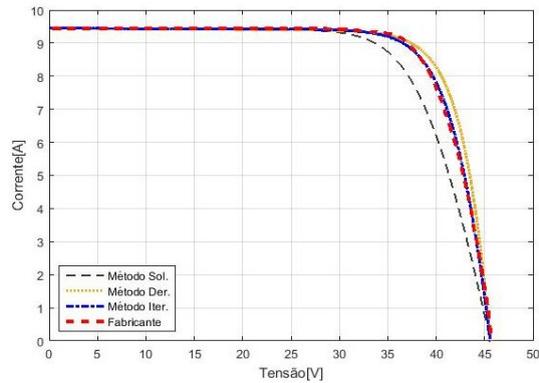


Figura 10 - Curvas I-V dos métodos e a curva característica do fabricante para as condições STC.

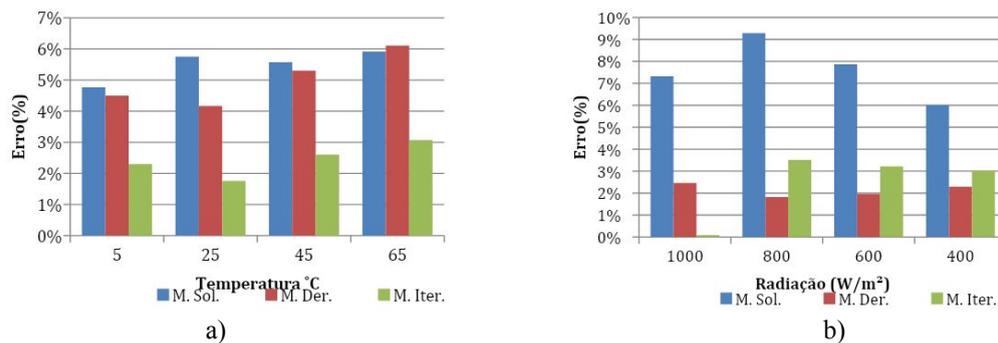


Figura 11- a) Erros dos métodos de estimação de resistência para diferentes radiações e temperatura a 25°C. b) Erros dos métodos de estimação de resistência para diferentes temperaturas e radiação a 1000 W/m².

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mediante a eficiência relativamente baixa que os módulos fotovoltaicos ainda apresentam, se torna relevante o conhecimento das perdas relacionadas aos aspectos de construção dos módulos uma vez que estes aspectos influenciam no desempenho destes dispositivos.

Nas Seções 3.1 a 3.3 observa-se que em todas as técnicas, o erro sofre um aumento considerável quando a tensão tende a V_{oc} . Isso ocorre devido ao baixo valor da corrente fazendo com que qualquer variação nessa região resulte em um erro mais elevado.

Além disso, é possível concluir que há melhor correspondência entre as curvas obtidas pelo método iterativo e as curvas do fabricante que com os outros métodos. Essa boa representatividade é confirmada pelas comparações feitas na Seção 3.4 onde os menores índices de erro ocorrem para o método iterativo. Desta forma, o método iterativo é o que melhor representa as perdas relacionadas aos aspectos materiais para o módulo MaxPower CS6U da Canadian Solar.

REFERÊNCIAS

ALVES, N. M. G. Identificação de Parâmetros de Modelos Elétricos DC de Centrais Fotovoltaicas. Dissertação de Mestrado. Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores. Faculdade De Engenharia Da Universidade Do Porto. Porto, fevereiro, 2018.

- BUHLER, A. J. KRENZINGER, A. ROMERO, F. C. Análise da Variação da Eficiência de Módulos Fotovoltaicos de Diferentes Tecnologias Em Função da Temperatura e Irradiância. Artigo Científico. Revista Brasileira de Energia Solar Ano 2 Volume II Número 2, Dezembro de 2011 p.98-104.
- BUENO, P. H. Modelagem analítica e numérica semiempírica de células fotovoltaicas. Dissertação de mestrado. Programa de pós graduação em Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. Agosto, 2016.
- CANTOR, Guillermo Andrés Rodríguez. Influência dos Fatores Climáticos no Desempenho de Módulos Fotovoltaicos em Regiões de Clima Tropical. Dissertação de Mestrado. 177 f. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2017.
- CARVALHO, A. L. C. Metodologia para análise, caracterização e simulação de células fotovoltaicas. Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia Elétrica. Universidade federal e Minas Gerais. Belo Horizonte, 2014.
- CEPEL-CRESESB. Manual de Engenharia para sistemas fotovoltaicos. 2014.
- CHENCHE, L. E. P. Avaliação dos métodos de modelagem e parametrização de dispositivos fotovoltaicos mono e multi junção. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2015.
- COTFAS, D. COTFAS, P. KAPLANIS, S. URSUTIU, D. Results on series and shunt resistances in a c-Si PV cell: Comparison using existing methods and a new one. Journal of Optoelectronics and Advanced Materials Vol. 10, No. 11, November 2008, p. 3124 – 3130.
- COSTA, W. T. Modelagem, Estimacão De Parâmetros E Método Mppt Para Módulos Fotovoltaicos. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Espírito Santo, VITÓRIA-ES, 2010.
- EICKER, U. Solar Technologies for Buildings. Livro. University of Applied Sciences, Stuttgart, Germany. 2001.
- HANSEN, W. C. Parameter Estimation for Single Diode Models of Photovoltaic Modules. Sandia National Laboratories Technical Report. Califórnia, 2015.
- HASHIM, E. T. KHAZAAL, Modelling and Output Power Evaluation of Series-Parallel Photovoltaic Modules. S. Q. International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) v.158 – No 8, 2017.
- IBRAHIM, H. ANANI, A. Variations of PV module parameters with irradiance and temperature. 9th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings, SEB-17, 5-7 July 2017, Chania, Crete, Greece.
- TSAI, H. TU, C. SU, Y. Development of Generalized Photovoltaic Model Using
- LEAL NETO, R. F. Estudo de técnicas de rastreamento do ponto de máxima potência. Monografia. Universidade Federal Da Paraíba. João Pessoa, novembro, 2016.
- LOPES, R. J. C. L. Efeito do sombreamento nos painéis fotovoltaicos. Dissertação de mestrado. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Dezembro, 2013.
- MICROSOFT SUPPORT OFFICE. Solver do Excel. Disponível em: <https://support.office.com/pt-br/article/definir-e-resolver-um-problema-usando-o-solver-5d1a388f-079d-43ac-a7eb-f63e45925040>
- NASSAR-EDDINE, I. OBBADI, A. ERRAMI, Y. EL FAJRI, A. AGUNAOU, M. Parameter estimation of photovoltaic modules using iterative method and the Lambert W function: A comparative study. Artigo Científico. 2016.
- PONTES, W.M.C.S. Avaliação de métodos de estimacão de parâmetros de resistência de módulos fotovoltaicos. Monografia. Acarape-CE, 2018.
- TSAI, H. TU, C. SU, Y. Development of Generalized Photovoltaic Model Using MATLAB/SIMULINK. Artigo Científico. World Congress on Engineering and Computer Science, 2008.
- SANTOS, R. J. C. Ferramenta Computacional de Modelacão do Desempenho de Painéis Fotovoltaicos. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Electromecânica. Universidade Da Beira Interior. Outubro, 2011.
- SIDDIQUE, A. B. KARIM, S. M. R. SHARIF, S. I. HOQUE, M. T. Modeling of Single Diode Solar Photovoltaic Module using Matlab. International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 178 – No.3, November, 2017.
- VIDAL, L.C. Modelagem e Simulação de um gerador fotovoltaico em MATLAB™ para estudo do uso de Cargas intermitentes. Artigo científico. X Simpósio de excelência em gestão e tecnologia. Outubro, 2013.

EVALUATION OF LOSS ESTIMATION METHODS ASSOCIATED WITH PHOTOVOLTAIC MODULE MANUFACTURING AND STRUCTURE MATERIAL

Abstract. The performance of photovoltaic generators is greatly influenced by the environmental conditions of temperature and radiation, and the characteristics of the materials that make up the photovoltaic modules. The literature has mathematical models that allow to estimate the behavior of the modules through these influences. In this context, the present paper proposes to study loss estimation techniques related to the module manufacturing material for the model of a diode and a resistance. The objective of the study is to analyze which technique best describes the photovoltaics losses according to the specifications and experimental data provided by the manufacturer. The module selected for the study was the Canadian Solar brand MaxPower CS6U, which is being used in a minigeneration plant installed at the Auroras Campus of the University of International Integration of Afro-Brazilian Lusophony.

Key words: Photovoltaic modules, Mathematical modeling. Parameterization.