

## SIMULAÇÃO DA GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA PARA IRRIGAÇÃO EM IPORÁ-GO

UÉLITON SOUSA FERREIRA<sup>1</sup>, VANESSA DE FÁTIMA GRAH PONCIANO<sup>2</sup>,  
ISAAC DE MATOS PONCIANO<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Graduando em Agronomia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano Campus – Iporá, uelitonsousa.95@hotmail.com;

<sup>2</sup> Doutora em Engenharia de Biossistemas, Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Goiano, vanessa.grah@ifgoiano.edu.br; e

<sup>3</sup> Doutor em Engenharia de Biossistemas, Universidade de Rio Verde, isaac.matos@unirv.edu.br

Apresentado no

XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2017

30 de julho a 03 de agosto de 2017 - Maceió - AL, Brasil

**RESUMO:** O presente trabalho tem como objetivo simular a geração fotovoltaica para a cidade de Iporá- GO, para utilização em sistemas de bombeamento de água destinada a projetos de irrigação. Para isso foram utilizadas as leituras para o ano de 2015 da estação meteorológica automática do INMET, instalada na Fazenda Escola do IF Goiano, Campus Iporá. A partir das leituras de Radiação Global na horizontal foram calculados: o coeficiente de claridade diário (Kt); ângulo de inclinação do gerador FV; energia gerada; volume bombeado e área irrigada. Para a definição do período de irrigação foram utilizados os dados de precipitação mensal acumulada na cidade de Iporá. Assim, os meses com maior necessidade de irrigação foram entre maio a outubro. O valor anual e para o período de irrigação de Kt, ângulo de inclinação do gerador; energia gerada, volume bombeado e área irrigada foram, respectivamente, de: 0,63 e 0,69; 16° e 28°; 881,9 e 460,8 MJ m<sup>-2</sup>; 1348,5 e 7015,4 m<sup>3</sup>; 2074,6 e 1083,9 m<sup>2</sup>. A cidade de Iporá se mostrou um local viável para a implantação de projetos para geração de energia fotovoltaica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cerrado, recursos renováveis, bombeamento de água.

## SIMULATION OF PHOTOVOLTAIC ENERGY GENERATION FOR IRRIGATION PURPOSES IN IPORÁ-GO

**ABSTRACT:** The present work aims to simulate the photovoltaic's generation for the Iporá-GO city, in order to used it in water pumping systems designed for irrigation projects. For this purpose, it was used as readings for the year 2015 of the automatic meteorological station of INMET, installed in School Farm of the IF Goiano, Iporá. From the Global Horizontal Radiation readings were calculated the Clearness Index (Kt); Tilt angle of the PV generator; Energy generated; Pumped volume and irrigated area. For a definition of the irrigation period were used the accumulated monthly precipitation data in the city of Iporá. Thus, the months with the greatest need of irrigation were between May and October. The annual value and for the irrigation period of Kt, tilt angle of the generator; generated energy, pumped volume and irrigated area, respectively, of: 0.63 and 0.69; 16° and 28°; 881.9 and 460.8 MJ m<sup>-2</sup>; 1348.5 and 7015.4 m<sup>3</sup>; 2074.6 and 1083.9 m<sup>2</sup>. The city of Iporá has shown a viable place for a deployment of projects to generate photovoltaic energy.

**KEYWORDS:** Cerrado, renewable energies, pumping water

**INTRODUÇÃO:** A energia solar fotovoltaica (FV) é uma das fontes energéticas de menor

impacto ambiental, pois converte diretamente a energia solar em energia elétrica. O sudoeste goiano é caracterizado por receber alta insolação durante todo o ano. Ademais, a insolação proveniente do Anticiclone Tropical do Atlântico Sul, conferindo um clima estável de baixa nebulosidade, tornando essa região propícia a geração de energia FV (TIBA, 2000). Porém essa energia não pode ser aproveitada completamente, pois entre as tecnologias FV utilizadas, os geradores FV fabricados de silício cristalino apresentam eficiência de, aproximadamente, 15% (CASSOLI, 2006). Percebe-se então a importância do estudo do local, sua insolação, clima, incidência de radiação e os ângulos para instalações dos geradores FV, para um aproveitamento mais eficiente da energia solar. Também é importante para o desenvolvimento desses sistemas, a definição de alguns ângulos relativos à posição do sol em relação às coordenadas do centro da terra. De acordo com um estudo realizado pelo Instituto Interamericano para Cooperação da Agricultura e o Ministério da Integração, a região do Oeste Goiano não consegue desenvolver sua agricultura irrigada por falta de infraestrutura, distribuição pelas redes públicas de energia na região, entre outros. Esse trabalho tem como objetivo calcular o ângulo de inclinação e incidência em geradores FV para geração anual de energia FV e nos meses de baixa precipitação, no município de Iporá-GO, e simular a energia gerada para essas condições para utilização em sistemas de bombeamento de água destinada a projetos de irrigação.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O município de Iporá – GO está localizado no sudoeste goiano a 16° 26' 04" S, 51° 07' 04" W, e com altitude de 600 m acima do nível do mar, onde o Domínio Cerrado é o bioma de característica predominante, o relevo do município de Iporá é suavemente ondulado. Uma região onde clima é tipicamente tropical semiúmido possuindo duas estações sazonais bem delimitadas com uma estação de irrigação entre os meses de maio a setembro de acordo com Specian e Vecchia (2014). Foi estabelecido o período de irrigação como sendo aquele com menor pluviosidade na cidade de Iporá-GO, com dados da estação do INMET, instalada na Fazenda Escola do IF Goiano Campus Iporá. Para o local de estudo a declinação solar ( $\delta$ ) foi calculada de acordo com equação desenvolvida por Cooper (1969). O ângulo horário foi calculado como apresentada por Souza et. al (2005). Para o cálculo do ângulo zenital ( $\theta_z$ ) e elevação solar ( $\alpha$ ), ao longo do dia, utilizou-se a Eq. (1) e (2) respectivamente.

$$\cos\theta_z = \sin\varphi\sin\delta + \cos\varphi\cos\delta\cos\omega \quad (1)$$

$$\alpha = 90 - \theta_z \quad (2)$$

O azimute do sol ( $\psi$ ) e o ângulo de incidência ( $\theta_i$ ) foram calculados conforme apresentado por Stine e Geyer (2001). O ângulo azimutal do gerador fotovoltaico ( $\gamma$ ) foi considerado igual a zero, orientado para o norte. O ângulo de inclinação dos geradores ( $\beta$ ), para o ano de 2015, foi de 16° (igual a latitude); para o período de irrigação, o ângulo foi calculado por meio de uma equação convencionalmente utilizada para se otimizar a geração de energia FV para um determinado período do ano (DOUSOKY ET. AL, 2011), em que  $\beta = \varphi - \delta$ . Sendo que para a declinação solar da estação de irrigação, utilizou-se um valor médio do período compreendido entre os dias 01 de maio e 31 de outubro de 2015. Para o cálculo da Irradiância total incidente na superfície inclinada ( $I_{T,A}$ ), Eq. (3), apresentada por Stine e Geyer (2001), de acordo com o método desenvolvido por Liu e Jordan (1963) e aperfeiçoado por Klein (1977).

$$I_{T,A} = I_{B,A} + \left[ I_{D,H} \left( \frac{1 + \cos\beta}{2} \right) + \sigma I_{T,H} \left( \frac{1 - \cos\beta}{2} \right) \right] \quad (3)$$

Considerou-se o albedo ( $\sigma$ ) como sendo igual a 0,26 (IQBAL, 1983), para a Irradiância total incidente na superfície horizontal ( $I_{T,H}$ ) foram utilizados os dados de Irradiância horizontal da Estação Meteorológica acima mencionada, para o ano de 2015. Para a irradiância difusa

incidente na superfície horizontal ( $I_{D,H}$ ), os valores foram calculado pela equação desenvolvida por Grace (2006), que segue o modelo isotrópico de Liu e Jordan(1960), pois não haviam dados medidos pela estação meteorológica. A Irradiância direta incidente na superfície inclinada ( $I_{B,A}$ ) foi calculada por meio do produto entre  $I_{B,H}$  e o  $\cos \theta_i$ . A irradiância direta incidente na superfície horizontal ( $I_{B,H}$ ) é o produto da irradiância solar extraterrestre ( $I_0$ ) pelo índice de claridade (Kt). Estas duas variáveis foram calculadas de acordo com Duffie e Beckman(1980). Foram calculados os coeficientes de claridade (Kt) diários, ou seja, a irradiação total incidente na superfície horizontal diária ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ) dividida pela irradiação solar extraterrestre diária ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ). Para a simulação do volume de água bombeado, primeiramente se estipulou uma eficiência de conversão da energia elétrica de 14%. Posteriormente, considerou-se a eficiência do conjunto motobomba de 30% (conforme catálogo de uma motobomba de 0,5 CV). Assim, o volume de água bombeado foi obtido através da Eq. (4).

$$Vol = \frac{E \times Ef_{MB}}{P} \quad (4)$$

em que Vol é o volume bombeado em  $\text{m}^3$ ; E é a energia gerada (considerando uma eficiência do gerador FV de 14%) em Joules;  $Ef_{MB}$  é a eficiência da motobomba igual a 30%; e P a pressão de bombeamento igual a 20 metros de coluna de água. A partir do volume de água bombeado em Litros, calculou-se a possível área a ser irrigada considerando uma necessidade total de água da chuva de 650 mm, um ciclo de cultivo de aproximadamente 120 dias, valores críticos para culturas com alta demanda de água como as hortaliças (EMBRAPA Hortaliças, 2010), principais culturas produzidas na cidade de Iporá-GO.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Para a definição do período de irrigação foram utilizados os dados de precipitação mensal acumulada na cidade de Iporá. Assim, os meses com maior necessidade de irrigação foram entre maio a outubro. O índice de claridade Kt é o parâmetro representativo da atenuação que sofre a radiação solar ao atravessar a atmosfera e de grande importância, pois nos mostra os dias propícios a geração de energia. Para o ano de 2015 o valor médio de Kt para a cidade de Iporá foi de 0,63 e para a estação de irrigação foi de 0,69, o que representa predominantemente dias de céu sem nuvens. Analisando os dados obtidos pelo Incremento mensal de energia gerada simulada ( $\text{MJ m}^{-2}$ ) durante o ano de 2015 (Tabela 1), é possível observar nos dados que as médias mensais apresentam uma pequena faixa de diferença nos meses apontados como período chuvoso, causado em função das variações das nuvens.

TABELA 1. Incremento mensal de energia gerada simulada ( $\text{MJ m}^{-2}$ ) durante o ano de 2015

	Energia gerada ( $\text{MJ m}^{-2}$ )											
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	Set	out	nov	dez
Período chuvoso	85,99	70,51	70,23	69,45							71,69	69,01
Período seco					69,44	65,33	67,18	78,33	80,34	84,41		
Total anual	881,92											

Analisando os dados da Tabela 3, observa-se uma pequena margem de diferença nos resultados obtidos pela simulação para ambos os ângulos. Essas diferenças referem-se a irradiância sobre os painéis nos diferentes posicionamento dos ângulos em relação ao solo “graus”. Tendo isso como fator para a geração de energia implica diretamente na capacidade da área a ser irrigada, em que os meses que aparecem com maior capacidade de geração de energia são os meses do período seco do ano, que é necessário a utilização da irrigação no

local de estudo.

TABELA 3. Dados referentes a captação de energia gerada simulada para diferentes ângulos  $\beta$  (ângulo de inclinação do gerador fotovoltaico, na direção norte (hemisfério sul), em relação ao solo “graus”) durante o período seco de 2015.

Ângulo $\beta$	16°	28°	Diferença
Energia captada (MJ m <sup>-2</sup> )	3181,9	3291,2	109,3
Energia gerada (MJ m <sup>-2</sup> )	445,5	460,8	15,3
Vol. Bombeado (m <sup>3</sup> )	681,1	704,5	23,4
Vol. Bombeado (L)	681138,8	701540,9	20402,1
Área. irrigada (m <sup>2</sup> )	1047,9	1083,9	36,0
Área. irrigada (ha)	0,105	0,108	0,003

**CONCLUSÕES:** No presente estudo, a eficiência simulada foi de 14% (catalogo do fabricante) para todos os períodos simulados e ângulos de inclinação, que a energia gerada simulada anual considerando período seco e chuvoso foi de 881,92 MJ m<sup>-2</sup>. Nos períodos mais críticos para a geração de energia obteve se uma energia gerada simulada de 2,32 MJ m<sup>-2</sup>, e no período de seca considerado propicio para irrigação foi otimizado para 16,55 MJ m<sup>-2</sup>. A cidade de Iporá se mostrou um local viável para a implantação de projetos para geração de energia fotovoltaica (colocar um nível de comparação).

**REFERÊNCIAS:** CASSOLI Dias, Mário Sergio. Energia solar fotovoltaica - Uma alternativa para projetos de eficiência energética. Revista GTD, pág 54, Mai 2006.

DOUSOKY, G.M.; EL-SAYED, A.-H.M.; SHOYAMA, M. Maximizing energy-efficiency in single-axis solar trackers for photovoltaic panels. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON POWER ELECTRONICS AND ECCE. 8., 2011, Jeju. Proceedings... Jeju: ICPE & E CCE, 2011. p. 1458-1463.

DUFFIE, J.A.; BECKMAN, W.A. 1980. Solar engineering of thermal processes. New York: John Wiley.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA Hortaliças). 2010. Catálogo Brasileiro de Hortaliças. Brasília: EMBRAPA.

GRACE, W. 2006. A model of diffuse broadband solar irradiance for a cloudless sky. Australian Meteorological Magazine, Melbourne, v. 55, p. 119-130.

IQBAL, M. 1983. An introduction to solar radiation, New York: Academic Press.

LIU, B.Y.; JORDAN, R.C. 1960. The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation. Solar Energy, v. 4, p. 1-19.

SOUZA, A.P.; DAL PAI, A.; ESCOBEDO, J.F. Evolução anual da radiação global incidente em superfícies inclinadas para o norte, em Botucatu- SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR E CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DA ISES, 4., 2012, São Paulo. Resumos... São Paulo: USP, INCT-EEREA, 2012. Resumo 194.

SPECIAN, V.; VECCHIA, F. A. S.; Distribuição da frequência mensal da precipitação para região Oeste de Goiás: comparação entre dois postos pluviométricos – Ateliê Geográfico - Goiânia-GO, v. 8, n. 1, p.200-214, abr/2014. <https://www.revistas.ufg.br/ateliê> acessado em 05/02/2017.

TIBA, C. Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados solarimétrico. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2000. 111 p.