

UTILIZAÇÃO DOS MODELOS DE 4 E 5 PARÂMETROS PARA MÓDULOS FOTOVOLTAICOS CONSIDERANDO CONDIÇÕES CLIMÁTICAS PRÓXIMAS À LINHA DO EQUADOR

Aluísio Vieira Carneiro - avcarneiros@gmail.com
Ivonne Montero Dupont - ivonne.mdupont@gmail.com
Márcio Leal Macedo Luna - marcirolealmacedo@hotmail.com
Igor de Sousa Holanda - igorsousaholanda@hotmail.com
Deivid Matias de Freitas - deivid_ce@hotmail.com
Orlene Maia Alves - orlene_maia@hotmail.com
Jamil Cavalcante Kerbage - jamilkerbage@hotmail.com
Camylla Maria Narciso de Melo - camyllammelo@gmail.com
Paulo Cesar Marques de Carvalho - carvalho@dee.ufc.br
Universidade Federal do Ceará – UFC

Resumo. O presente artigo apresenta o uso de dois modelos matemáticos (MM) desenvolvidos para módulos fotovoltaicos (MFV). Trata-se dos MM conhecidos como modelo de 4 parâmetros - 4P (I_L ; I_0 ; R_S ; a) e modelo de 5 parâmetros - 5P (I_L ; I_0 ; R_S ; R_{sh} ; m). Neste trabalho foram inicialmente projetadas as curvas fotovoltaicas características (I-V). Em seguida, comparou-se essas curvas com as curvas apresentadas no catálogo do fabricante do MFV utilizado (KC85T da KYOCERA). Percebeu-se que para o ponto de máxima potência (PMP) a curva desenvolvida com o modelo 5P apresentou melhor desempenho uma vez que não apresentou erro de tensão, apenas erros de corrente e de potência (0,01%). O modelo 4P por sua vez apresentou erro de tensão no PMP de 2,87% além de um erro de potência de 2,32% e erro de corrente no PMP de 0,57%. Nenhum dos MM apresentou erro quanto à corrente de curto-circuito. Porém quanto à tensão de circuito aberto o modelo 4P apresentou erro de 1,84% ao passo que o modelo 5P apresentou erro de 0,46%. Outro estudo foi feito utilizando medidas de campo coletadas no ano de 2013. Os dados medidos foram: irradiância incidente, temperatura na superfície do MFV, tensão e corrente elétricas na saída do MFV. Os 3 primeiros dados citados foram utilizados como dados de entrada nos MM propostos e a partir deles encontrou-se a corrente elétrica estimada para a saída do MFV. Por fim esta corrente foi comparada com o valor real medido. Neste experimento o modelo 4P parâmetros apresentou melhores resultados uma vez que seu erro médio (EM) em relação à corrente medida foi de 7,46% ao passo que o modelo 5P apresentou EM de 8,82%.

Palavras-chave: Fotovoltaica, Modelagem, Parâmetro.

Nomenclatura

a	Parâmetro de ajuste de curva para o modelo 4P ($a = m \cdot V_i$)
a_{ref}	Parâmetro de ajuste de curva para o modelo 4P nas condições de referência
E_g	Intervalo da Banda de Energia
G	Irradiância (W/m ²)
G_{ref}	Irradiâncias nas condições de referência (W/m ²)
I	Corrente do MFV (A)
I_L	Fotocorrente do MFV (A)
$I_{L,ref}$	Fotocorrente do MFV nas condições de referência (A)
I_{mp}	Corrente no ponto de máxima potência (A)
$I_{mp,ref}$	Corrente no ponto de máxima potência nas condições de referência (A)
I_0	Corrente de saturação reversa do diodo (A)
$I_{0,ref}$	Corrente de saturação reversa do diodo nas condições de referência (A)
I_{SC}	Corrente de curto circuito (A)
$I_{SC,ref}$	Corrente de curto circuito nas condições de referência (A)
K	Constante de Boltzmann ($1,3806505 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$)
M	Fator de idealidade
n_i	Fator de idealidade do diodo

N _s	Número de células em série
P	Potência do MFV (W)
P _{max}	Potência do MFV no ponto de máxima potência (W)
P _{max, ref}	Potência do MFV no ponto de máxima potência nas condições de referência (W)
Q	Carga de um elétron ($1,60218 \times 10^{-19}$ C)
R _s	Resistência série (Ω)
R _{s, ref}	Resistência série nas condições de referência (Ω)
R _{sh}	Resistência shunt (Ω)
R _{sho}	Resistência de inclinação no ponto de curto circuito (Ω)
R _{so}	Resistência de inclinação no ponto de circuito aberto (Ω)
T _c	Temperatura do MFV (K)
T _{c, ref}	Temperatura do MFV nas condições de referência (K)
V	Tensão nos terminais do MFV (V)
V _{mp}	Tensão nos terminais do MFV no ponto de máxima potência (V)
V _{mp, ref}	Tensão nos terminais do MFV no ponto de máxima potência nas condições de referência (V)
V _{oc}	Tensão de circuito aberto (V)
V _{oc, ref}	Tensão de circuito aberto nas condições de referência (V)
V _t	Tensão térmica (V)
μ_{Voc}	Coefficiente de temperatura da tensão de circuito aberto (V/K)
μ_{Isc}	Coefficiente de temperatura da corrente de circuito (A/K)

1. INTRODUÇÃO

A fim de caracterizar os módulos fotovoltaicos (MFV) a comunidade científica faz uso de vários tipos de modelos matemáticos (MM). Casaro (2008) e Lo Brano *et al.* (2010) apresentaram um modelo visando sua simulação de forma integrada a conversores chaveados. Phang *et al.* (1984) deduziu uma expressão analítica para a rápida extração dos parâmetros de células solares no modelo de um diodo a partir de dados experimentais e com os valores de simulação os parâmetros resultantes apresentaram erros menores de 5% para a maioria das células solares. Para Blas (2001) com base numa série de curvas experimentais é possível obter, sob várias condições de temperatura e de irradiação, os parâmetros do modelo, dando origem ao ajuste dos erros em pontos de dados. Como resultado seu trabalho apresentou para todas as curvas erro menor que 1%, confirmando que a atribuição de valores adequados das resistências série e paralelo evita a divergências na curva característica. Ahmad *et al.* (2012) também desenvolveu trabalho análogo construindo três curvas características I-V com a variação da irradiação e temperatura. Os MM para MFV utilizados no presente trabalho são conhecidos como 4 parâmetros e 5 parâmetros (Blas *et al.* (2002)). Tais MM utilizam como dados de entrada aqueles fornecidos pelo fabricante, bem como as condições de irradiação e temperatura do MFV. O estudo foi realizado no Brasil, na cidade de Fortaleza - CE (Latitude $-3,77^\circ$), localidade com irradiação média em torno de 5,5 kWh/m²/dia, bem como temperaturas anuais elevadas compreendidas entre 25 °C e 34 °C. No trabalho foram as 2 seguintes atividades:

- Traçado das curvas características do Painel (I-V) via MM e comparação com as curvas do Fabricante;
- Utilizando uma memória de massa com dados de irradiação, temperatura do MFV, tensão e corrente na saída do MFV foi feita a estimação dos valores de corrente e sua comparação com os valores reais de corrente registrados em campo. Cálculo do erro médio (EM) percentual entre os valores estimados e registrados. O MFV utilizado possui:

$P_{MAX}=87$ W; $V_{MPP}=17,4$ V; $I_{MPP}=5,02$ A; $V_{OC}=21,7$ V; $I_{SC}=5,34$ V; $\mu_{Voc} = -8,21 \cdot 10^{-2}$ V/°C; $\mu_{Isc} = 2,12 \cdot 10^{-3}$ A/°C.

Na segunda atividade o MFV esteve ligado diretamente a um banco de cargas constituído de 4 lâmpadas de 25 W.

Assim não fora utilizado nenhum equipamento de seguimento do PMP. A memória de massa gerada utilizada baseou-se em 3 dias (10, 11 e 12 de Novembro) do ano de 2013.

2. METODOLOGIA

Na construção da curva característica do MFV considerou-se as seguintes proposições:

- I-V ($T_c=25$ °C e irradiação variante desde $G=1000$ W/m² a 200 W/m² com passo de 200 W/m²);
- I-V ($G=1000$ W/m² e temperatura variante desde $T_c=75$ °C a 25 °C com passo de 25 °C);

2.1 Traçado das curvas características do MFV – modelo 4P

Na Fig. 1 é apresentado o modelo 4P (I_L ; I_0 ; R_s ; a) de MFV e sua representação matemática (este modelo assume que a resistência shunt é infinita e, portanto a despreza):

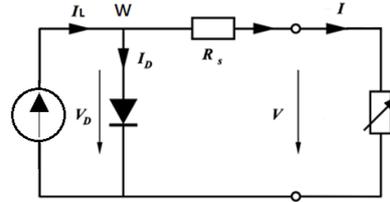


Figura 1 - Modelo 4P para MFV.

$$I = I_L - I_0 \left[\exp\left(\frac{V + IR_s}{m \cdot V_t}\right) - 1 \right] \quad (1)$$

A Eq. (1) é originada da aplicação da Lei de Kirchoff das correntes ao nó “w” da Fig. 1. As Eq. (2) a (9) utilizadas por Celik (2007) demonstram como encontrar os termos “ I_L ”, “ I_0 ”, “ R_s ”, “ m ” e “ V_t ”, neste aspecto busca-se resolver a Eq. (1) encontrando o valor de I . Uma vez encontrados os valores dos parâmetros os termos V e I dentro da exponencial na Eq. (1) permanecem desconhecidos. Procedeu-se então a construção das curvas variando-se o valor de V desde zero volt até a tensão de circuito-aberto prevista pelo fabricante. Uma vez arbitrado um valor para V utilizou-se o método de Newton Raphson para encontrar I .

$$I_L = \left(\frac{G}{G_{ref}} \right) [I_{L,ref} + \mu_{Isc} (T_c - T_{ref})] \quad (2)$$

onde $I_{L,ref}$ é a própria corrente de curto-circuito do MFV fornecida pelo fabricante do MFV ($I_{sc}=5,34$ A). O valor de μ_{Isc} também é fornecido pelo fabricante ($\mu_{Isc}=2,12 \cdot 10^{-3}$ A/°C).

$$I_0 = I_{0,ref} \left(\frac{T_c}{T_{c,ref}} \right)^3 \cdot \exp\left[\left(\frac{Eq \cdot N_s}{a} \right) \left(1 - \frac{T_{c,ref}}{T_c} \right) \right] \quad (3)$$

onde $I_{0,ref}$ é calculado através da Eq.(4) a seguir:

$$I_{0,ref} = \frac{I_{L,ref}}{\left[\exp\left(\frac{V_{oc,ref}}{a_{ref}}\right) - 1 \right]} \quad (4)$$

$V_{oc,ref}$ é a própria tensão de circuito aberto fornecida pelo fabricante e o termo a_{ref} é calculado pela Eq. (5):

$$a_{ref} = \frac{\mu_{Voc} \cdot T_{c,ref} - V_{oc,ref} + E_q N_s}{\left(T_{c,ref} \cdot \mu_{Isc} / I_{L,ref} \right) - 3} \quad (5)$$

μ_{Voc} é dado pelo fabricante do MFV ($\mu_{Voc}= -7,21 \cdot 10^{-2}$ V/°C); $E_q=1,124$ eV; $N_s=36$ células. Por sua vez o valor de ‘ a ’ é calculado por meio da Eq. (6) a seguir:

$$a = a_{ref} \cdot \frac{T_c}{T_{c,ref}} \quad (6)$$

Finalmente os valores de “ R_s ”, “ m ” e “ V_t ” são calculados por meio das Eq. (7), (8) e (9) a seguir:

$$R_s = R_{s,ref} = \frac{\left(a_{ref} \cdot \ln \left[1 - \left(\frac{I_{mp,ref}}{I_{L,ref}} \right) \right] - V_{mp,ref} + V_{oc,ref} \right)}{I_{mp,ref}} \quad (7)$$

$$m = N_s \cdot n_1 \quad (8)$$

$$V_t = \frac{k \cdot T_c}{q} \quad (9)$$

2.2 Traçado das curvas características do MFV – modelo 5P

Na Fig. 2 é apresentado o modelo 5P (I_L ; I_0 ; R_s ; R_{sh} ; m). Sua representação matemática está na Eq. (10):

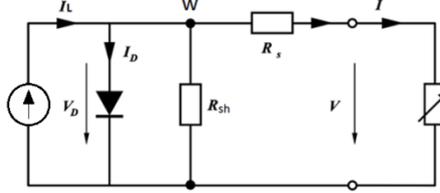


Figura 2 - Modelo 5P para MFV.

$$I = I_L - I_0 \left[\exp\left(\frac{V + IR_s}{m \cdot V_t}\right) - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (10)$$

A Eq. (10) é resultante da aplicação da Lei de Kirchhoff das Correntes ao nó “w” da Fig. 2. As equações a seguir estão relacionadas a como encontrar os termos “ I_L ”, “ I_0 ”, “ R_s ”, “ m ”, “ V_t ” e “ R_{sh} ”. Quanto ao tratamento no que diz respeito a V e a I o procedimento é o mesmo utilizado no modelo 4P.

$$I_L = I_{sc} \left(1 + \frac{R_s}{R_{sh}} \right) + I_0 \cdot \left[\exp\left(\frac{I_{sc} \cdot R_s}{m \cdot V_t}\right) - 1 \right] \quad (11)$$

onde I_{sc} é calculado a partir da Eq. (12) a seguir,

$$I_{sc} = I_{sc,ref} \cdot \frac{G}{G_{ref}} + \mu_{isc} \cdot (T_c - T_{c,ref}) \quad (12)$$

na qual $I_{sc,ref}$ é a própria corrente de circuito dada pelo fabricante. Da mesma forma μ_{isc} também é fornecido pelo fabricante. O próximo passo envolve o cálculo de R_s e R_{sh} . A resistência série R_s é originada nos terminais de conexão e no contato metálico entre condutores e semiconductor. Já a resistência em paralelo R_{sh} é originada das não idealidades da junção pn e impurezas aí presentes. Os valores de R_s e R_{sh} são calculados a partir das Eq. (13) e (14) respectivamente,

$$R_s = R_{so} - \left[\frac{m \cdot V_t}{I_0} \cdot \exp\left(\frac{-V_{oc}}{m \cdot V_t}\right) \right] \quad (13)$$

$$R_{sh} = R_{sho} \quad (14)$$

As resistências R_{so} e R_{sho} não são normalmente fornecidas pelos fabricantes e podem ser calculadas através das Eq. (15) e (16), a seguir.

$$R_{so} = - \left(\frac{dV}{dI} \right)_{V=V_{oc}} \quad (15)$$

$$R_{sho} = - \left(\frac{dV}{dI} \right)_{I=I_{sc}} \quad (16)$$

No trabalho de Celik (2007) há indicação de uma faixa de valores possíveis encontrados a partir de curvas experimentais. Neste estudo adotou-se valores fixos de $R_{so} = 0,54 \Omega$ e $R_{sho} = 209 \Omega$. Tais valores foram escolhidos buscando conciliar o valor da tensão de circuito aberto estimado com o valor da tensão de circuito aberto fornecida pelo fabricante, mas também buscando que a ocorrência da máxima potência se desse num valor de tensão estimado tal que coincidisse com o mesmo valor de tensão de máxima potência informado pelo fabricante (V_{mpp}). A Fig. 3 mostra o fluxograma do procedimento utilizado para encontrar os valores de R_{SO} e R_{SHO} .

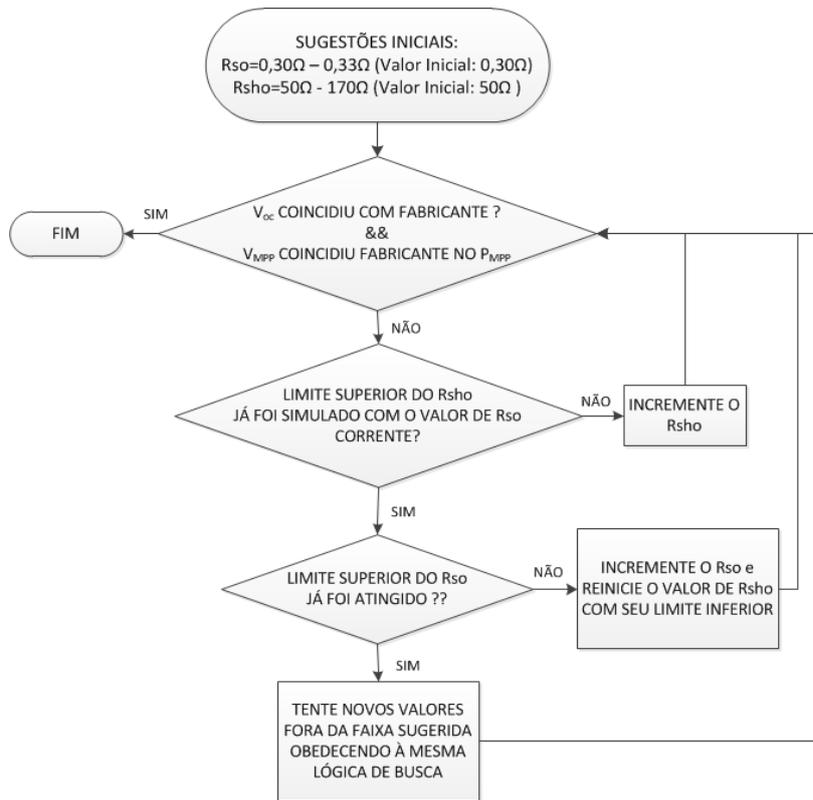


Figura 3-Fluxograma para encontrar os valores de Rso e Rsho.

O valor de m é então encontrado a partir da Eq. (17) a seguir.

$$m = \frac{V_{mp} + I_{mp}R_{so} - V_{oc}}{V_t} \left[\ln \left(I_{sc} - \frac{V_{mp}}{R_{sh}} - I_{mp} \right) - \ln \left(I_{sc} - \frac{V_{oc}}{R_{sh}} \right) + \left(\frac{I_{mp}}{I_{sc} - \frac{V_{oc}}{R_{sh}}} \right) \right] \quad (17)$$

onde, V_{mp} é calculado a partir da Eq. (18) a seguir,

$$V_{mp} = V_{mp,ref} + V_t \cdot \ln(G/G_{ref}) + \mu_{Voc} (T_c - T_{c,ref}) \quad (18)$$

O valor de V_t é calculado a partir da Eq. (19)

$$V_t = k \cdot T_c / q \quad (19)$$

O valor de I_{mp} é encontrado a partir da Eq. (20)

$$I_{mp} = i_{mp,ref} \cdot (G/G_{ref}) + \mu_{Isc} (T_c - T_{c,ref}) \quad (20)$$

O valor de V_{oc} é calculado a partir da Eq. (21)

$$V_{oc} = V_{oc,ref} + (Ns \cdot ni) V_t \cdot \ln(G/G_{ref}) + \mu_{Voc} (T_c - T_{c,ref}) \quad (21)$$

E por fim I_0 é calculado a partir da Eq. (22)

$$I_0 = \left(I_{sc} - \frac{V_{oc}}{R_{sh}} \right) \cdot \exp \left(\frac{-V_{oc}}{m \cdot V_t} \right) \quad (22)$$

3. RESULTADOS

3.1 Resultados obtidos com $T=25\text{ }^{\circ}\text{C}$ e irradiância variante

As Fig. 4 e 5 mostram as curvas I-V para os MM de 4 e 5 parâmetros, respectivamente, considerando a temperatura constante em $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ e variação da irradiância.

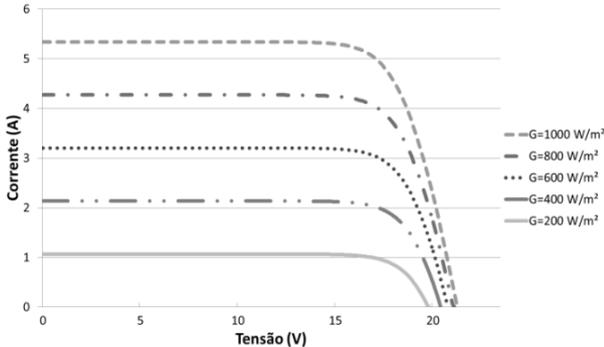


Figura 4 - Curva Característica I-V Irradiância Variante ($T=25\text{ }^{\circ}\text{C}$) - Modelo 4P

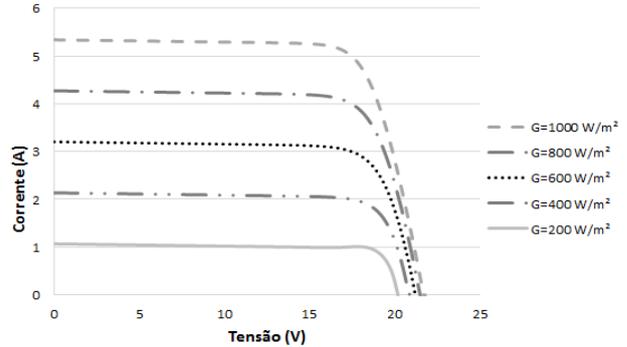


Figura 5 - Curva Característica I-V Irradiância Variante ($T=25\text{ }^{\circ}\text{C}$) - Modelo 5P

A fim de quantificar a diferença entre os MM foram então calculados os valores de corrente, tensão e potência estimados pelos MM e então comparados com os valores do catálogo do fabricante. Ambos nas condições STC ($G=1000\text{ W/m}^2$ e $T=25\text{ }^{\circ}\text{C}$). Tais valores de potência, tensão e corrente são mostrados na Tab. 1.

Tabela 1 - Valores de P_{mpp} , V_{mpp} , I_{mpp} , V_{oc} , I_{sc} para STC - Modelos 4P e 5P.

	FABRICANTE	MODELO 4P	MODELO 5P	ERRO	
				MODELO 4P	MODELO 5P
P_{MPP} (W)	87,35	85,32	87,36	2,32%	0,01%
V_{MPP} (V)	17,40	16,90	17,40	2,87%	0,00%
I_{MPP} (A)	5,02	5,05	5,02	0,57%	0,01%
V_{OC} (V)	21,70	21,30	21,80	1,84%	0,46%
I_{SC} (A)	5,34	5,34	5,34	0,00%	0,00%

Percebeu-se, portanto que para as condições padrão de teste o modelo 5P apresentou erros relativamente menores que o modelo 4P.

3.2 Resultados obtidos com $G=1000\text{ W/m}^2$ e temperatura variante

As Fig. 6 e 7 mostram as curvas I-V para os MM 4P e 5P respectivamente, considerando a irradiância constante em 1000 W/m^2 e temperatura variante. Percebe-se uma melhor aproximação do modelo 5P em relação às curvas do fabricante. Isso é decorrente das considerações matemáticas do próprio modelo que considera possíveis não idealidades, algo que é representado pela resistência em paralelo e quantificado anteriormente na Tab. 1.

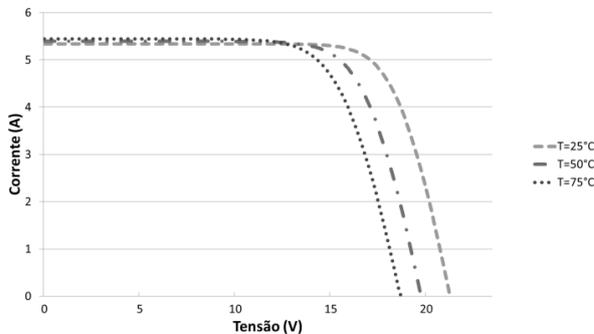


Figura 6 - Curva Característica I-V Temperatura Variante ($G=1000\text{ W/m}^2$) - Modelo 4P

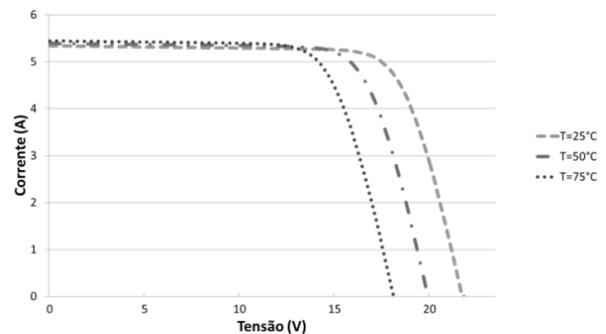


Figura 7 - Curva Característica I-V Temperatura Variante ($G=1000\text{ W/m}^2$) - Modelo 5P

3.3 Cálculo do erro entre os valores de corrente estimados pelos MM 4P e 5P e os valores reais de corrente registrados em campo

Para esta atividade o MFV esteve submetido a operação em campo ligado diretamente a um banco de cargas constituído de 4 lâmpadas de 25 W. Não havia controlador de carga e com isso o MFV não fora submetido a nenhuma estratégia de otimização da potência de saída. Um equipamento de medição dedicado registrou dados de irradiância, temperatura do MFV, tensão e corrente elétrica na saída durante os dias 10, 11 e 12 de novembro de 2013 entre as 10:00 e as 15:00 com registros instantâneos a cada minuto. As irradiâncias instantâneas registradas são mostradas na Fig. 8.

As irradiações medidas nesses dias para os intervalos de tempo especificados foram de 4,51 kWh/m², 3,86 kWh/m² e 4,49 kWh/m² respectivamente. A comparação entre a corrente medida e as correntes estimadas pelos MM 4P e 5P é mostrada na Fig. 9. É possível perceber graficamente que o modelo 4P tem maior proximidade da corrente real medida que o modelo 5P. Isso é quantificado na Tab. 2.

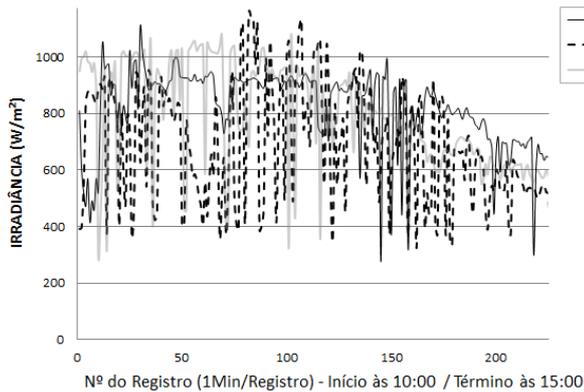


Figura 8 - Variação da Irradiância - Dias 10, 11 e 12

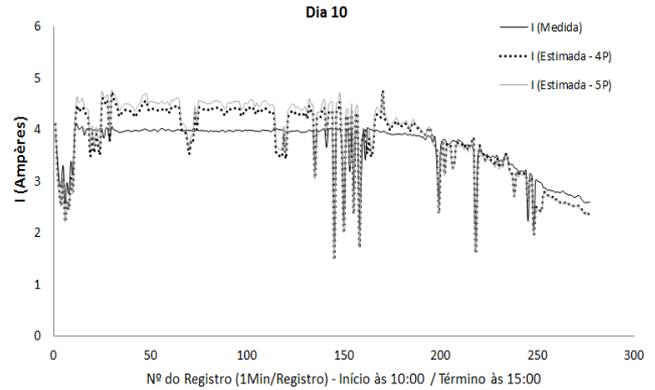


Figura 9 - Corrente Real e Estimada dia 10

Comparou-se ainda na Fig. 10 as curvas das correntes estimadas pelos MM 4P e 5P com a curva da irradiância medida e com a curva da corrente medida. Percebeu-se que os MM 4P e 5P têm resposta de corrente bastante sensível à irradiância medida uma vez que suas curvas acompanham a curva da irradiância. Por sua vez a corrente medida não apresenta visualmente esse rigoroso acompanhamento à irradiância medida. Atribui-se isso ao fato de ter sido utilizado como carga lâmpadas incandescentes (cuja resistência caracteriza-se por ser variante com a temperatura). Este fato traz a tona o seguinte comportamento: com aumento da irradiância a corrente tende a aumentar, no entanto com isso há também aumento da temperatura e conseqüente aumento da resistência e limitação da corrente. Diante disso percebeu-se que o uso desse tipo de carga para validação dos MM não é a melhor escolha.

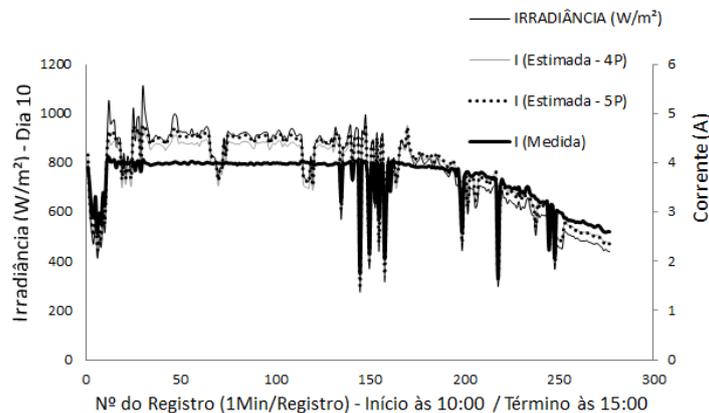


Figura 10 - Comparação entre $G_{MEDIDA} \times I_{ESTIM} (4P \text{ e } 5P) \times I_{MEDIDA}$ - Dia 10

Tabela 2 - Erro médio (EM) por modelo a cada dia.

ERRO MÉDIO (%) DE CORRENTE / DIA			
Modelo	Dia 10	Dia 11	Dia 12
4 Parâmetros	7,69	7,53	7,15
5 Parâmetros	9,20	8,52	8,73

O modelo 4P apresentou para os 3 dias um EM de 7,46% enquanto o modelo 5P apresenta para os três dias um EM de 8,82%. Ambos decorrentes da metodologia experimental adotada. Tais valores de EM aproximam-se em magnitude aos obtidos por Celik (2007), onde os EM para os MM 4P e 5P foram de 8,32% e 2,9% respectivamente. A diferença em relação a Celik (2007) reside no fato de que no presente artigo o modelo 4P apresentou menor EM

percentual que o modelo 5P. Uma vez que este traz no corpo de sua representação matemática maiores considerações quanto à realidade do módulo, atribui-se a possibilidade desses resultados aos seguintes fatores:

- Desgaste natural do MFV utilizado no experimento;
- O uso de uma carga de resistência variável com a temperatura conectada à saída do MFV.

Deixa-se como possibilidade de estudo a atividade de se refazer o experimento utilizando carga de característica pouco variante com a temperatura, com e sem uso de equipamento de condicionamento para operação no PMP do MFV, algo que não foi o caso deste estudo.

4. CONCLUSÃO

Neste artigo foram utilizados os MM 4P e 5P para MFV a fim de traçar curvas I-V de um MFV específico. O traçado destas curvas utilizando os MM teve como objetivo identificar sua semelhança com as curvas do fabricante, validando, portanto os MM utilizados. Para as condições de referência o modelo 4P apresentou erro de 2,32% na potência, 2,87% na tensão no PMP e 0,57% na corrente no PMP ao passo que o modelo 5P apresentou erro de apenas 0,01% na corrente e na potência. Os MM foram utilizados para estimar a corrente na saída do mesmo MFV a partir de dados coletados em campo e comparar com a corrente medida quando este fora submetido a uma operação real em que esteve ligado diretamente a um banco de cargas constituído de 4 lâmpadas de 25 W durante 3 dias. Na montagem do equipamento não fora utilizado controlador de carga e com isso o MFV não esteve submetido a nenhuma estratégia de otimização da potência de saída. Os cálculos das correntes estimadas foram feitos utilizando dados fornecidos pelo fabricante e dados da memória de massa criada por um registrador dedicado que coletou os valores de irradiância local incidente, corrente e tensão na saída e temperatura do MFV. Os resultados obtidos mostraram que o modelo 4P apresentou melhor desempenho com um erro de corrente médio 7,46% ao passo que o modelo 5P apresentou um erro médio de 8,82%.

REFERÊNCIAS

- Ahmad, M., Talukder, A., Tanni, M. A., 2012. Estimation of important parameters of photovoltaic modules from manufacture's datasheet, Intenational Conference on Informatics, Electronics & Vision.
- Casaro, M. M.; Martins, D. C., 2008. Modelo de arranjo fotovoltaico destinado a análises em eletrônica de potência via simulação, Eletrônica de potência, vol. 3, n° 3.
- Lo Brano, V.; Orioli, A.; Ciulla, G.; Di Gangi, A., 2010. An Improved Five parameter Model for Photovoltaic Modules, Solar Energy Materials & Solar Cells, vol. 94, pp. 1358-1370.
- Phang, J. C. H.; Chan, D. S. H.; Phillips, J. R., 1984. Accurate Analytical Method For The Extraction of Solar Cell Model Parameters, Electronics Letters, vol. 20, no. 10, pp. 406-408.
- Blas MA, Torres JL, Prieto E, Garcia A., 2002. Selecting a suitable model for characterizing photovoltaic devices, Renewable Energy, v.25, pp. 371-380.
- Celik, A. N; Acikgoz, N; 2007. Modelling and experimental verificantion of the operating current of mono-crystalline photovoltaic modules using four-and five-parameters models, Applied Energy, vol. 84, pp.1-15.

USE OF MODELS OF 4 AND 5 PARAMETERS FOR PHOTOVOLTAIC MODULES CONSIDERING WEATHER NEXT TO LINE OF ECUADOR

Abstract. *This article presents the use of two mathematical models (MM) developed for photovoltaic modules (PVM). These are known as MM 4-parameter model - 4P (IL; I0; RS; a) and model parameters 5 - 5P (IL; I0; RS; Rsh; m). In this work were initially designed photovoltaic characteristic curves (IV). Then those curves were compared with the curves shown in PVM manufacturer's catalog used (KYOCERA the KC85T). It was noticed that for the maximum power point (MPP) developed with the curve 5P model showed better performance since no voltage error introduced, only current and power errors (0.01%). The 4P model in turn presented voltage error in the MPP 2.87% plus a 2.32% power error and current error at 0.57% MPP. None of MM error presented as short-circuit current. But as the open circuit voltage of the 4P model showed error of 1.84% while the 5P model showed error of 0.46%. Another study was done using field measurements collected in 2013. The measured data were irradiance, temperature on the surface of PVM, electrical voltage and current at the output of PVM. The first 3 figures cited were used as proposed in the MM input and from them met the estimated electric current to the output of PVM. Finally this chain was compared with the actual measured value. In this experiment the 4P model parameters showed better results since its average error (AE) relative to the current measured was 7.46% while the model presented 5P AE of 8.32%.*

Keywords: *Photovoltaic, modeling, parameter.*