

MODELO DE ARRANJO FOTOVOLTAICO DESTINADO A ANÁLISES EM ELETRÔNICA DE POTÊNCIA VIA SIMULAÇÃO

Marcio Mendes Casaro*, Denizar Cruz Martins

Instituto de Eletrônica de Potência, Universidade Federal de Santa Catarina
Caixa Postal: 5119, CEP: 88.040-970, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil

* Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Av. Monteiro Lobato, km 04, CEP: 84.016-210, Ponta Grossa, Paraná, Brasil
casaro@utfpr.edu.br, denizar@inep.ufsc.br

Resumo – Este artigo apresenta um modelo matemático preciso de arranjo fotovoltaico que se integra facilmente a simuladores comuns da área de Eletrônica de Potência. Simulado em conjunto com conversores chaveados, permite avaliar o impacto de variações na temperatura e na radiação solar sobre a eficiência do sistema. Apresenta-se o procedimento para se ajustar o comportamento do modelo ao obtido com módulos comerciais. Resultados de simulação de uma fonte de corrente controlada por tensão, sensível às condições atmosféricas, revelaram uma característica I-V idêntica a do módulo KC200GT da Kyocera, cujos dados de catálogo foram utilizados. Esta proposta não segue a tendência de simplificar o circuito elétrico equivalente da célula fotovoltaica, uma vez que a perda de precisão é inevitável mediante tal circunstância. Mesmo assim, foi possível obter um modelo computacional de fácil e rápida implementação.

Palavras-Chave – modelo computacional do arranjo fotovoltaico, simulação, radiação solar, temperatura.

PHOTOVOLTAIC ARRAY MODEL AIMED TO ANALYSES IN POWER ELECTRONICS THROUGH SIMULATION

Abstract – This paper presents an accurate PV array model, which is easily integrated to usual simulators of the Power Electronics area. Simulated with switching converters, it allows evaluating the variations influence of temperature and solar irradiation about the system efficiency. The proceeding to match the model behavior to the commercial PV modules is presented. Simulation results of a voltage controlled current source, sensible to atmospheric conditions, exhibit an identical I-V characteristic to the Kyocera KC200GT module, whose catalog data were used. This proposes contradict the trend to simplify the electric equivalent circuit of the PV cell, in order to preserve the precision. Any way, a model of easy and fast implementation was obtained.

Keywords – photovoltaic array model, simulation, solar irradiation, temperature.

Artigo submetido em 10/01/2008. Revisões em 17/03/2008 e 07/04/2008.
Aceito por recomendação do editor F. L. M. Antunes.

I. INTRODUÇÃO

Arranjo fotovoltaico é uma estrutura montada com módulos ou painéis fotovoltaicos constituídos por células fotovoltaicas interconectadas.

As células fotovoltaicas representam a menor unidade em um sistema fotovoltaico. Em geral, são fabricadas de silício monocristalino, policristalino ou amorfo. São classificadas como células cristalinas ou de filme fino. As células monocristalinas comerciais têm eficiência em torno de 18%. As policristalinas são as mais populares com uma eficiência média de 14%. As células de filme fino têm um custo de fabricação potencialmente mais baixo que as cristalinas, porém sua eficiência varia de 7 a 13%.

Os módulos fotovoltaicos são produzidos com potências de 50Wp até 300Wp. Dispostos na forma de um arranjo fotovoltaico podem integrar construções, estruturados em fachadas ou telhados [1].

A energia proveniente de arranjos fotovoltaicos é aproveitada em sistemas independentes ou conectados à rede elétrica. Em ambos os casos essa energia normalmente requer processamento eletrônico. Para se desenvolver um processador de energia solar fotovoltaica, o uso de um programa simulador é imprescindível, bem como um modelo computacional que reflita o comportamento do arranjo fotovoltaico de maneira precisa, incluindo respostas a variações de temperatura e radiação. Se uma técnica de MPPT estiver envolvida no desenvolvimento do sistema fotovoltaico, a precisão do modelo passa a ser um requisito indispensável [2].

A referência [3] foi a primeira a propor um modelo capaz de interagir com circuitos chaveados em programas simuladores usados pela área de Eletrônica de Potência. A dificuldade para se colocar essa proposta em prática estimulou a busca por versões simplificadas. Obviamente que a simplificação do modelo tem o seu preço, podendo ir desde distorções na característica I-V até o desprezo pelas condições atmosféricas [4,5].

Neste artigo, se propõe um modelo passível de implementação em simuladores comuns da área de Eletrônica de Potência, de modo simples e rápido. Além disso, apresenta o procedimento para que o comportamento do modelo seja ajustado precisamente àquele obtido com módulos fotovoltaicos comerciais.

II. CIRCUITO EQUIVALENTE

Para entender o comportamento eletrônico de uma célula fotovoltaica ou solar é usual criar um modelo eletricamente equivalente. O mais simples circuito equivalente de uma célula solar é uma fonte de corrente em paralelo com um diodo. A precisão da modelagem aumenta quando as não idealidades são consideradas e representadas através das resistências série e paralela, conforme Fig. 1.

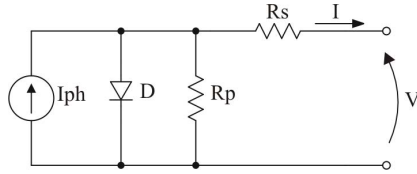


Fig. 1. Circuito equivalente de uma célula solar.

O equacionamento do circuito anterior conduz a (1) [3].

$$I = I_{ph} - I_r \cdot \left[e^{q(V+I \cdot R_s)/\eta \cdot k \cdot T} - 1 \right] - \frac{V + I \cdot R_s}{R_p} \quad (1)$$

Onde:

- V, I – Tensão e corrente nos terminais de saída de uma célula solar.
- I_{ph} – Fotocorrente.
- I_r – Corrente de saturação reversa da célula.
- R_s, R_p – Resistências série e paralela da célula.
- q – Carga do elétron, $1,6 \times 10^{-19}$ C.
- η – Fator de qualidade da junção p-n.
- k – Constante de Boltzmann, $1,38 \times 10^{-23}$ J/K.
- T – Temperatura ambiente, K.

A solução de (1) resulta na característica I-V de uma célula fotovoltaica. Porém, esta não é uma equação que se possa resolver algebricamente, uma vez que a corrente I não pode ser isolada. Além disso, o tratamento matemático deve contemplar a radiação e a temperatura como parâmetros de entrada. As propostas não convergem para uma solução comum e, em geral, simplificam o modelo [4, 5].

Os valores de I_{ph} e I_r são calculados por (2) e (3), extraídas de [6].

$$I_{ph} = \left[I_{sc} + \alpha \cdot (T - T_r) \right] \cdot \frac{P_{sun}}{1000} \quad (2)$$

$$I_r = I_{rr} \cdot \left(\frac{T}{T_r} \right)^3 \cdot e^{\left[\frac{q \cdot E_G}{\eta \cdot k} \cdot \left(\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T} \right) \right]} \quad (3)$$

Onde:

- I_{sc} – Corrente de curto-circuito por célula.
- α – Coeficiente de temperatura de I_{sc}.
- T_r – Temperatura de referência, 298K.
- P_{sun} – Intensidade de radiação solar, W/m².
- I_{rr} – Corrente de saturação reversa de referência.
- E_G – Energia da banda proibida, 1,1eV.

A única incógnita que ainda precisa ser calculada é I_{rr}, pois as demais são estimadas ou obtidas diretamente de catálogo. Sabe-se que quando I = 0, V = V_{oc} (tensão de circuito aberto por célula). Adotando este ponto da

característica I-V e fazendo T = T_r, obtém-se (4) a partir de (1).

$$I_{rr} = \frac{I_{sc} - \frac{V_{oc}}{R_p}}{\frac{q \cdot V_{oc}}{\eta \cdot k \cdot T_r} - 1} \quad (4)$$

Assim, determina-se I através do Método de Newton, empregado com sucesso para um modelo simplificado em [5]. A variável I, iniciando com valor 0, é utilizada em um processo iterativo que aproxima a equação (1) de sua raiz. A equação (5) traduz o método para a notação matemática.

$$x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)} \quad (5)$$

Onde n indica a n-ésima iteração do algoritmo e f'(x_n) é a derivada da função f em x_n.

Observa-se que (1) deve ser modificada para (6).

$$f(I) = I_{ph} - I - I_r \cdot \left[e^{q(V+I \cdot R_s)/\eta \cdot k \cdot T} - 1 \right] - \frac{V + I \cdot R_s}{R_p} \quad (6)$$

A derivada de (6) é apresentada em (7).

$$f'(I) = -1 - I_r \cdot e^{q(V+I \cdot R_s)/\eta \cdot k \cdot T} \cdot \frac{q \cdot R_s}{\eta \cdot k \cdot T} - \frac{R_s}{R_p} \quad (7)$$

III. CARACTERÍSTICA I-V

O levantamento dos parâmetros de um painel fotovoltaico é realizado sob condições padronizadas de teste. É o chamado standard test conditions (STC), que consiste em um conjunto de referências usadas em medições dadas por:

- P_{sun} = 1kW/m². Esta é a densidade de potência padrão da radiação solar. É observada em dia de equinócio, no mês de março ou de setembro, ao meio dia de céu claro sob a linha do equador.
- AM 1.5. Esta é a referência de radiação de massa de ar 1,5. Representa a quantidade de atmosfera atravessada pela luz do sol. Seu valor aproximado é obtido calculando-se 1/cosθ, onde θ corresponde à inclinação do sol, conforme Fig. 2. Este parâmetro define a composição espectral da luz do sol.
- T = 25°C.

O módulo policristalino KC200GT da Kyocera é usado nas simulações. Conta com 54 células fotovoltaicas interconectadas. Em STC, possui um ponto de operação de máxima potência (MPOP) que o leva a fornecer 200Wp em seus terminais. Os dados de catálogo mais importantes são:

- Tensão no MPOP (STC) = 26,3V.
- Corrente no MPOP (STC) = 7,61A.
- Tensão de circuito aberto (STC) = 32,9V.
- Corrente de curto-circuito (STC) = 8,21A.
- Coeficiente de temperatura de I_{sc} = 3,18x10⁻³A/°C.

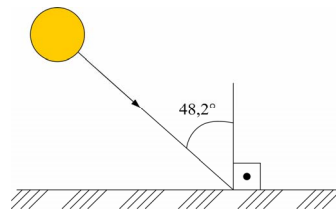


Fig. 2. Sol a 48,2° com a perpendicular, AM1.5.

Os parâmetros ainda não definidos são fixados com o auxílio das recomendações tiradas de [7], a saber:

- $\eta = 1,2$.
- $R_s < 10\text{m}\Omega$.
- $R_p < 20\Omega$.

O valor de R_s interfere na inclinação da curva I-V após o MPOP, ou seja, quando os módulos passam a se comportar como fonte de tensão, Fig. 3. A resistência R_p regula a inclinação antes do MPOP, quando os painéis se comportam como fonte de corrente, Fig. 4. Esses valores, R_s e R_p , devem ser ajustados até que a tensão e a corrente no ponto de operação de máxima potência sejam encontradas, considerando STC.

As figuras 3 e 4 foram traçadas no Matlab. O programa utilizado é apresentado a seguir:

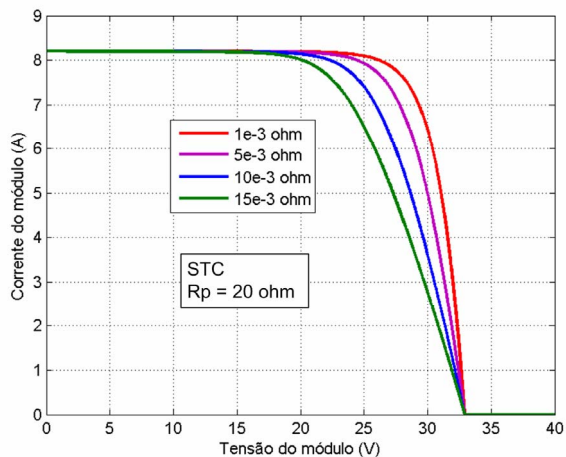


Fig. 3. Curva I-V para diferentes valores de R_s .

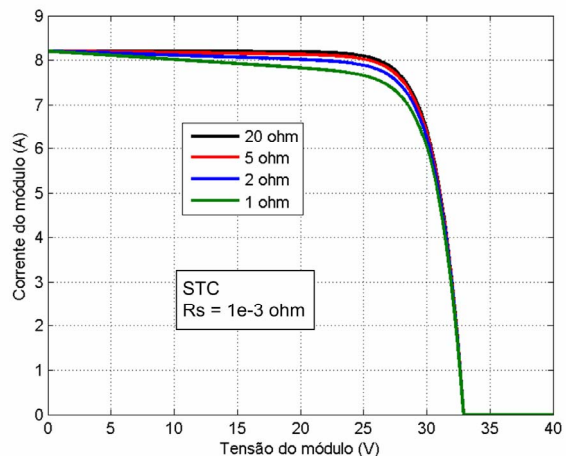


Fig. 4. Curva I-V para diferentes valores de R_p .

PROGRAMA I

Traçado de curvas I-V e P-V com Matlab

```
% VARIÁVEIS DE ENTRADA
Psun = 1000;
T = 25;
Vpa = 0:0.01:40;
% AJUSTE DA CARACTERÍSTICA I-V
Rs = 0.005;
Rp = 7;
Ms = 1;
Mp = 1;
% DADOS DE CATÁLOGO
```

```
Ns = 54;
Voc = 32.9/Ns;
Isc = 8.21;
a = 3.18e-3;
% CONSTANTES
n = 1.2;
k = 1.38e-23;
q = 1.60e-19;
EG = 1.1;
Tr = 273 + 25;
% CÁLCULOS
T = 273 + T;
Vt = n*k*T/q;
V = Vpa/Ns/Ms;
Iph = (Isc+a*(T-Tr))*Psun/1000;
Irr = (Isc-Voc/Rp)/(exp(q*Voc/n/k/Tr)-1);
Ir = Irr*(T/Tr)^3*exp(q*EG/n/k*(1/Tr-1/T));
I = zeros(size(V));
for j=1:5;
I = I-(Iph-I-Ir.*(exp((V+I.*Rs)./Vt)-1)-(V+I.*Rs...
)./Rp)/(-1-Ir.*exp((V+I.*Rs)./Vt).*Rs./Vt-Rs./Rp);
end
for j=1:length(I);
if I(j)<0
I(j)=0;
end
end
Ipa = I*Mp;
% GERAÇÃO DE CURVAS I-V E P-V
figure(1);
plot(Vpa,Ipa);
grid on;
hold on;
for j=1:length(I);
Ppa(j)=Vpa(j)*Ipa(j);
end
figure(2);
plot(Vpa,Ppa);
grid on;
hold on;
```

Onde:

- V_{pa} , I_{pa} , P_{pa} – Tensão, corrente e potência do arranjo fotovoltaico.
- M_s , M_p – Número de módulos em série e paralelo no arranjo fotovoltaico.
- N_s – Número de células em série no módulo.
- V_t – Tensão equivalente da temperatura.

Como se verifica, o Programa I é apropriado para o traçado da característica I-V e P-V de um módulo ($M_s = M_p = 1$) ou de um arranjo fotovoltaico.

A partir do programa, observa-se que as resistências parasitas adotadas são $R_s = 5\text{m}\Omega$ e $R_p = 7\Omega$. O procedimento para se chegar a esses valores é descrito a seguir:

- 1) Fixa-se R_p em 20Ω .
- 2) A partir de $1\text{m}\Omega$ vai-se aumentando o valor de R_s até que a inclinação da curva I-V após o MPOP fique igual à apresentada no catálogo do fabricante.
- 3) Reduz-se o valor de R_p até que a potência chegue ao valor desejado.
- 4) Ainda na curva P-V verifica-se o valor da tensão no ponto de máxima potência. Caso coincida com o do catálogo, conclui-se o processo.
- 5) Se a tensão não for a desejada, pode-se deslocar o MPOP para a esquerda (aumento de R_s e R_p) ou para a direita (diminuição de R_s e R_p), mantendo a potência no valor desejado.

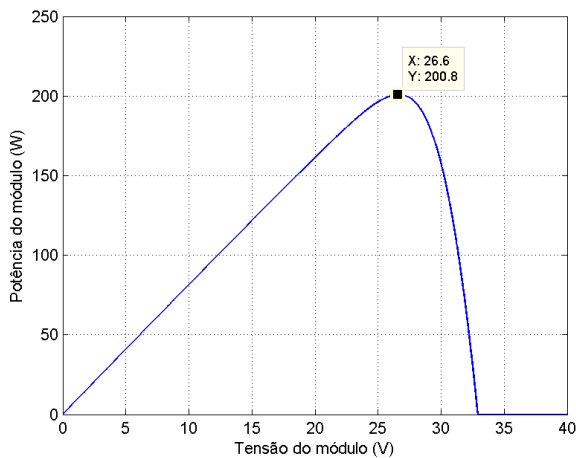
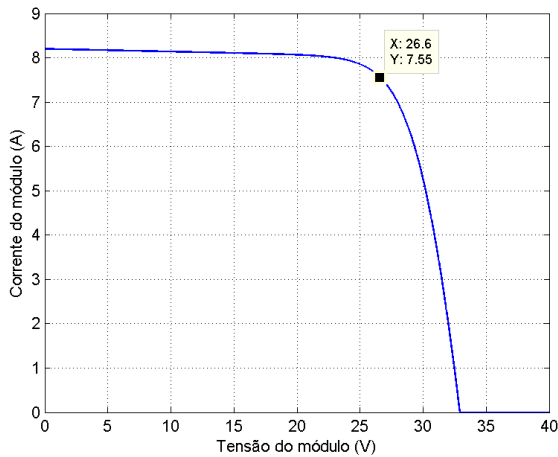


Fig. 5. Curvas geradas com $R_s = 4\text{m}\Omega$ e $R_p = 3\Omega$.

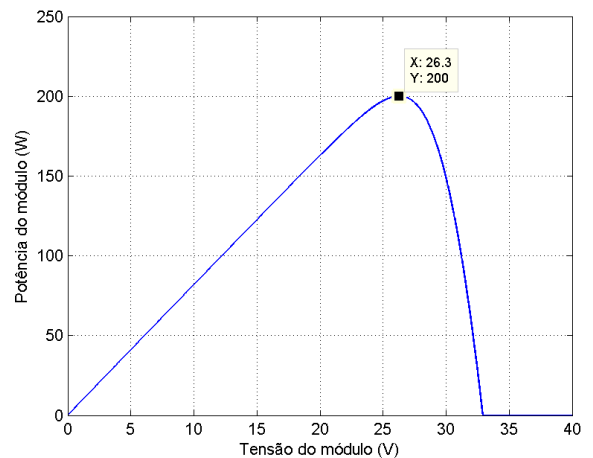
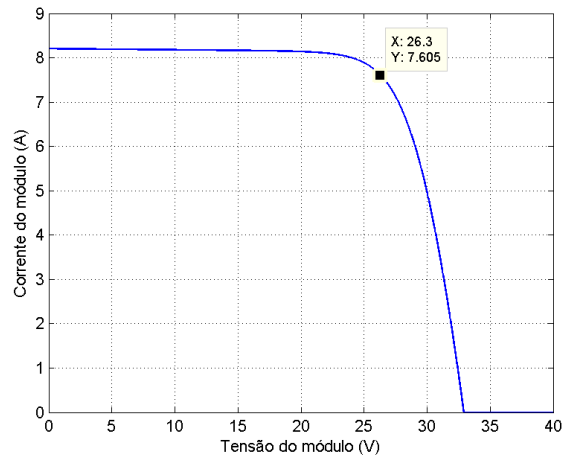


Fig. 6. Curvas geradas com $R_s = 5\text{m}\Omega$ e $R_p = 7\Omega$.

Seguindo o procedimento até a etapa 3, obtém-se $R_s = 4\text{m}\Omega$ e $R_p = 3\Omega$. As curvas geradas estão representadas na Fig. 5. Nesta figura, pode-se verificar que o aspecto da curva I-V é idêntico ao do catálogo, porém, a tensão no ponto de máxima potência está um pouco acima da desejada. Através da etapa 5 do procedimento, chega-se aos valores definitivos, conforme mostrado na Fig. 6.

Todos os parâmetros necessários à execução do Programa I estão disponíveis. Então, pode-se testar o modelo para variações de radiação e temperatura, considerando as constatações feitas em [8].

- Efeito da radiação: a corrente de curto-circuito é linearmente proporcional à radiação solar ao longo de uma ampla faixa de valores. A tensão de circuito aberto é baixa para uma baixa intensidade de radiação. Com o aumento da radiação a tensão cresce logarithmicamente.
- Efeito da temperatura: a banda proibida diminui com o aumento da temperatura. Isto faz a corrente de curto-circuito crescer levemente e a tensão de circuito aberto decrescer significativamente.

Os efeitos da radiação e da temperatura estão ilustrados nas figuras 7 e 8.

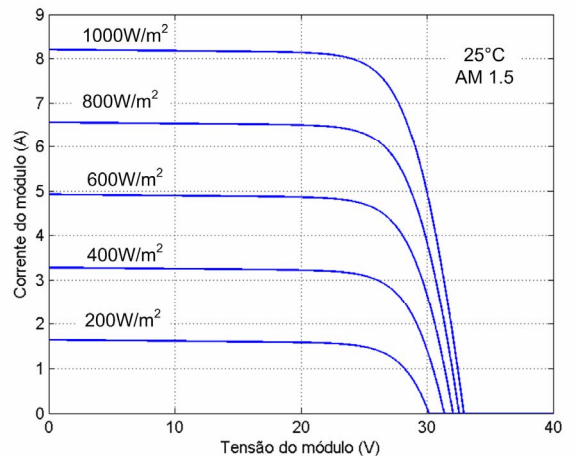


Fig. 7. Característica I-V do módulo fotovoltaico para vários níveis de radiação.

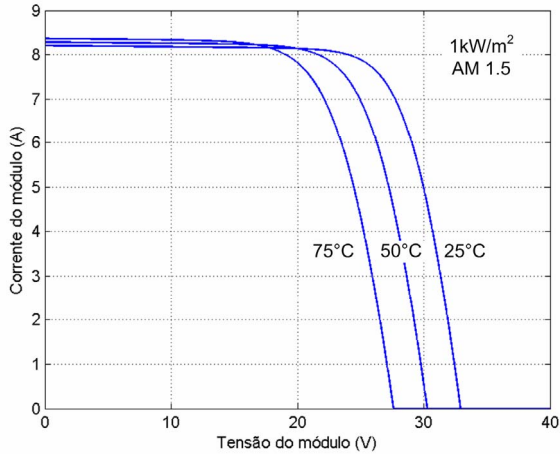


Fig. 8. Característica I-V do módulo fotovoltaico para diferentes temperaturas.

IV. SIMULAÇÃO DO ARRANJO FOTOVOLTAICO USANDO O SIMULINK

O Programa I foi concebido com equações referentes a uma única célula. Porém, o modelo é tal que se conectado na forma de um arranjo fotovoltaico pode ser tratado como uma célula com múltiplas associações em série e paralelo [3]. A programação, tendo em vista esta afirmação, conduz a um resultado que simula o comportamento tanto de módulos quanto de arranjos fotovoltaicos. Assim, fazendo $M_s = 10$ e $M_p = 2$, além de pequenas adequações no Programa I, pode-se implementar no Simulink, simulador do Matlab, uma fonte de corrente controlada por tensão, correspondente a um arranjo fotovoltaico de 4kWp, conforme a Fig. 9.

A corrente do arranjo fotovoltaico, I_{pa} , é calculada por um bloco programável, PV_Array. Dentro deste bloco está o Programa II.

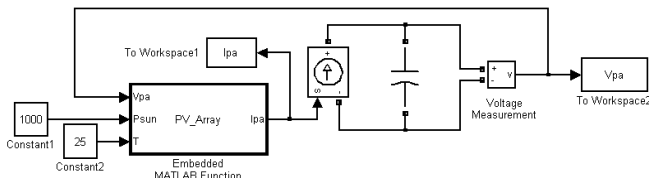


Fig. 9. Arranjo fotovoltaico implementado no Simulink.

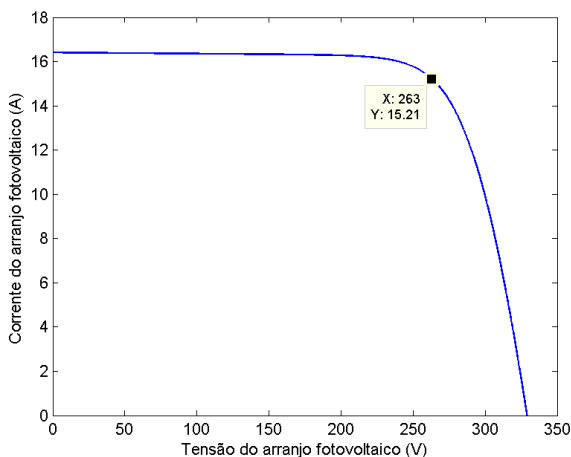


Fig. 10. Característica I-V do arranjo fotovoltaico.

PROGRAMA II

Simulação de arranjo fotovoltaico no Simulink

```
function Ipa = PV_Array(Vpa, P_sun, T)
Rs = 0.005;
Rp = 7;
Ms = 10;
Mp = 2;
Ns = 54;
Voc = 32.9/Ns;
Isc = 8.21;
a = 3.18e-3;
n = 1.2;
k = 1.38e-23;
q = 1.60e-19;
EG = 1.1;
Tr = 273 + 25;
T = 273 + T;
Vt = n*k*T/q;
V = Vpa/Ns/Ms;
Iph = (Isc+a*(T-Tr))*P_sun/1000;
Irr = (Isc-Voc/Rp) / (exp(q*Voc/n/k/Tr)-1);
Ir = Irr*(T/Tr)^3*exp(q*EG/n/k*(1/Tr-1/T));
I = 0;
for j=1:5;
I = I - (Iph - I - Irr*(exp((V+I*Rs)/Vt)-1) - (V+I*Rs) ...
/Rp) / (-1 - Irr*exp((V+I*Rs)/Vt)*Rs/Vt - Rs/Rp);
end
if I < 0 I = 0;
end
Ipa = I*Mp;
```

Um capacitor de 100µF é conectado em paralelo com a fonte de corrente a fim de caracterizar o modelo proposto. A simulação do circuito exposto na Fig. 9 coloca os vetores V_{pa} e I_{pa} na área de trabalho do Matlab. Com eles, pode-se traçar a característica I-V do arranjo fotovoltaico. A Fig. 10 destaca o MPOP na curva traçada, com uma tensão de 263V e corrente de 15.21A, resultando em uma potência de 4kWp.

Existe um MPOP para cada condição ambiental de temperatura e radiação que se apresente. Inversores utilizam alguma técnica de MPPT para encontrar este ponto e extrair a máxima potência disponível no arranjo fotovoltaico. Não se verifica nenhum aspecto que desabone o uso do modelo aqui proposto no estudo de inversores ou de técnicas de MPPT via simulação.

V. SIMULAÇÃO DO ARRANJO FOTOVOLTAICO USANDO O PSIM

A simulação realizada na seção anterior pode ser repetida a partir de programas mais difundidos na área de Eletrônica de Potência. Assim, nos mesmos moldes adotados para a Fig. 9, constrói-se a estrutura da Fig. 11. Desta vez, o programa utilizado foi o PSIM, Power Electronics Simulator.

O Programa III é uma adaptação do Programa II e é executado dentro do bloco DLL.

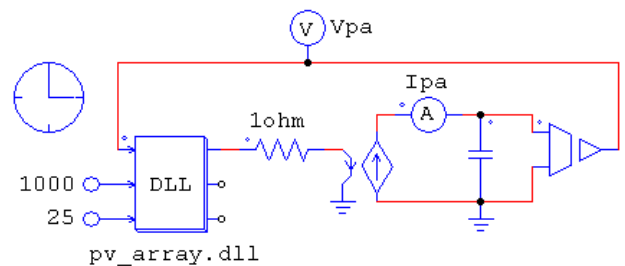


Fig. 11. Arranjo fotovoltaico implementado no PSIM.

PROGRAMA III

Simulação de arranjo fotovoltaico no PSIM

```
#include <math.h>
#include <stdio.h>
__declspec(dllexport) void simuser (t,delt,in,out)
double t, delt;
double *in, *out;
{
double Ipa, Vpa, Psun, Ta, Rs=0.005, Rp=7.,
Ms=10., Mp=2., Ns=54., Voc, Isc=8.21, a=3.18e-3,
n=1.2, k=1.38e-23, q=1.6e-19, EG=1.1, Tr, Vt,
V, Iph, Irr, Ir, I=0., j;
Vpa = in[0];
Psun = in[1];
Ta = in[2];
Voc = 32.9/Ns;
Tr = 273+25;
Ta = 273+Ta;
Vt = n*k*Ta/q;
V = Vpa/Ns/Ms;
Iph = (Isc+a*(Ta-Tr))*Psun/1000;
Irr = (Isc-Voc/Rp)/(exp(q*Voc/n/k/Tr)-1);
Ir = Irr*pow((Ta/Tr),3)*exp(q*EG/n/k*(1/Tr-1/Ta));
for (j=1;j<6;j++)
I = I-(Iph-I-Ir*(exp((V+I*Rs)/Vt)-1)-(V+I*Rs)
/Rp)/(-1-Ir*exp((V+I*Rs)/Vt)*Rs/Vt-Rs/Rp);
if (I<0) I=0;
Ipa = I*Mp;
out[0]=Ipa;
}
```

O Programa III foi escrito em linguagem C e compilado através do C++ Builder 5, conforme instruções disponíveis no próprio PSIM. A Fig. 12 é o resultado de sua execução.

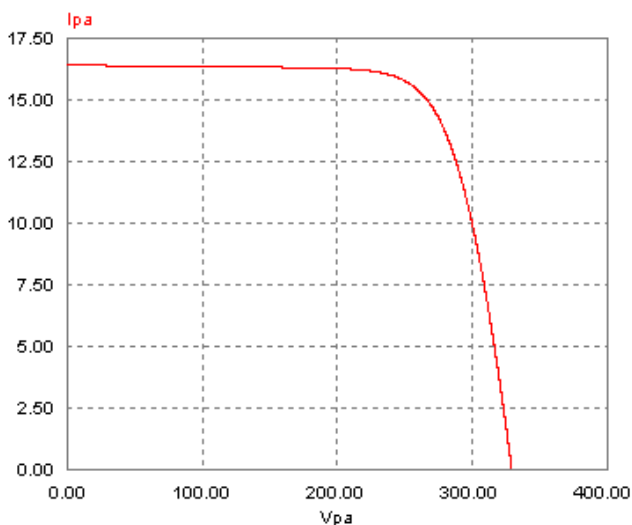


Fig. 12. Característica I-V do arranjo fotovoltaico.

VI. CONCLUSÕES

Foi apresentado um modelo de arranjo fotovoltaico visando sua simulação de forma integrada a conversores chaveados. Demonstrou-se que o modelo responde de forma precisa a variações das condições atmosféricas. Tanto no equacionamento quanto no método usado na solução de tais equações não se recorreu a considerações simplificativas, como as propostas que normalmente se encontram na literatura. A simulação do modelo, segundo os dados de catálogo de um módulo comercial, resultou em uma característica I-V praticamente idêntica a do original.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] International Energy Agency. *Trends in Photovoltaic Applications – Survey Report of Selected IEA Countries Between 1992 and 2004*. September 2005.
- [2] M. M. Casaro and D. C. Martins, “New Method of MPPT Application for Dual-Stage Inverters,” *9th Brazilian Power Electronics Conference*, pp. 676-681, 2007.
- [3] J. A. Gow and C. D. Manning, “Development of a Photovoltaic Array Model for Use in Power Electronics Simulation Studies,” *IEE Proc. on Electric Power Applications*, vol. 146, no. 2, p. 193-200, March 1999.
- [4] M. Veerachary, “PSim Circuit-Oriented Simulator Model for the Nonlinear Photovoltaic Sources,” *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 42, no. 2, pp. 735-740, April 2006.
- [5] G. Walker, “Evaluating MPPT Converter Topologies Using a MATLAB PV Model,” *Journal of Electrical & Electronics Engineering*, vol. 21, no. 1, pp. 49-56, 2001.
- [6] M. C. Cavalcanti, K. C. Oliveira, G. M. S. Azevedo and F. A. S. Neves, “Comparative Study of Maximum Power Point Tracking Techniques for Photovoltaic Systems,” *Brazilian Journal of Power Electronics*, vol. 12, no. 2, pp. 163-171, July 2007.
- [7] P. Grunow, S. Lust, D. Sauter et al., “Weak Light Performance and Annual Yields of PV Modules and Systems as a Result of the Basic Parameter Set of Industrial Solar Cells,” *19th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, pp. 2190-2193, 2004.
- [8] E. L. Meyer and B. Mapuranga, “The Effect of Temperature on the Performance of Photovoltaic Modules at Regulated Voltage,” *15th International Photovoltaic Science & Engineering Conference*, pp. 1256-1257, 2005.

DADOS BIBLIOGRÁFICOS

Marcio Mendes Casaro, nasceu em Assis, São Paulo, em 5 de maio de 1972. Concluiu o curso de Engenharia Elétrica pela Escola de Engenharia de Lins, Lins, São Paulo, em 1994 e obteve o grau de Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina em 1996. Atualmente atua como professor no Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná. Sua área de interesse inclui aplicações em Eletrônica de Potência, em especial, processamento da energia solar fotovoltaica.

Denizar Cruz Martins, nasceu em São Paulo capital, em 24 de abril de 1955. Formou-se em Engenharia Elétrica e obteve o título de Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, em 1978 e 1981, respectivamente. Concluiu o Doutorado no INPT, Toulouse, França, em 1986. Atualmente é professor titular do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina. Sua área de atuação inclui o desenvolvimento de conversores para tratamento de energia solar e simulação de conversores estáticos.