

ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS EM FUNÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR NO CENTRO-OESTE BRASILEIRO

Amaury de Souza

Doutor em Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS.
Professor do Departamento de Física da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS.
amaury.de@uol.com.br

Flavio Aristone

Doutor em Física pelo Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse – INSA/Toulouse, França. Professor Titular da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS.
flavio.aristone@ufms.br

RESUMO

Para o presente trabalho foi desenvolvido um estudo de um sistema fotovoltaico, com armazenamento de energia, na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus Campo Grande, durante o ano de 2014. Foi avaliada a eficiência de painéis fotovoltaicos em função dos valores da componente de radiação solar global no plano horizontal de incidência; das temperaturas ambiente e de operação do painel; e da tensão e corrente do sistema fotovoltaico. Os resultados mostram que a eficiência média mensal oscilou entre 8,65 e 9,17%, com média anual de 8,84%. O módulo apresentou eficiência média 50% inferior aos valores propostos pelos fabricantes.

Palavras-chave: Eficiência Fotovoltaica Celular; Radiação Solar; Conversão da Irradiação Solar; Temperatura da Célula Fotovoltaica.

STUDY OF ENERGETIC EFFICIENCY OF PHOTOVOLTAIC CELLS AS A FUNCTION OF SOLAR RADIATION IN BRAZIL'S MIDWEST REGION

ABSTRACT

In this paper, we developed a study of a photovoltaic system (PV) with energy storage installed at the Federal University of Mato Grosso do Sul, campus of Campo Grande, during 2014. It has been evaluated the efficiency of photovoltaic panels according to the data of the solar radiation components in the horizontal plane of incidence, the local and operating temperatures, and the current - voltage response of the PV system. The results show that the average monthly efficiency oscillated between 8.65% and 9.17%, with an annual average of 8.84%. The modules showed an average efficiency that is 50% smaller compared to the values provided by manufacturers.

Keywords: Photovoltaic Cell Efficiency; Solar Irradiation; Conversion of Solar Irradiation; Photovoltaic Cell Temperature.

ESTUDIO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS COMO FUNCIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR EN LA REGIÓN CENTRAL DE BRASIL

RESUMEN

**Estudo da eficiência energética de células fotovoltaicas em função da radiação solar no
Centro-oeste brasileiro
*Amaury de Souza; Flavio Aristone***

En el presente trabajo se ha desarrollado un estudio para un sistema fotovoltaico con almacenamiento de energía, durante el año 2014 en el campus de Campo Grande de la Universidad Federal de Mato Grosso do Sul. Se evaluó la eficiencia de paneles fotovoltaicos en función de los valores de la componente de radiación solar global en el plano horizontal de incidencia; de las temperaturas ambiente y de funcionamiento del panel; y de la tensión y corriente generada en el sistema fotovoltaico. Los resultados muestran que la eficiencia media mensual osciló entre 8.65% y 9.17%, con una media anual de 8.84%. El módulo ha presentado una eficiencia media 50% inferior a los valores propuestos por los fabricantes.

Palabras clave: Eficiencia de Células Fotovoltaicas; Irradiación Solar; Conversión de Irradiación Solar; Temperatura de las Células Fotovoltaicas.

INTRODUÇÃO

A radiação solar é a fonte de energia responsável e necessária ao desenvolvimento de todos os ciclos da natureza, no entanto seu aproveitamento sempre foi limitado. Inicialmente, a ideia do aproveitamento desse recurso surgiu com as teorias de termodinâmica, por meio do aquecimento de líquidos ou gases; posteriormente, com os estudos sobre o efeito fotoelétrico.

A população mundial tem crescido rapidamente nas últimas décadas e uma das principais consequências desse aumento populacional é o aumento da demanda por energia, necessária para impulsionar os princípios da vida em sociedade. O homem, desde os primórdios, vem utilizando a energia solar para sua sobrevivência, desenvolvendo várias formas de captação e produção energética. De acordo com Palz (1995), o consumo de combustíveis fósseis era insignificante até o século XVIII, muito embora eles já fossem conhecidos desde a antiguidade. O aumento das preocupações com as questões ambientais internacionalmente, em particular com as mudanças climáticas, causadas pela acumulação de CO₂ na atmosfera, tem sido um forte argumento a favor do uso de tecnologias que não emitem dióxido de carbono nas futuras estratégias para a produção e uso de energia.

As fontes de energia são derivadas, em sua maioria, direta ou indiretamente, da energia solar (PALZ, 1995). É a partir da energia solar que se dá a evaporação, origem do ciclo das águas, que possibilita o represamento da água e a consequente geração de eletricidade (hidroeletricidade). A radiação solar também induz a circulação atmosférica em larga escala, provocando os ventos. Petróleo, carvão e gás natural são fontes finitas de energia e foram gerados a partir de resíduos de plantas e animais, que obtiveram a energia necessária ao seu desenvolvimento da radiação solar (fontes indiretas de energia solar). A energia geotérmica e a energia nuclear são as que fogem inteiramente à regra. A energia motriz das marés é derivada em parte do Sol e em parte da Lua.

**Estudo da eficiência energética de células fotovoltaicas em função da radiação solar no
Centro-oeste brasileiro
*Amaury de Souza; Flavio Aristone***

Para que a energia solar fotovoltaica seja mais bem avaliada, vários autores vêm estudando o desempenho e rendimento de sistemas fotovoltaicos na geração de energia elétrica, dentre eles: Treble (1980), Overstraeten; Mertens (1996), Parreta et al. (1998), Cardona; Lopez (1999), Camargo (2000), Van Dyk et al. (2002), Seraphim et al. (2004), Diniz e Silva; Seraphim (2005), Fiorentino, Seraphim (2005), Gnoatto et al. (2005); Gnoatto et al. (2008), Mirjanic et al. (2013).

A eficiência energética de módulos fotovoltaicos depende das condições ambientais de funcionamento, tais como a temperatura, a intensidade da irradiação solar, o ângulo de inclinação e tipo de módulos solares. Parâmetros fundamentais para atingir o melhor desempenho em eficiência energética são o ângulo de inclinação dos painéis e o tipo de módulos. Parâmetros indiretos e de grande importância para a eficiência de funcionamentos incluem a temperatura e velocidade dos ventos. Este artigo trata especialmente com a investigação da influência da temperatura e velocidade do vento sobre as características físicas dos módulos de silício monocristalino.

Recentemente, várias bases de dados climáticos, obtidos através de sensoriamento por satélite geoestacionário do clima da Terra, foram divulgadas na internet. Estes incluem a NASA-SSE (NASA, 2012), HelioClim (EUMETSAT, 2012), SoDa (SoDa Service, 2012), PVGIS (PVGIS, 2012), NCDC-NOAA (Departamento de Comércio dos Estados Unidos, 2012), etc. Essas bases de dados oferecem a vantagem clara de uma cobertura espacial e temporal uniforme e mais extensa. Eles fornecem entre 10 a 22 anos de dados médios de inúmeras variáveis climáticas para locais de todo o mundo, com os tamanhos de grade de 1 km², por hora, por dia, por mês e por ano. Esses dados são suficientemente de alta precisão para todos os locais do globo, Suri et al. (2008), Blanc et al. (2011).

A base de dados da NASA-SSE, em particular, tem sido mais amplamente utilizada para estimativas da intensidade de radiação solar, Fadare (2009), Zawilska e Brooks (2011), a velocidade do vento, Khan et al. (2004), Jewer et al. (2005), e potencial de geração de eletricidade solar, Mond e Denich (2010), Mondal e Islam (2011). Trata-se de um banco de dados online de mais de 200 parâmetros climáticos obtidos a partir de observações feitas pelo satélite Goddard Earth Observing System (GEOS) do NASA's Global Modelling and Assimilation Office (GMAO). Esses parâmetros estão apresentados como médias de 22 anos, com uma resolução espacial de 1° na longitude e 1° na latitude ao longo de toda a superfície do globo, NASA (2012), Chandler et al. (2010). Essa densidade de grade é maior do que a dos sítios de monitorização do tempo em várias partes do país.

**Estudo da eficiência energética de células fotovoltaicas em função da radiação solar no
Centro-oeste brasileiro
*Amaury de Souza; Flavio Aristone***

Dados de irradiação solar são indispensáveis para a análise aprofundada do recurso energético disponível em um país, Tan et al. (2012), por exemplo. No entanto, quando se apresentam sob a forma de cartas de radiação solar ou tabelas, os potenciais para geração de eletricidade a partir de recursos de energia solar que existem em um país ou região podem não ser prontamente apreciados pelas pessoas sem formação técnica específica. O objetivo deste trabalho é avaliar a eficiência de painéis fotovoltaicos como função da radiação solar incidente.

MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa foi realizada na Estação Experimental Agrometeorológica do Centro de Monitoramento de Clima e Recursos Hídricos de Mato Grosso do Sul, localizada na latitude 20.447195 Sul e longitude 54.722615 Oeste, a altitude de 528 m, no período de 1º de janeiro a 31 de dezembro de 2014. Depois de examinar as informações coletadas, a energia produzida pelos painéis foi calculada e expressa em forma de médias diárias e médias mensais, juntamente com o desvio padrão, para todo o período considerado (um ano). Em seguida, dois gráficos foram construídos para análise: um do comportamento médio diário da radiação global para os 365 dias do ano (24 horas em função da radiação média), e outro do comportamento mensal (12 meses em função da radiação média). Foram feitas análises de regressão linear e quadrática para estudar o comportamento obtido.

Por último, foi feita uma estimativa da produção de energia elétrica através de painéis fotovoltaicos, usando como exemplo o módulo solar de silício monocristalino (Figura 1). Eficiência: 15,4%; Tensão em Pmax: 29,8V; Corrente em Pmax 8,39^a; Tensão de circuito aberto: 37,6V; Corrente de curto circuito: 8,92A. Parâmetros elétricos em condição de operação nominal (NOCT: operação em curto circuito com irradiância de 800W/m², temperatura ambiente de 20° C, velocidade do vento de 1 m/s); Potência de saída: 182,4W; Tensão em Pmax: 27,2V; Corrente em Pmax: 6,71^a; Tensão de circuito aberto: 34,7V; Corrente de curto circuito: 7,21A (dados do fabricante do equipamento).



Figura 1 - Foto do módulo solar utilizado. Fonte:

<http://d9no22y7yqre8.cloudfront.net/assets/uploads/products/downloads/YGE-60Cell-29b-35mm.PDF>

A eficiência do módulo fotovoltaico é definida pela relação entre a potência gerada e a irradiação incidente. Segundo Treble (1980) e Overstraeten e Mertens (1996), a eficiência do módulo pode ser obtida pela equação:

$$\eta = \frac{(I_{mp} \times V_{mp})}{(I_c \times A)} \times 100 \quad (1)$$

onde:

I_c = irradiação solar (W/m^2);

A = área útil do módulo (m^2);

I_{mp} = corrente máxima de pico (A);

V_{mp} = tensão máxima de pico (V).

Sandnes e Reskstad (2002) utilizaram essa equação para calcular a eficiência do painel fotovoltaico em um sistema experimental híbrido, fotovoltaico/coletor solar para gerar eletricidade e água a baixa temperatura. O experimento foi efetuado em condições diferentes das de teste (STC). Hady e Al-Janaby (1998) estudaram durante dois anos o efeito do clima do Kuwait na eficiência de dois tipos de células fotovoltaicas e também utilizaram a mesma técnica.

De acordo com Cardona e Lopez (1999), a eficiência de um conjunto fotovoltaico em um sistema de geração de energia elétrica pode ser obtida em uma relação entre toda energia diária produzida e a energia diária incidente na superfície do módulo. O rendimento diário do conjunto fotovoltaico é representado pela equação:

$$\eta_{pvd} = \frac{E_{pvd}}{E_{rd}} \quad (2)$$

onde:

E_{pvd} = potência diária fornecida pelo módulo (W/m^2);

E_{rd} = irradiação diária na superfície do conjunto fotovoltaico (W/m^2). A média mensal do rendimento diário é obtida por:

$$\eta = \frac{\sum_{n=1}^D \eta_{pvd}}{D} \quad (3)$$

onde D é o número de dias com dados.

A eficiência dos módulos foi calculada como a razão entre a irradiância e a potência gerada por unidade de área de cada módulo. Foram obtidas médias diárias e mensais. Sendo H_{col} a densidade de energia solar incidente no plano do módulo fotovoltaico, que tem uma superfície de captação (S), a energia total que atinge o painel é dada por $H_{col} \times S$. Chamando a energia elétrica gerada de EG, pode-se calcular a Eficiência Energética de conversão do módulo (EF) pela razão entre os dois valores, em acordo com a metodologia apresentada por Lorenzo (1994) e Salviando (2001):

$$EF = \frac{EG}{H_{col} \times S}$$

O valor de EG é simplesmente a integral da potência gerada durante o intervalo considerado, que para um período de 24 pode ser escrita como:

$$EG = \int_{t=0}^{t=24 \text{ horas}} (I_c \times V_c) dt$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1(a) encontra-se a eficiência diária do módulo fotovoltaico, mostrando seu o comportamento para todos os dias do ano de 2014. O ponto de eficiência máxima foi de 9.11%, em 19 de setembro, e o ponto de eficiência mínima foi de 8.47%, em 17 de julho.

Estudo da eficiência energética de células fotovoltaicas em função da radiação solar no
Centro-oeste brasileiro
Amaury de Souza; Flavio Aristone

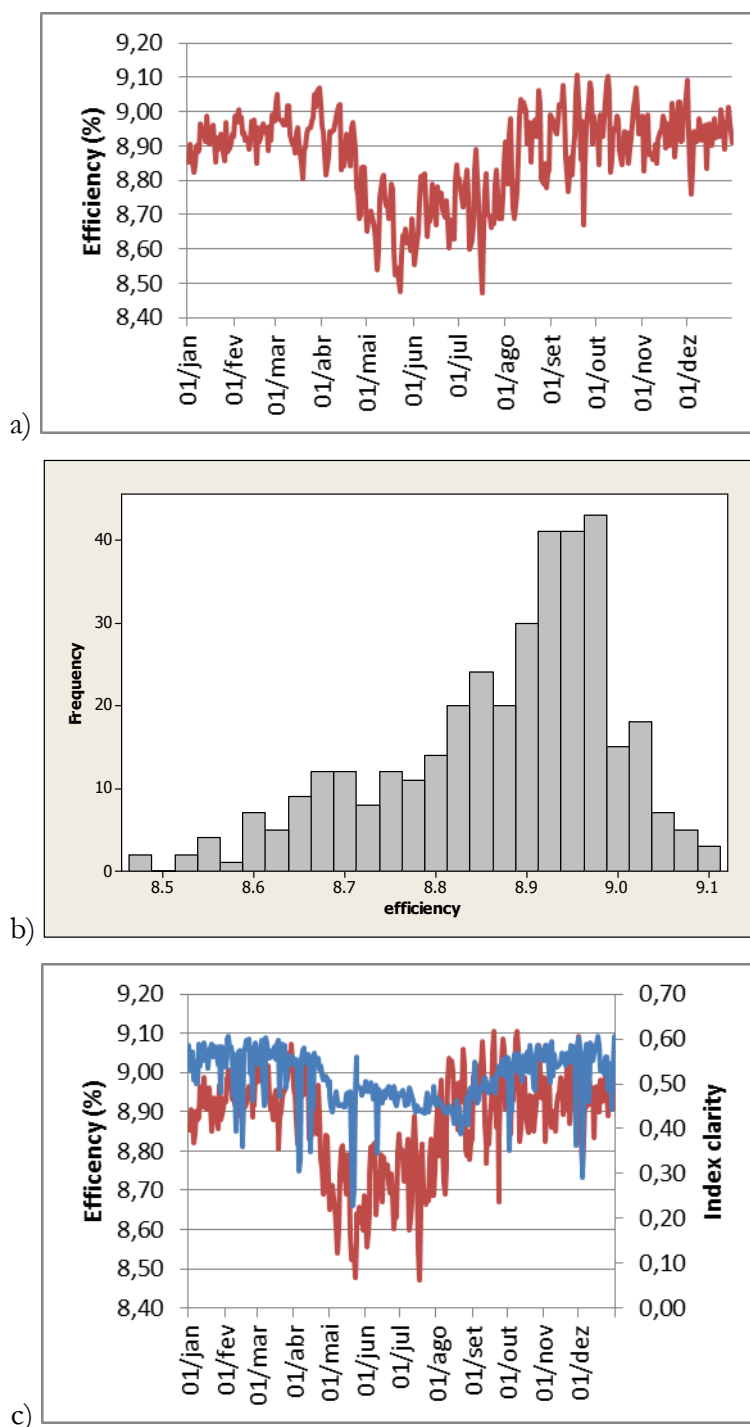


Figura 1 – a) eficiência do módulo fotovoltaico em função dos dias para o ano de 2014; b) frequência de distribuição da eficiência; c) eficiência do módulo fotovoltaico e índice de limpidez em função dos dias.

Com base nos resultados da eficiência média diária obtida, analisou-se o comportamento da frequência de ocorrências, representado na Figura 1(b). Pode-se observar que 43% das ocorrências registraram valores de 8,9% de eficiência. A baixa eficiência indicada por esses dados está relacionada com dias nublados. Os índices podem ser melhor observados no gráfico da Figura 1(c).

Estudo da eficiência energética de células fotovoltaicas em função da radiação solar no
Centro-oeste brasileiro
Amaury de Souza; Flávio Aristone

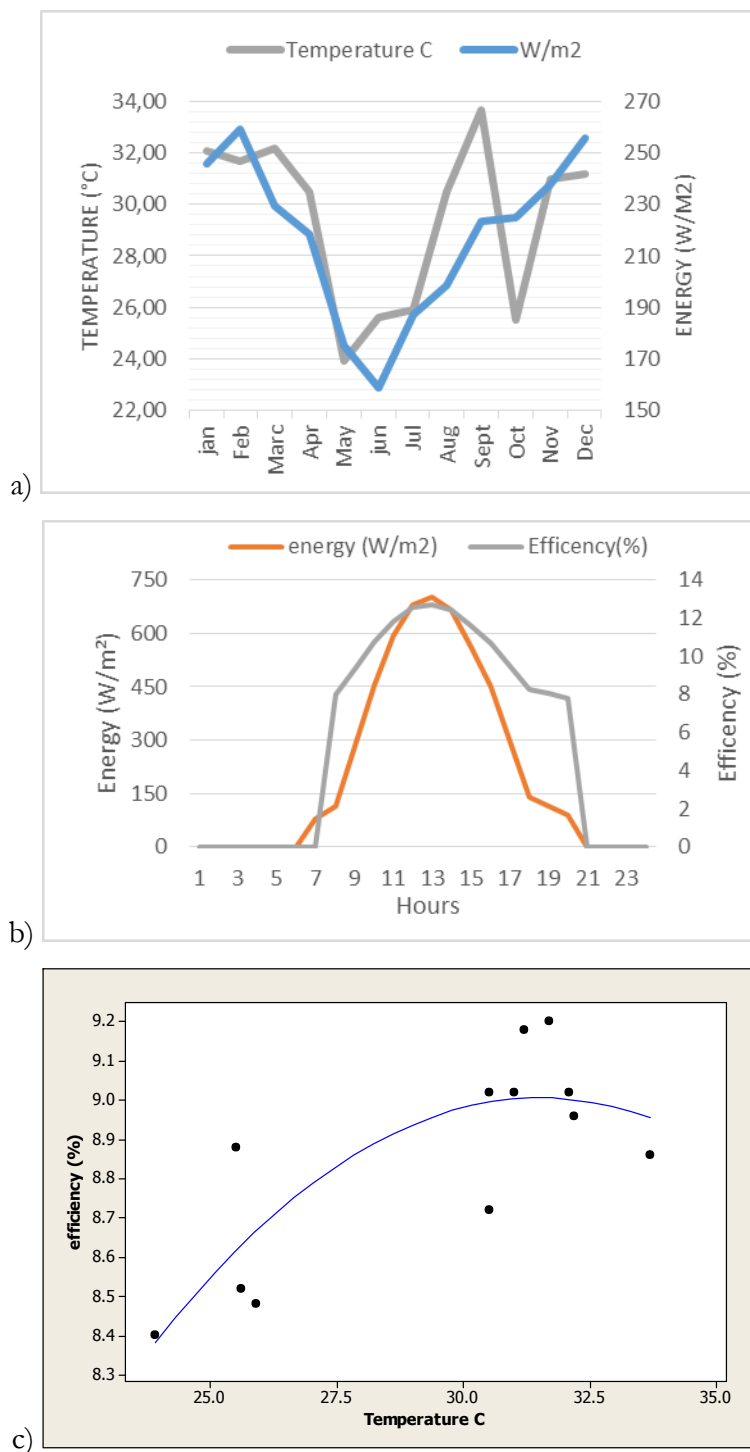


Figura 2 – a) Valores diários observados para a temperatura ambiental e a densidade de potência incidente sobre o módulo fotovoltaico; b) frequência média diária horária da eficiência do módulo fotovoltaico e energia solar (W/m²) em função das horas; c) eficiência da célula fotovoltaica em função da temperatura ambiente.

Salienta-se, dessa forma, que embora exista uma pequena variação percentual entre os índices máximo e mínimo obtidos para a eficiência do painel fotovoltaico, ela não apresenta valores extremamente significativos em todo o intervalo considerado, ou seja, de janeiro a dezembro. Esse fato é importante, pois mostra que esses índices podem ser

utilizados para o dimensionamento otimizado de sistemas fotovoltaicos. Nossas análises refletem um percentual de variação do índice de eficiência ao longo do ano que é inferior ao encontrado por Cardona e Lopez (1999) e também por Camargo (2000), demonstrando que Campo Grande apresenta condições mais estáveis para esses tipos de sistemas fotovoltaicos. A eficiência média mensal dos módulos em condições reais de campo sofre, portanto, redução de 67.4% com relação ao padrão de teste STC, pois segundo dados do fabricante, a eficiência esperada para esses módulos é de 15.4%.

Energia fornecida pelo painel fotovoltaico

O comportamento da energia diária fornecida por um sistema fotovoltaico com relação à irradiância solar disponível no plano do painel e a sua temperatura, durante o período de 1º de janeiro a 31 de dezembro de 2014, foi analisado mediante regressão quadrática e regressão linear. Observou-se que a eficiência do painel está diretamente relacionada com o nível de irradiação e temperatura. Considerando a temperatura a descrição é feita por meio da equação quadrática $Y = -1.66 + 0.68 X - 0.0107 X^2$, apresentando coeficiente de determinação de 0.66%. “Y” é a eficiência energética e “X” a temperatura no plano de incidência do painel, com uma correlação de 88%.

Em função da irradiância, um sistema linear descreve o sistema satisfatoriamente através da equação $Y = 7.12 + 0.00797 X$, com um coeficiente de correlação de 59%. Esse comportamento ocorre porque a corrente fornecida pelo painel depende linearmente da irradiância, enquanto a tensão mantém-se praticamente constante, limitada pelas baterias e pelo controlador de carga.

Tal comportamento pode ser observado diariamente, comparando-se resultados obtidos para dias de céu limpo, parcialmente nublado e nublado, segundo classificação de Ricieri (1998), expressos na Figura 1(c). Verifica-se que, para qualquer tipo de cobertura do céu, os coeficientes de correlação encontrados foram superiores a 59%, afirmando que o comportamento generalizado para o ano também pode ser observado diariamente, em forma de um sistema linear. Isso permite, com pequena variação, a especificação desse tipo de painel fotovoltaico em função da irradiação global anual no plano do painel. Dessa forma, têm-se subsídios para a análise das características do painel e a determinação da sua eficiência.

Outros fenômenos também observados são as respostas da corrente e da tensão em função da irradiância. A intensidade de corrente que o painel fotovoltaico é capaz de

**Estudo da eficiência energética de células fotovoltaicas em função da radiação solar no
Centro-oeste brasileiro
Amaury de Souza; Flavio Aristone**

fornecer varia linearmente como função da intensidade solar, enquanto a tensão sofre uma variação bem menor, mantendo-se praticamente constante, pois seu valor é mais fortemente relacionado com a carga estável do sistema do que com o nível de irradiância. A média da energia produzida pelo painel permite que se estime a quantidade necessária de módulos para se alcançar uma dada potência, visando suprir as necessidades de cargas acopladas a sistemas fotovoltaicos e, dessa forma, estimar valores de custo do kWh produzido.

É possível, ainda, avaliar a viabilidade de implantação de sistemas híbridos, com mais de uma forma de fonte alternativa de energia, ou acoplamento com sistemas convencionais de energia elétrica. Deve-se ressaltar que essa produção de energia varia em função da inclinação do painel e que se pode otimizar o sistema de acordo com a exigência da carga acoplada aos módulos, o tipo de aplicação e a função da relação desta com o comportamento do clima durante o ano.

O módulo fotovoltaico estudado produziu, durante os 12 meses da pesquisa, a média mensal de 85.0 kWh. A menor produção de energia foi de 62.0 kWh durante o mês de junho e a maior, em janeiro, de 101.0 kWh. Considerando a média sazonal observa-se que a maior produção de energia ocorreu no verão, e a menor no inverno.

Aladali, Celik e Munir (2013) apresentam, em seu artigo, modelagem e teste experimental de conversão da radiação solar para superfícies horizontais e inclinadas, em função da temperatura da célula fotovoltaica, juntamente com uma análise de eficiência de conversão fotovoltaica. A modelagem e a validação dos modelos foram realizadas com base em medições extraídas de um sistema experimental situado ao sul da Turquia. Além disso a corrente, a tensão, a temperatura das células do módulo fotovoltaico e variáveis ambientais, tais como temperatura ambiente e irradiação solar, foram medidas e utilizadas para fins de validação. As análises de correlação da conversão de radiação solar em energia elétrica, para superfícies horizontais e inclinadas de painéis fotovoltaicos, indicam que o modelo utilizado é bem-sucedido. Os parâmetros de ajuste que encontrados são: coeficiente de determinação $R^2 = 0.97$, o erro de polarização $MBE = -2.2$. Da mesma forma, o modelo de temperatura da célula usada no presente artigo é validado pelos seguintes parâmetros de correlação: $R^2 = 0.97$, $MBE = 0.7$, e erro quadrático médio $RMSE = 2.1$.

Para Howard O. Njoku (2014), os potenciais de geração de energia elétrica fotovoltaica (PV), para a Nigéria, foram estimados utilizando uma relação linear simples entre o potencial de geração de energia, E / P_k (kWh / kWp) e a insolação (kWh / m² / dia). Foram utilizados dados de insolação diária e de média mensal incidente em superfícies

horizontais, obtidos a partir de banco de dados meteorológicos de superfície da NASA online e banco de dados de Energia Solar (NASA-SSE).

GREEN et al. (2014) consolidaram tabelas, confirmando eficiências para células solares e módulos. Eles apresentaram diretrizes para a inclusão dos resultados nessas tabelas, delineando novas entradas desde janeiro de 2014, que estão sendo revistos. Skoplaki e Palyvos (2009) apresentam uma breve discussão sobre a temperatura de funcionamento da base de silício, usada para a fabricação de células e módulos fotovoltaicos comerciais. Efeitos sobre o desempenho elétrico de instalações fotovoltaicas são discutidos juntamente com os aspectos térmicos dos principais métodos de notação potência / energia.

CONCLUSÃO

Através dos resultados obtidos foi possível concluir que a eficiência energética dos painéis fotovoltaicos é dependente da temperatura, existindo um valor que maximiza o resultado. Por outro lado, a eficiência energética medida ao longo do ano não sofre variação de amplitude considerável, sendo a média anual de 8.84% oscilante entre 8.65% e 9.17%. A energia média diária fornecida pelo sistema fotovoltaico é linearmente dependente da irradiação solar incidente no plano do painel solar, apresentando coeficiente de determinação linear maior de 59% para qualquer tipo de cobertura do céu. Já em função da irradiância e temperatura, o coeficiente de determinação chega a 88%. O módulo fotovoltaico apresentou como eficiência média um valor medido que é da ordem de 50% menor do que o valor apresentado pelo fabricante.

REFERÊNCIAS

ALDALI, Y.; CELIK, A.; MUNNER, T. Modeling and Experimental Verification of Solar Radiation on a Sloped Surface. Photovoltaic Cell Temperature and Photovoltaic Efficiency. **J. Energy Eng.**, v. 139, n. 1, p. 8-11, 2013. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)EY.1943-7897.0000082](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)EY.1943-7897.0000082)>. Acesso em: 06 jul. 2016.

BLANC, P.; GSHWIND, B.; LEF E.M.; WALD, L. The Helioclim project: surface solar irradiance data for climate applications. **Remote Sensing**, v. 3, p. 343-361, 2014.

CAMARGO, J. C. **Medidas do potencial fotovoltaico na região das bacias dos rios Piracicaba e Capivari**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – UNICAMP, Campinas, 2000.

CORSON, W. H. **Manual global de ecologia**. São Paulo: Augustus, 1993.

CARDONA, M. S.; LÓPEZ, M. L. Performance analysis of a grid-connected photovoltaic system. **Energy**, New York, v. 24, n. 1, p. 93-102, 1999.

DINIZ e SILVA, C.; SERAPHIM, O. J. Eficiência da conversão de radiação solar em energia elétrica por módulo fotovoltaico. **Energ. Agric.**, v. 20, n. 2, p. 1-13, 2005.

SKOPLAKI, E.; PALYVOS, J. A. On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations. **Solar Energy**, v. 83, p. 614-624, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2008.10.008>>. Acesso em: 06 jul. 2016.

EUMETSAT 2012. Disponível em: <<http://www.helioclim.org/>>. Acesso em: 06 jul. 2016.

FADARE, D. Modelling of solar energy potential in Nigeria using an artificial neural network model. **Appl. Energy**, v. 86, p. 1410-1422, 2009.

FIORENTINO, J. J.; SERAPHIM, O. J. Análise da eficiência de módulos fotovoltaicos instalados em condições normais de operação. **Energ. Agric.**, v. 20, n. 3, p. 89-112, 2005.

GNOATTO, E.; DALLACORT, R.; RICIERI, R. P.; SILVA, S. L.; FERRUZI, Y. Determinação da curva característica de um painel fotovoltaico em condições reais de trabalho. **Acta Sci. Technol**, v. 27, n. 2, p. 191-196, jul./dez. 2005.

GNOATTO, E.; DALLACORT, R.; RICIERI, R. P.; SILVA, S. L.; FERRUZI, Y. Eficiência de um conjunto fotovoltaico em condições reais de trabalho na região de Cascavel. **Acta Sci. Technol.**, v. 30, n. 2, p. 215-219, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4025/actascitechnol.v30i2.5496>>. Acesso em: 06 jul. 2016.

HADY, A. A.; AL-JANABY, M. The effects of Kuwaiti climate on the efficiency of photovoltaic cells. **Renewable Energy**, v. 14, n. 1, p. 173-178, 1998.

HOWARD, O. N. Solar Photovoltaic Potential in Nigeria. **Journal of Energy Engineering**, v. 140, n. 2, jun. 2014, CID: 04013020. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)EY.1943-7897.0000145](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)EY.1943-7897.0000145)>. Acesso em: 06 jul. 2016.

JEWER, P.; IQBAL, M.; KHAN, M. Wind energy resource map of Labrador. **Renewable Energy**, v. 30, p. 989-1004, 2005.

KHAN, M.; IQBAL, M.; MAHBOOB, S. A wind map of Bangladesh. **Renewable Energy**, v. 29, p. 643-660, 2004.

MARTIN, A. G.; KEITH, E.; YOSSHIHIRO, H.; WILHELM, W.; EWAN, D. Dunlop Solar cell efficiency tables (version 44). **Prog. Photovolt: Res. Appl.**, v. 14, n. 22, p. 701-710, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/pip.2525>>. Acesso em: 06 jul. 2016.

MIRJANIC, D.; MAKSIMOVIC, S.; DIVNIC, D. The study of energy efficiency of monocrystalline silicon modules. **Contemporary Materials, Renewable Energy Sources**,

v. 4, n. 2, p. 118-124, 2013. Disponível em:
<<http://dx.doi.org/10.7251/COMEN1302117M>>. Acesso em: 06 jul. 2016.

MONDAL, M.; DENICH, M. Assessment of renewable energy resources potential for electricity generation in Bangladesh. **Renewable and Sustainable Energy Rev.**, v. 14, p. 2401-2413, 2014.

MONDAL, M.; ISLAM, A. Potential and viability of grid-connected solar PV system in Bangladesh. **Renewable Energy**, v. 36, p. 1869-1874, 2011.

NASA. **Surface meteorology and Solar Energy (SSE)**, Release 6.0, 2012. Disponível em:
<<http://cosweb.larc.nasa.gov/sse/>>. Acesso em: 10 out. 2016.

OVERSTRAETEN, R. W.; MERTENS, R. P. **Physics, technology and use of photovoltaics**. London: Modern Energy Studies, 1996.

PALZ, W. **Energia solar e fontes alternativas**. São Paulo: Hemus, 1995.

PARRETA, A. [et al.]. Effects of solar irradiation conditions on the outdoor performance of photovoltaic modules. **Optics Communications**, v. 153, n. 1, p. 153-163, 1998.

PVGIS. Disponível em: <<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?map=africa>>. Acesso em: 18 jul. 2016.

RICIERI, R. P. Modelos de estimativa de avaliação dos métodos de medida da radiação solar difusa. 1998. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita, 1998.

SANDNES, B.; RESKSTAD, J. A photovoltaic/thermal (PV/T) collector with a polymer absorber plate. Experimental study and analytical model. **Sol. Energy**, v. 72, n. 1, p. 63-73, 2002.

SERAPHIM, O. J.; SIQUEIRA, J. A. C.; DINIZ e SILVA, C.; FIORENTINO, J. J.; ARAÚJO, J. A. B. Eficiência energética de módulos fotovoltaicos mono e poli-cristalinos em função da radiação solar global. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA, 5., 2004, Campinas. **Anais...** Campinas: UNICAMP, 2004.

SoDa Service. 2012. Disponível em: <http://www.soda-is.com/eng/services/services_radiation_free_eng.php>. Acesso em 25 mar. 2016.

SOLAREX. **Photovoltaic modules**. Disponível em: <<http://www.solarex.com>>. Acesso em: 05 out. 2016.

TREBLE, F. C. Solar cells. **IEE Rev.**, v. 127, n. 8, p. 505-527, 1980.

SURI, M.; REMUND, J.; CEBECAUER, T.; DUMORTIER, D.; WALD, L.; HUDL, T.; BLANC, P. First steps in the cross-comparison of solar resource spatial products in Europe. **Proceeding of the EUROSUN, INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOLAR HEATING, COOLING AND BUILDINGS**, 1., 2008, Lisbonne. **Anais eletrônicos...** Lisbonne: ISES, 2008. p. 7-10. Available in: <<https://hal-mines-paristech.archives-ouvertes.fr/hal-00587966>>. Access in: 27 July 2017.

Estudo da eficiência energética de células fotovoltaicas em função da radiação solar no
Centro-oeste brasileiro

Amaury de Souza; Flávio Aristone

TAN, Z.; ZHANG, H.; XU, J.; WANG, J.; YU, C.; ZHANG, J. Photovoltaic power generation in China: Development potential, benefits of energy conservation and emission reduction. **J. Energy Eng.**, v. 138, n. 2, p. 73-86, 2012.

US Department of Commerce. **National Climate Data Center**. 2012. Disponível em: <<http://www.ncdc.noaa.gov/oa/ncdc.html>>. Acesso em: 01 out. 2106.

VAN DYK, E. E. [et al.]. Long-term monitoring of photovoltaic devices. **Renewable Energy**, v. 22, p. 183-97, 2002.

ZAWILSKA, E.; BROOKS, M. An assessment of the solar resource for Durban, South Africa. **Renewable Energy**, v. 36, p. 3433-3438, 2011.

Recebido para avaliação em 21/06/2016

Aceito para publicação em 19/04/2017