

EFEITOS DA TEMPERATURA AMBIENTE E DA VELOCIDADE DO VENTO NO DESEMPENHO DE MÓDULOS SOLARES FOTOVOLTAICOS

EFFECTS OF ENVIRONMENTAL TEMPERATURE AND WIND SPEED IN THE PERFORMANCE OF PHOTOVOLTAIC SOLAR MODULES

EFFECTOS DE LA TEMPERATURA AMBIENTAL Y LA VELOCIDAD DEL VIENTO EN EL DESEMPEÑO DE LOS MÓDULOS SOLARES FOTOVOLTAICOS

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

Ana Paula Garcia Oliveira

Doutora em Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS.
Professora do Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional da Universidade Anhanguera-Uniderp/Campo Grande – MS.
apg.bio@gmail.com

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

Vanise dos Santos Rodrigues

Doutoranda em Engenharia Elétrica pelo Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará – ITEC/UFPA. Bolsista da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM.
vanise_santosrodrigues@hotmail.com

Gabriel Ozório Linhares Mello

Mestrando em Ciência dos Materiais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS.
engambiental.gabriel@gmail.com

Recebido para avaliação em 15/03/2018; Aceito para publicação em 20/12/2018.

RESUMO

Os efeitos da temperatura ambiente e da velocidade dos ventos na análise de desempenho de um módulo fotovoltaico solar de silício monocristalino foram analisados em Campo Grande, MS, para o período janeiro a dezembro de 2017. O trabalho de pesquisa foi realizado monitorando a variação da eficiência do módulo em função desses parâmetros. Uma análise estatística é apresentada e o resultado indica que os valores do coeficiente de correlação são 96% e 68% para a temperatura ambiente e para velocidade dos ventos, respectivamente, considerando o nível de confiança de 95%. Os resultados mostram que existe uma forte relação linear positiva entre a eficiência do módulo e a temperatura ambiente, e uma relação linear positiva moderada com a velocidade dos ventos.

Palavras-chave: Módulo Fotovoltaico; Predição de Eficiência; Condições Climáticas.

ABSTRACT

The effects of ambient temperature and wind velocity on the performance analysis of a monocrystalline silicon solar photovoltaic module were analyzed in Campo Grande, MS, from January to December 2017. The research work was carried out by monitoring the efficiency variation of the module according to these parameters. A statistical analysis is presented and the result indicates that the values of the correlation coefficient are 96% and 68% for the ambient temperature and for wind speed, respectively, considering the 95% confidence level. The results show that there is a strong positive linear relationship between the modulus efficiency and the ambient temperature, and a moderate positive linear relation with the velocity of the winds.

Keywords: Photovoltaic Module; Prediction of Efficiency; Climate Conditions.

RESUMEN

Los efectos de la temperatura ambiente y de la velocidad de los vientos en el análisis de desempeño de un módulo fotovoltaico solar de silicio monocristalino fueron analizados en Campo Grande, MS, para el período enero a diciembre de 2017. El trabajo de investigación fue realizado monitoreando la variación de la eficiencia del módulo en función de estos parámetros. Se presenta un análisis estadístico y el resultado indica que los valores del coeficiente de correlación son 96% y 68% para la temperatura ambiente y para la velocidad de los vientos, respectivamente, considerando el nivel de confianza del 95%. Los resultados muestran que existe una fuerte relación lineal positiva entre la eficiencia del módulo y la temperatura ambiente, y una relación lineal positiva moderada con la velocidad de los vientos.

Palabras clave: Módulo Fotovoltaico; Predicción de Eficiencia; Condiciones Climáticas.

INTRODUÇÃO

A necessidade humana de consumo de energia é parte integrante da vida cotidiana, e o seu suprimento deve ser seguro e sustentável. A demanda de energia pela população mundial está aumentando e essas crescentes necessidades colocam muita pressão sobre as fontes de energia. Assim, as fontes de energia alternativas, capazes de fornecer energia de forma limpa e sustentável, têm atraído muita atenção por parte de toda a sociedade, que busca formas mais apropriadas de suprir suas necessidades.

A escolha natural de uma fonte de energia limpa, que é abundante e pode fornecer segurança para o futuro desenvolvimento e crescimento da humanidade, é o Sol. Além da sua mais evidente forma que é a radiação luminosa, o Sol também é responsável direto pela energia eólica. O uso da energia eólica é globalmente considerado como uma tecnologia alternativa bem-sucedida para geração de energia elétrica. Recentemente tem havido um enorme crescimento na compreensão do princípio operacional dos dispositivos fotovoltaicos, o que levou a um rápido aumento na eficiência de conversão de energia de tais dispositivos. A temperatura ambiente influencia diretamente a temperatura das células solares e, portanto, a sua eficiência na geração de energia. Fesharaki, V. J., Dehghani, M. e

Fesharaki, J. J. (2011) indicaram que a eficiência do módulo fotovoltaico pode ser modificada quando se altera a temperatura ao seu redor.

Os módulos solares funcionam melhor em certas condições climáticas estáveis e com baixas temperaturas. No entanto, como as condições climáticas estão sempre mudando, a maioria dos módulos fotovoltaicos solares não operam em condições otimizadas de operação. O desempenho de um sistema fotovoltaico não depende apenas das suas características básicas, mas também de alguns problemas ambientais. Uma dessas questões ambientais, como a temperatura ambiente, desempenha um papel importante no processo de conversão fotovoltaica (SIDDIQUI; BAJPAI, 2012a).

Os módulos solares são fabricados nas condições padrões de teste, ou STC na sigla em inglês, mas quando eles são utilizados para fins domésticos em uma área específica, questões climáticas, como a temperatura ambiente e a velocidade dos ventos, afetam o desempenho do módulo nessa localidade. Assim, é correto afirmar que o desempenho de módulos solares varia com a localização real e as condições climáticas predominantes às quais eles estão sujeitos (ETTAH; ENO; UDOIMUK, 2009). A intensidade da radiação solar muda em todos os instantes do dia, então é natural que a produção de energia das células solares também mude. Observou-se que a potência fornecida pelos sistemas fotovoltaicos em um determinado instante é função dos fatores climáticos (GXASHEKA; VAN DYK; MEYER, 2005; OMUBO-PEPPLE; ISRAEL-COOKEY; ALAMINOKUMA, 2009).

Os dois fatores climáticos que mais afetam o desempenho dos sistemas FV, são temperatura ambiente e radiação, porem, existem outros fatores climáticos importantes que podem influenciar na produção de energia elétrica gerada (ABDELKADER; AL-SALAYMEH; AL-HAMAMRE; FIRAS, 2010). Tipos variados de módulos fotovoltaicos foram estudados em diferentes situações climáticas e regiões, assim como da velocidade e direção do vento, da nebulosidade, das precipitações, da umidade, e até do albedo (ARMSTRONG; HURLEY, 2010a).

O objetivo foi de estudar os efeitos da temperatura ambiente e da velocidade do vento no desempenho de módulos solar fotovoltaicos

MATERIAIS E MÉTODOS

As especificações fornecidas pelos fabricantes são, em geral, insatisfatórias quando se analisa o desempenho de sistemas ou painéis fotovoltaicos (PV); a razão é muito

simples, parâmetros climáticos, e até mesmo mais gerais, podendo ser chamados de parâmetros ambientais locais devem ser levados em conta (SIDDIQUI; BAJPAI, 2012b). Nenhum estudo para verificar a validade das especificações fornecidas por fabricantes de PV foi apresentado para a região Centro-Oeste do Brasil, buscando esclarecer se influências das condições ambientais reais ainda fazem com que os resultados estejam dentro das margens de desvios dos valores padrões.

Souza e Aristone (2018) estudaram os módulos dos sistemas de iluminação solares residenciais e comerciais usados em Campo Grande – MS, ou seja, aqueles que são de fato autorizados pela autoridade governamental a serem instalados nas áreas rurais e urbanas. Os estudos são realizados em condições bastante diferentes dos implantados comercialmente, pois uma vez que os módulos são instalados, torna-se inviável o monitoramento de seu desempenho.

O desempenho dos sistemas fotovoltaicos é bastante afetado pela temperatura, mas a sua performance total também depende de outras variáveis ambientais. Os resultados a serem apresentados visam avaliar a influência da temperatura e também da velocidade dos ventos no quesito rendimento da conversão de energia solar em energia elétrica. Já foi utilizada uma análise estatística para avaliar como esses dois parâmetros influenciam o rendimento do sistema fotovoltaico.

O sistema fotovoltaico estudado é constituído por três módulos fotovoltaicos de 100 W_p conectados em paralelo, instalados com suas faces voltadas para o norte geográfico e com um ângulo de inclinação de 33° (Latitude + 10°). Os dados são fornecidos pelo fabricante para a condição padrão de operação, radiação solar de 1000 W/m² e temperatura de 25°, sujeitas a variações de 10% e uma insolação média diária de 4 horas e meia de pico.

As características elétricas fornecidas são: tensão nominal 12 V; potência máxima 100 W_p; corrente de curto circuito 6.5 A; tensão do circuito aberto 21.6 V; corrente de potência máxima 5.74 A; tensão de potência máxima 17.4 V. As características físicas são: número de células em série igual a 36; número de células em paralelo igual a 2; dimensões C x L x H (mm) 1310 mm de comprimento x 652 mm de largura x 33.8 mm de altura, com peso equivalente a 11 kg.

Para determinar a eficiência do sistema fotovoltaico foram realizadas as seguintes medidas no sistema: Tensão de circuito aberto do sistema (V_{oc}), em Volts; Corrente de curto-circuito do sistema (I_{sc}), em Amperes; Irradiância G_i – paralela ao plano dos módulos (33°), em $W \cdot m^{-2}$; G_h - no plano horizontal, em $W \cdot m^{-2}$; Temperaturas no sistema T_c – temperatura na superfície (vidro) dos módulos que foi considerada como a

temperatura na célula, em °C; T_a - temperatura ambiente, em °C; Velocidade do vento (V_w), em $m \cdot s^{-1}$. As medidas dos parâmetros elétricos foram feitas através de um sistema de comando controlado por relés, instalados para desconectar a carga dos módulos fotovoltaicos e obter a tensão de circuito aberto.

Essas medidas foram realizadas em intervalos de 1 hora. A coleta e armazenamento dos dados eram enviados pelos sensores meteorológicos: pluviômetro, piranômetro, anemômetro, termômetro para medir a temperatura ambiente e no módulo/célula. Os sensores elétricos mediam a tensão de circuito aberto e a corrente de curto circuito dos módulos e correntes e tensões de entrada e saída dos controladores de cargas e inversores. Um equipamento *datalogger* foi utilizado para coletar os dados.

O *datalogger* também foi empregado para comandar a abertura e fechamento dos relés, com a finalidade de efetuar a leitura da tensão de circuito aberto e corrente de curto circuito dos módulos. O sistema foi programado para realizar leituras periódicas dos dados meteorológicos a cada 10 segundos, e apresentar a média dos valores em intervalos de uma hora. As leituras da tensão de circuito aberto e da corrente de curto circuito dos módulos fotovoltaicos também foram realizadas com intervalo de uma hora.

A fim de estimar a produção de energia dos módulos fotovoltaicos, é necessário estimar a temperatura do módulo em função da temperatura ambiente (T_a), da velocidade do vento e da irradiância total. A eficiência diária (η) do módulo fotovoltaico no intervalo (i) da aferição pode ser determinada a partir da seguinte relação:

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{A \sum_{i=1}^n E_i}$$

Onde: P_i é a potência do módulo em Watts; E_i a energia gerada pelo módulo em Watts.s; e A é a área de módulo fotovoltaico em metro quadrado.

Os valores de eficiência foram obtidos para cada dia por intervalos de uma hora, possibilitando o cálculo dos valores médios mensais por integração simples. A Tabela 1 mostra a variação dos valores médios mensais da temperatura ambiente e da velocidade dos ventos entre janeiro e dezembro de 2017, e mostra, ainda, os valores médios mensais da eficiência do módulo fotovoltaico, que foram calculados para esse mesmo intervalo de tempo.

No presente estudo, a eficiência de módulos fotovoltaicos é avaliada somente em função da temperatura ambiente e da velocidade dos ventos. Outras formas de correlação dessa eficiência com diferentes parâmetros são desconsideradas para as análises apresentadas, ou seja, o coeficiente de correlação simples foi determinado considerando-se a eficiência como variável dependente e a temperatura ambiente e velocidade dos ventos como variáveis independentes separadamente.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na tabela 1 são apresentados os resultados obtidos para o período de janeiro a dezembro de 2017. RSG significa Radiação Solar Global, η é a eficiência do painel fotovoltaico, v é a velocidade média dos ventos, e MT diz respeito à temperatura ambiente média.

Tabela 1 – Variação da eficiência com temperatura ambiente e velocidade do vento para o período de janeiro a dezembro de 2017

Mês	RSG (W/m ²)	H	v (m/s)	MT min	MT max
Janeiro	210.16	8.16	2.7	21.4	30.7
Fevereiro	229.34	8.27	2.8	20.8	31.3
Março	222.71	8.03	2.79	20.6	31.7
Abril	189.74	7.94	3.05	19.7	30.3
Mai	155.79	7.59	3.34	15.6	26.5
Junho	154.46	7.46	3.43	16.1	27.5
Julho	184.57	7.69	4.11	15.5	27.7
Agosto	204.18	7.78	4.34	16.9	30.5
Setembro	215.11	7.98	4.64	18.0	31.4
Outubro	230.55	7.99	3.79	20.3	31.5
Novembro	244.13	8.09	3.43	20.4	31.2
Dezembro	252.82	8.24	3.08	20.9	31.2

Fonte: Autores, 2017.

Na Figura 1 está representada graficamente a variação média mensal da temperatura ambiente para o período de janeiro a dezembro de 2017. A partir da figura observa-se que a temperatura ambiente obteve valores máximos nos meses de janeiro, fevereiro, março e

dezembro com o maior pico observado no mês de março. Os valores máximos de temperatura ambiente são devidos à alta radiação solar. Os valores mínimos de temperatura ambiente são registrados nos meses de maio, junho e julho, sendo o pico mínimo observado no mês de maio. A temperatura permanece quase a mesma durante o resto dos meses.

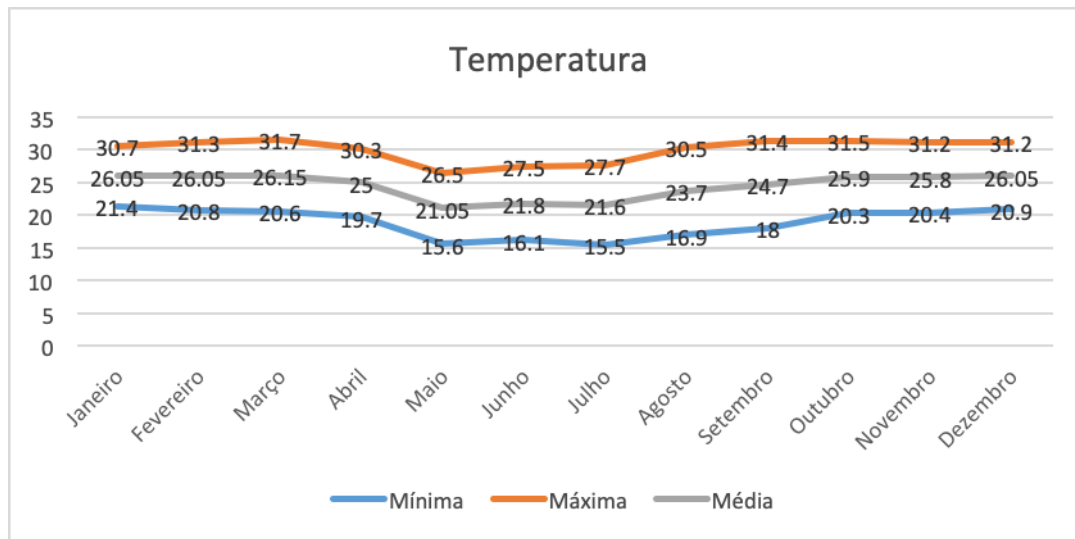


Figura 1 – Variação média mensal da temperatura ambiente para o ano 2017.
Fonte: Autores 2017.

Na Figura 2 está representada a variação média da velocidade dos ventos para o período de janeiro a dezembro de 2017. O gráfico indica uma ligeira redução na velocidade dos ventos nos meses de janeiro, fevereiro e março. O gráfico mostra ainda o aumento da velocidade dos ventos a partir do mês de abril até setembro, e a sua diminuição nos demais meses. O maior pico de velocidade dos ventos se dá no mês de setembro.

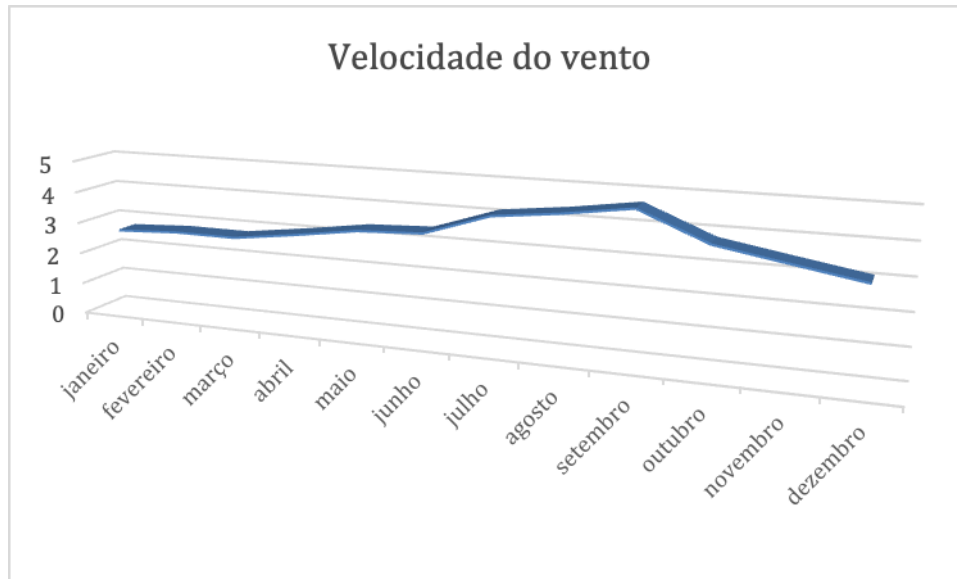


Figura 2 – Variação média da velocidade do vento para o ano 2017.
Fonte: Autores, 2017.

Na Figura 3, o gráfico de superfície revela que a temperatura ambiente estimada, a velocidade dos ventos, e a eficiência do módulo estão intimamente relacionadas. Pode-se facilmente concluir qualitativamente, a partir dessa figura, que a correlação entre a eficiência do módulo e a temperatura ambiente / velocidade dos ventos não é linear.

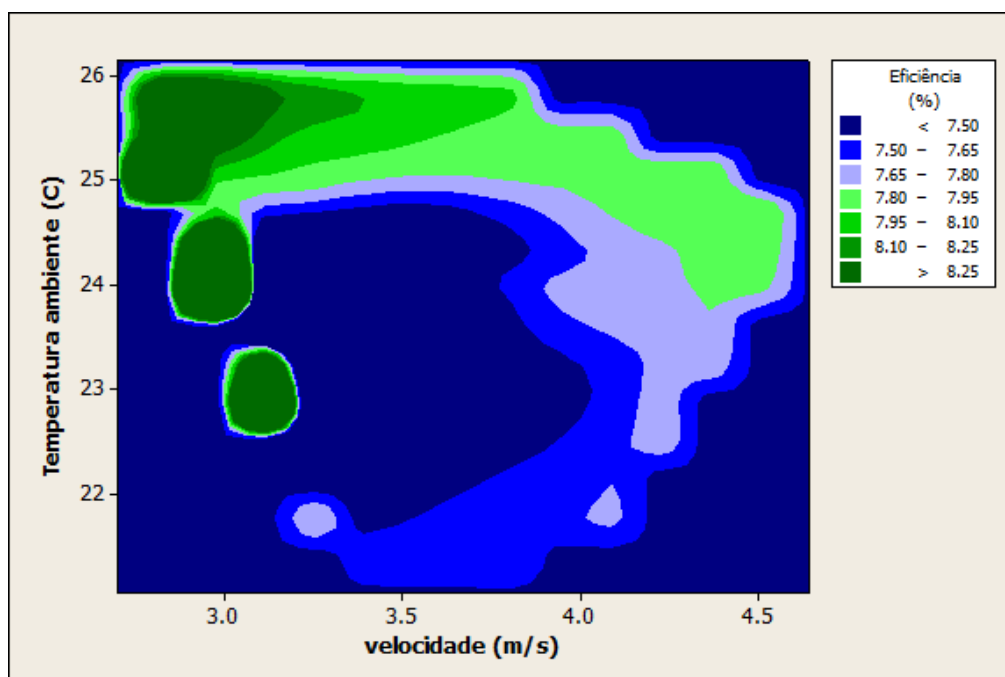


Figura 3 – Valores médios mensais da eficiência do módulo solar para o ano 2017.
Fonte: Autores, 2017.

Na Figura 4 está representada a variação dos valores médios mensais da eficiência do módulo fotovoltaico em relação à temperatura ambiente durante o período de estudo,

em diferentes formas de análises. Esses gráficos indicam que essas duas variáveis estão correlacionadas entre si. A análise estatística mostra que o valor do coeficiente de correlação é igual a 0.9242, caracterizando a existência de uma forte correlação positiva entre a temperatura ambiente e a eficiência do painel.

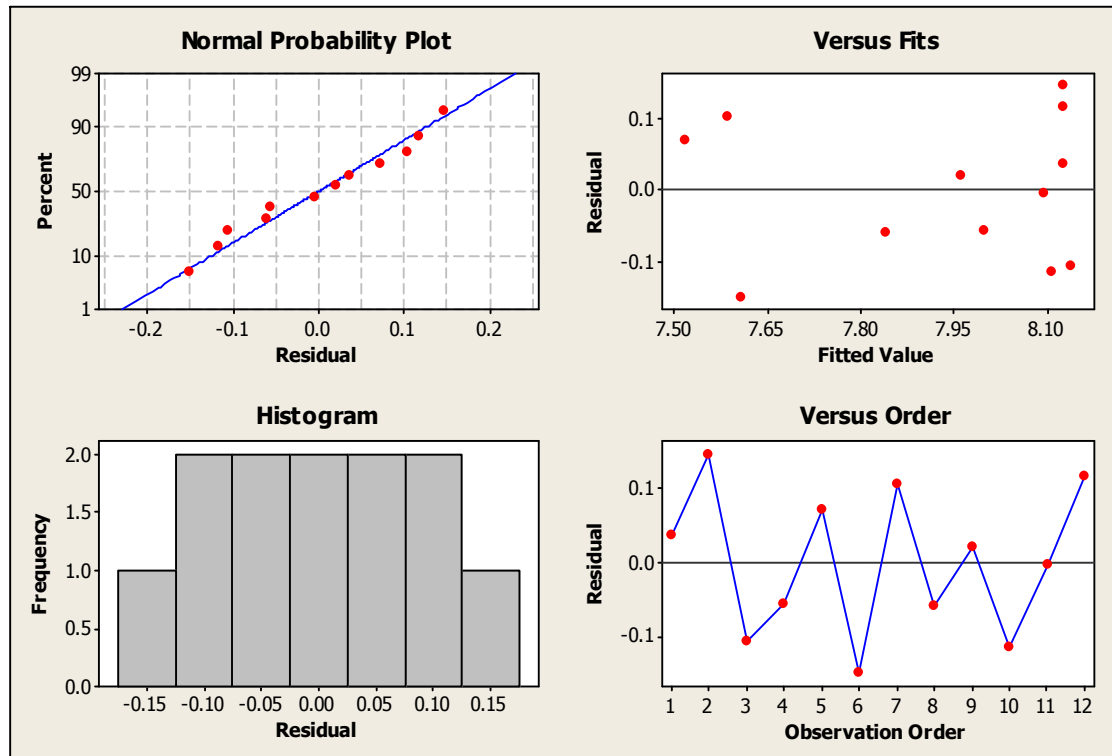


Figura 4 – Gráficos e valores residuais dos desvios observados em termos de valores ajustados, histograma da variável resposta do modelo da eficiência do módulo solar e da temperatura ambiente para o ano 2017. Fonte: Autores, 2017.

A equação de regressão obtida a partir da análise considera a temperatura ambiente como variável independente e a eficiência do módulo solar fotovoltaico como variável dependente. O valor do coeficiente de determinação obtido é de 0.838, o que indica que 83.8% da variação total pode ser explicada pela relação linear entre esses dois parâmetros. Em outras palavras, a linha de regressão passa por quase todos os pontos, o que significa que existe uma proporcionalidade direta entre as duas variáveis, ou simplesmente:

$$\eta = 4.97 + 0.121 \times T_a$$

Tabela 2 – Resultados para a análise estatística feita a partir dos dados obtidos da correlação entre temperatura ambiente e eficiência do módulo solar fotovoltaico.

Preditor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	4.9724	0.3902	12.74	0.000
Temperatura ambiente (°C)	0.12098	0.01589	7.61	0.000
S = 0.103108	R-Sq = 85.3%	R-Sq (adj) = 83.8%		

Fonte: Autores, 2017.

Na Figura 5 estão representadas várias análises da variação da eficiência média mensal do módulo fotovoltaico em relação à velocidade dos ventos, para o período de estudo. O valor do coeficiente de correlação obtido é igual a -0.415, ou seja, existe uma correlação negativa moderada entre a velocidade média dos ventos e eficiência do módulo fotovoltaico. A equação de regressão obtida a partir da análise estatística considera a velocidade como variável independente e a eficiência do módulo solar fotovoltaico como variável dependente. Nesse caso, o coeficiente de determinação vale 8.9%, o que explica uma relação linear negativa moderada entre a eficiência do módulo e a velocidade do vento, uma vez que 81.1% da variação total ocorre por conta de outros efeitos não associados. A equação de regressão é:

$$\eta = 8.51 - 0.166 \times vel \left(\frac{m}{s} \right) \quad (2)$$

O resumo da análise feita está apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados para a análise estatística feita a partir dos dados obtidos da correlação entre velocidade média dos ventos e eficiência do módulo solar fotovoltaico.

Preditor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	8.5106	0.4055	20.99	0.000
Velocidade dos ventos (m/s)	-0.1664	0.1155	-1.44	0.18
S = 0.244614	R-Sq = 17.2%	R-Sq (adj) = 8.9%		

Fonte: Autores, 2017.

Foram analisadas diferentes equações lineares e não-lineares para melhor descrever a correlação entre o desempenho do módulo fotovoltaico, em termos de potência elétrica gerada, com a temperatura de operação. Sansui et al. (2011) realizaram análises estatísticas

onde as condições favoráveis de conversão de energia solar em eletricidade foram mostradas. Em um estudo recente, análises estatísticas foram feitas usando o conceito de correlação, considerando o limite de confiança de 95% para esses dois parâmetros ambientais.

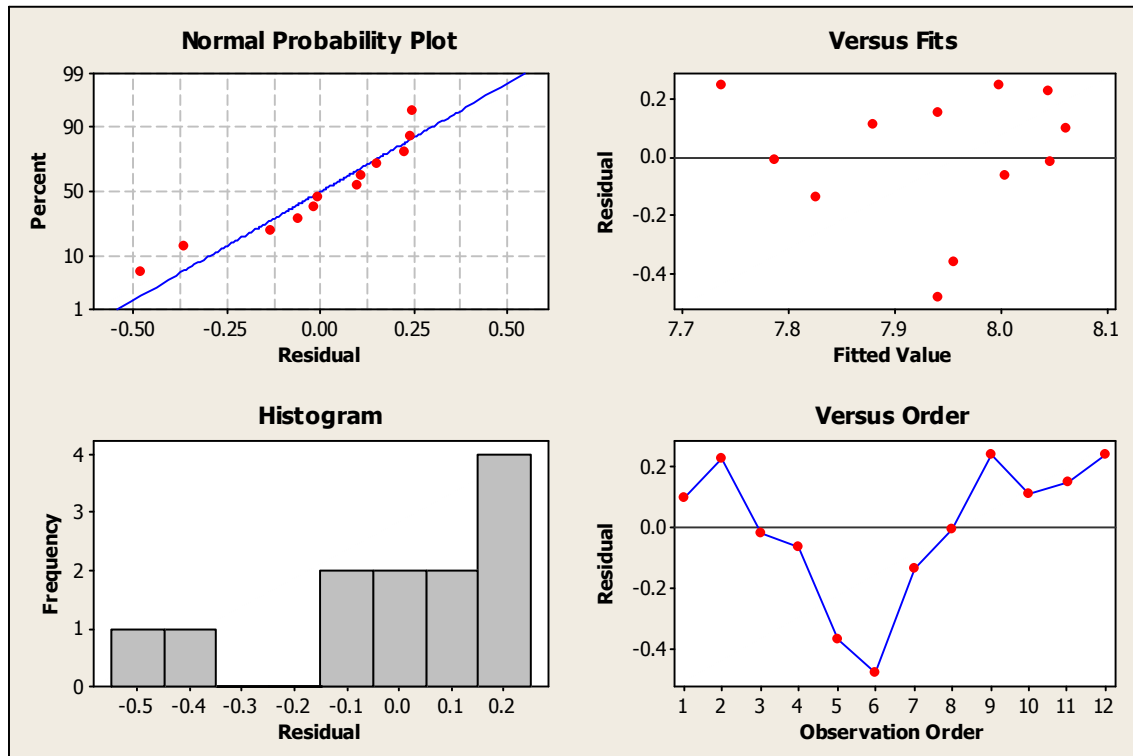


Figura 5 – Gráficos de medidas e análises estatísticas para: valores residuais dos desvios observados em termos de valores ajustados; e histograma da variável resposta do modelo da eficiência do módulo solar e da velocidade dos ventos para o ano 2017.

Fonte: Autores, 2017.

A localização geográfica espacial de Campo Grande dentro do estado de Mato Grosso do Sul faz com que a temperatura ambiente seja diferente da área plana em diferentes estações do ano. As análises feitas para este trabalho foram realizadas por um período de doze meses exatamente para suplantar os efeitos sazonais.

O desempenho dos módulos fotovoltaicos geralmente é especificado para as condições de teste padrão (STC): incidência de radiação de 1000 W/m^2 , 1.5 AM e $25 \text{ }^\circ\text{C}$. No entanto, o desempenho em condições reais de campo difere do que é sugerido, e seu conhecimento é de grande importância para a seleção correta de produtos. Conhecer a eficiência de forma mais precisa, e rendimento energético, é fundamental.

O processo de conversão fotovoltaica a partir da radiação instantânea depende da temperatura dos módulos. A temperatura do módulo, por sua vez, depende das condições climáticas, por exemplo, da temperatura ambiente, da irradiação solar e da velocidade

média dos ventos, e também depende das características técnicas dos módulos fotovoltaicos, como, por exemplo, os materiais usados na sua fabricação, o tipo do painel, a montagem utilizada e a ventilação a qual ele está exposto.

Vários estudos detalhados foram realizados e diversos modelos foram propostos para buscar uma melhor caracterização e previsão do desempenho do módulo fotovoltaico sujeitos a amplas variedades de condições climáticas (ARMSTRONG; HURLEY, 2010b; SKOPLAKI; BOUDOUVIS; PALYVOS, 2008). No entanto, a maioria desses estudos foram feitos com base em medidas internas controladas, por exemplo, o fluxo de vento originado por ventilares sobre a superfície do painel solar.

O impacto da velocidade dos ventos é, em geral, negligenciado em todos os cálculos e análises equivalentes às que são aqui apresentadas. Isso se deve à falta de dados específicos sobre o efeito na determinação da temperatura final dos módulos e, conseqüentemente, na sua eficiência energética (SKOPLAKI; BOUDOUVIS; PALYVOS, 2008; KOEHL; HECK; WIESMEIER; WIRTH, 2011; SOUZA, 2015; SOUZA, FERNANDES; ALBREZ; GALVINIO, 2012; SOUZA; ARISTONE; FERRARI; REIS, 2016; SOUZA; ARISTONE, 2016). É importante mencionar que a abordagem padrão mais comumente utilizada para estimar/prever a temperatura das células de operação não inclui o efeito de resfriamento dos ventos, sendo limitada apenas a medidas da temperatura do ar ambiente e da irradiação solar sobre o plano do módulo fotovoltaico.

CONCLUSÃO

Os efeitos da temperatura no desempenho do módulo fotovoltaico foram investigados neste trabalho. Concluiu-se que a correlação entre a eficiência energética do módulo e a temperatura ambiente é mais importante que a correlação entre essa mesma eficiência e velocidade média dos ventos. A temperatura ambiente apresenta uma correlação positiva com a eficiência do sistema fotovoltaico, ou seja, ela tem um papel preponderante na análise de desempenho do sistema. Existe uma proporcionalidade direta entre a eficiência do sistema fotovoltaico e a temperatura ambiente onde o sistema se encontra instalado, levando à conclusão que ela é preferível para prever o desempenho do módulo fotovoltaico do que o conhecimento da velocidade dos ventos. É fato que, para as usinas já instaladas em diferentes áreas rurais do estado, verifica-se que a potência de saída gerada não atende o nível desejado. Certamente esse fato é decorrência das previsões terem sido feitas com base nos dados fornecidos pelos fabricantes e que foram obtidos em

condições de STC. O desvio da condição de teste padrão afeta a geração de potência de saída. Em suma, é importante ter em conta que, ao se projetarem edifícios verdes, parâmetros ambientais devem ser considerados no momento de se fazer cálculo de potência útil do sistema instalado. Não se deve considerar apenas a orientação dos fabricantes dos módulos fotovoltaicos.

REFERÊNCIAS

ABDELKADER, M. R.; AL-SALAYMEH, A.; AL-HAMAMRE, Z.; FIRAS, S. A comparative analysis of the performance of monocrystalline and multicrystalline PV cells in semiarid climate conditions: the case of Jordan. **Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering**, v. 4, p. 543-552, 2010.

ARMSTRONG, S.; HURLEY, W. G. A new methodology to optimize solar energy extraction under cloudy conditions. **Renewable Energy**, v. 35, n. 4, p. 780-787, 2010a.

ARMSTRONG, S.; HURLEY, W. G. A thermal model for photovoltaic panels under varying atmospheric conditions. **Appl. Therm. Eng.**; v. 30, n. 11,12, p. 1488-1495, 2010b.

ETTAH, E. B.; ENO, E. E.; UDOIMUK, A. B. The effects of solar panel temperature on the power output efficiency Calabar, Nigeria. **Journal of Association of Radiographers of Nigeria**, v. 23, p. 16-22, 2009.

FESHARAKI, V. J.; DEHGHANI, M.; FESHARAKI, J. J. The effect of temperature on photovoltaic cell efficiency. In: PROCEEDINGS OF THE 1st INTERNATIONAL CONFERENCE ON EMERGING TRENDS IN ENERGY CONSERVATION (ETEC '11), 2011, Tehran. **Anais...** Tehran, Iran: ETEC, november 2011.

GXASHEKA, A. R.; VAN DYK, E. E.; MEYER, E. L. Evaluation of performance parameters of PV modules deployed outdoors. **Renewable Energy**, v. 30, n. 4, p. 611-620, 2005.

KOEHL, M.; HECK, M.; WIESMEIER, S.; WIRTH, J. Modeling of the nominal operating cell temperature based on outdoor weathering. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 95, Issue 7, p. 1638-46, July 2011.

OMUBO-PEPPLE, V. B.; ISRAEL-COOKEY, C.; ALAMINOKUMA, G. I. Effects of temperature, solar flux and relative humidity on the efficient conversion of solar energy to electricity. **European Journal of Scientific Research**, v. 35, n. 2, p. 173-180, 2009.

SANSUI, Y. K.; FAJIMI, G. R.; BABATUNDE, E. B. Effects of ambient temperature on the performance of a photovoltaic solar system in a tropical area. **The Pacific Journal of Science and Technology**, v. 12, p. 176-180, 2011.

SIDDIQUI, R.; BAJPAI, U. Deviation in the performance of solar module under climatic parameter as ambient temperature and wind velocity in composite climate. **International Journal of Renewable Energy Research**, v. 2, n. 3, p. 486-490, 2012a.

SIDDIQUI, R.; BAJPAI, U. Statistical analysis of solar photovoltaic module output with temperature, humidity and wind velocity in composite climate. **European Journal of Scientific Research**, v. 80, n. 4, p. 447-456, 2012b.

SKOPLAKI, E.; BOUDOUVIS, A. G.; PALYVOS, J. A. A simple correlation for the operating temperature of photovoltaic modules of arbitrary mounting. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 92, p. 1393-1402, 2008.

SOUZA, A. Análises Multivariadas, Análises de Componente Principal (Acp) e de Agrupamento para Identificar Futuros Sítios de Geração de Energia Eólica. **Interfaces Científicas – Saúde e Ambiente**, v. 3, p. 09-24, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.17564/2316-3798.2015v3n3p9-24>>. Acesso em: 31 dez. 2018.

SOUZA, A.; FERNANDES, W. A.; ALBREZ, E. A.; GALVINIO, J. D. Análise de agrupamento da precipitação e da temperatura no Mato Grosso do Sul. **Acta Geográfica**, Boa Vista, v. 6, n. 12, p. 109-124, 2012.

SOUZA, A.; ARISTONE, F. Estudo da eficiência energética de células fotovoltaicas em função da radiação solar no Centro-Oeste brasileiro. **InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**, v. 2, n. 7, p. 115-128, set./dez. 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.18764/2446-6549.v2n7p115-128>>. Acesso em: 31 dez. 2018.

SOUZA, A.; ARISTONE, F.; FERRARI, L. F.; REIS, R. R. Modelling of the Photovoltaic Cell Temperature According to the Ambient Temperature, Wind Speed and Solar Irradiance. **Revista Brasileira de Energia**, v. 5, p. 504-518, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5380/rber.v5i4.46453>>. Acesso em: 31 dez. 2018.

SOUZA, A.; ARISTONE, F. Um estudo da temperatura e da irradiação solar em células fotoelétricas. **TECNO-LÓGICA** (Santa Cruz do Sul. Online), v. 22, p. 194-200, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.17058/tecnolog.v22i2.11378>>. Acesso em: 31 dez. 2018.