

MÉTODO DE CORREÇÃO DE CURVAS DE POTÊNCIA E CORRENTE FOTOVOLTAICA APLICADAS EM UM SISTEMA DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA UTILIZANDO LÓGICA FUZZY

LUÍS ROBERTO ALMEIDA GABRIEL FILHO¹, JHONATAN CABRERA PIAZENTIN²,
CAMILA PIRES CREMASCO GABRIEL³ FERNANDO FERRARI PUTTI⁴

¹Livre-Docência em Matemática Aplicada e Computacional, Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho (14) 3404-4240, gabrielfilho@tupa.unesp.br

²Licenciado em Matemática, Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho, (14) 997658810, professorpiazzentin@gmail.com

³Doutor em Agronomia (Energia na Agricultura), Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho, (14) 3404-4254, camila@tupa.unesp.br

⁴Doutor em Agronomia (Irrigação e Drenagem), Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho, (14) 3404-4268, fernandoputti@tupa.unesp.br

Apresentado no
XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2017
30 de julho a 03 de agosto de 2017 - Maceió - AL, Brasil

RESUMO: A geração de eletricidade através da energia solar, além de ser uma fonte renovável, reduz o custo ao produtor rural em diversas situações principalmente quando o acesso à energia elétrica (em determinados locais da propriedade rural) não é oferecido. O presente trabalho visa construir analiticamente curvas de corrente e potência fotovoltaicas para um sistema de fotobombeamento, bem como criar novas curvas relativas aos erros observados entre o modelo teórico e o aferido em campo, utilizando lógica *fuzzy*. O experimento foi realizado na Faculdade de Ciências e Engenharia da FCE-UNESP, com dois módulos fotovoltaicos de silício policristalino, com potência nominal de 85 Wp cada. Os dados utilizados foram fornecidos pelo fabricante dos módulos para elaboração das curvas corrigidas de corrente e potência fotovoltaica. Foram criadas classes de curvas de corrente e potência a partir da lógica *fuzzy*, representando todas as possíveis aproximações entre o modelo matemático e a curva ajustada às condições de teste em campo apresentadas pelo fabricante.

PALAVRAS-CHAVE: Energia Renovável, Fotobombeamento, Engenharia Agrícola

METHOD OF CORRECTION OF POWER CURVES AND PHOTOVOLTAIC CURRENCY APPLIED IN A WATER PUMPING SYSTEM USING FUZZY LOGIC

ABSTRACT: The generation of electricity through solar energy, besides being a renewable source, reduces the cost to the rural producer in diverse situations mainly when the access to the electrical energy (in certain places of the rural property) is not offered. The present work aims at analytically constructing photovoltaic current and power curves for a photopolymerization system, as well as creating new curves related to the errors observed between the theoretical model and the field model, using fuzzy logic. The experiment was carried out at the Faculty of Sciences and Engineering of FCE-UNESP, with two photovoltaic modules of polycrystalline silicon, with nominal power of 85 Wp each. The data used were provided by the module manufacturer for the elaboration of corrected current and photovoltaic power curves. Classes of

current and power curves were created from the fuzzy logic, representing all possible approximations between the mathematical model and the curve adjusted to the field test conditions presented by the manufacturer.

KEYWORDS: Renewable Energy, Photovoltaic Water Pumping, Agricultural Engineering

INTRODUÇÃO: A Terra recebe anualmente $1,5 \cdot 10^{18}$ kWh de energia solar, o que corresponde a 10.000 vezes o consumo mundial de energia nesse período. Isto indica que a radiação solar constitui-se numa inesgotável fonte energética, havendo um enorme potencial em sua utilização por meio de sistemas de captação e conversão em outra forma de energia (CRESESB, 2008). Segundo Gabriel Filho (2007), a geração de energia elétrica por conversão fotovoltaica teve um impulso notável, através de projetos privados e governamentais, atraindo interesse de fabricantes pelo mercado brasileiro. A quantidade de radiação incidente no Brasil é outro fator muito significativo para o aproveitamento da energia solar. De acordo com Alvarenga [s.d], umas das aplicações mais importantes da energia solar é o bombeamento de água, visto que a água como a eletricidade é um fator de saúde, e progresso para as comunidades, principalmente aquelas situadas em locais remotos ou de difícil acesso. O presente trabalho teve como objetivo determinar analiticamente um método de correção para curvas de corrente e potência de um sistema de fotobombeamento e estimar via lógica *fuzzy* os parâmetros das equações da potência e corrente, construindo classes de curvas *fuzzy*.

MATERIAL E MÉTODOS: Os estudos numéricos propostos neste trabalho foram desenvolvidos no Laboratório de Matemática Aplicada e Computacional (LabMAC) pertinente a Faculdade de Ciências e Engenharia FCE/UNESP Campus de Tupã. Para o sistema de fotobombeamento foram utilizados dois módulos fotovoltaicos de silício policristalino Suntech 085D-12/BEA com potência nominal de 85 Wp cada.



Figura 1: Módulos fotovoltaicos Suntech 085D-12/BEA

RESULTADOS E DISCUSSÃO: As vazões da bomba estão sujeitas a variação devido ao nível de irradiação solar da região e condições meteorológicas. A Tabela 1, fornecida pelo fabricante, estabelece o volume bombeado na condição $6,0 \text{ kW/m}^2$.

Tabela 1: Especificação sobre a potência do sistema

Potência do Sistema	<i>H</i> = Altura manométrica total (metro).								
	0	5	10	15	20	25	30	35	40
	Vazão (Litro/dia)								
100 Wp	4600	3700	3000	2400	1950	1550	1200	900	650
130 Wp	6300	5050	4100	3300	2600	2050	1600	1200	900
170 Wp	8600	7000	5600	4500	3650	2900	2250	1700	1200

Segundo Lorenzo (1994), a relação entre a corrente e a tensão V na célula fotovoltaica, que passa pela carga, é dada por $I = I_L - I_D - I_p$ onde

$$I_D = I_0 \left(\exp \frac{V + IR_s}{V_t} \right) - \text{corrente que passa através do diodo, } A;$$

I_0 – corrente de escuridão, A ;

$$V_t = \frac{mkT_c}{q} - \text{é a tensão térmica, } V;$$

m – é o fator de idealidade do diodo;

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} - \text{é a constante de Boltzmann, } J \cdot K^{-1};$$

T_c – é a temperatura da célula fotovoltaica, K ;

$$q = 1.6 \cdot 10^{-19} - \text{é a carga do elétron, } C;$$

$$I_p = \frac{V + IR_s}{R_p} - \text{representa as correntes de fuga, } A$$

A equação envolvendo a potência máxima para as células fotovoltaicas. Tal equação pode ser estendida para módulos e geradores fotovoltaicos segundo GABRIEL FILHO (2007). A potência máxima P_{max} de uma célula fotovoltaica, e também a tensão V_{max} e corrente I_{max} na célula que produzem tal potência são dadas por:

$$P_{max} = V_{max} \cdot I_{sc} \left[1 - \exp \left(\frac{V_{max} - V_{oc} + I_{sc} R_s}{V_t} \right) \right]$$

onde,

P_{max} = Potência máxima;

V_{max} = Tensão de Potência Máxima;

I_{sc} = Corrente de Curto Circuito;

V_{oc} = Tensão de Circuito Aberto;

R_s = Resistência Série;

V_t = Tensão Térmica.

Considerando então a função triangular para o erro da potência tal que

$$\mu_{e_P}(x) = \begin{cases} 0, & \text{se } x < 1 \\ \frac{x-1}{0,0022} & \text{se } 1 < x \leq 1,0022 \\ 1 & \text{se } x > 1,0022 \end{cases}$$

gerando

$$P_f(V, \mu) = \left(\frac{1}{0,0022\mu + 1} \right) \left(5,15 \cdot V \left[-\exp \left(\frac{V - 22,2595}{0,925037} \right) \right] \right)$$

CONCLUSÕES: A partir do presente projeto de pesquisa foi possível estabelecer uma análise sobre o sistema fotobombeamento da Faculdade de Ciências e Engenharia de Tupã, e também foi possível simular e acompanhar os erros presentes no mesmo.

A presente metodologia desenvolvida é uma ferramenta capaz de permitir uma análise do dimensionamento em situações reais estabelecidas pelo fabricante, ajudando a determinar as possíveis aplicações da energia solar com ênfase no sistema de fotobombeamento, e a partir da mesma informar ao produtor rural as possibilidades reais desta aplicação.

REFERÊNCIAS

GABRIEL FILHO, L.R.A. **Análise e modelagem geométrica da potência gerada por um sistema híbrido solar fotovoltaico eólico.** Botucatu, 2007. 136 p. Tese (Doutorado em Agronomia - Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos.** Rio de Janeiro, CRESESB, 2008.

ALVARENGA, C. A. **Bombeamento de água com energia solar fotovoltaica.** Belo Horizonte: Solenerg Engenharia e Comércio Ltda, [s.d.]