

RESULTADOS DO PRIMEIRO ANO DE OPERAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS COM SEGUIMENTO EM DOIS EIXOS E MÓDULOS COM E SEM CONCENTRAÇÃO

Mauricio A. Rodriguez – mauricio.cas@usp.br

Marcelo P. Almeida – marcelopa@iee.usp.br

Aimé Pinto – afpinto@iee.usp.br

Alex R. A. Manito – alex@iee.usp.br

Roberto Zilles – zilles@iee.usp.br

Universidade de São Paulo - Instituto de Energia e Ambiente – Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos

José F. R. da Silva – jose.resende@elektro.com.br

ELEKTRO

Resumo. *Este trabalho analisa o desempenho operacional de dois sistemas fotovoltaicos conectados à rede com seguimento em dois eixos, sendo um com módulos planos convencionais e o outro com módulos de concentração, instalados em Ilha Solteira, interior de São Paulo. A análise busca comparar o desempenho dos sistemas, fornecendo, dessa forma, informações importantes para a utilização da tecnologia de concentração no país, e, em especial, no Oeste do estado de São Paulo.*

Palavras-chave: *Sistema fotovoltaico conectado à rede, seguidor solar, sistema fotovoltaico com concentração.*

1. INTRODUÇÃO

A geração fotovoltaica no mundo é realizada predominantemente com módulos planos de silício cristalino ou de filmes finos montados em estruturas fixas. O estudo de sistemas com seguimento solar, elementos ópticos para concentrar a radiação solar e células especiais para uso sob alta concentração vem sendo realizado durante os últimos 35 anos (Mosher e Boese, 1977), (Sinton e Kwark, 1986) e (Schult e Neubauer, 2009).

Há cerca de 10 anos, as tecnologias aplicadas aos sistemas fotovoltaicos com concentração (SFC) começaram a atrair a atenção de entidades de pesquisa e indústrias, resultando na instalação de usinas fotovoltaicas com potência da ordem de megawatt (Bett e Dimroth, 2004). Esse processo fez com que os SFCs passassem da fase de estudo de desempenho em protótipos para a fase de comercialização (Rumyantsev e Sadchikov, 2006) e (Lerchenmüller e Hakenjos, 2007). Apesar dos desafios apresentados pela nova tecnologia e das dificuldades de inserção no mercado, foram desenvolvidos vários projetos destinados à aplicação e avaliação do desempenho de SFCs, principalmente em regiões com alta incidência de radiação direta, em países como Espanha, Itália e Estados Unidos (Hering, 2009). No entanto, o crescimento da potência instalada de SFCs é muito inferior ao dos sistemas tradicionais com módulos planos.

O Brasil apresenta regiões com alta incidência de radiação direta, nas quais o total anual da irradiação direta normal pode chegar a valores superiores aos de irradiação global ou total (em uma superfície fixa com inclinação igual à latitude). Apesar do elevado potencial do recurso solar, não existia disponível, no Brasil, um SFC comercial de modo a possibilitar a avaliação operacional e de geração comparativamente com outras tecnologias.

O objetivo deste trabalho é apresentar a análise operacional comparativa entre dois sistemas com seguimento solar em dois eixos (azimute e elevação), um com módulos de concentração e o outro com módulos planos, instalados em Ilha Solteira – SP, onde há elevado potencial do recurso solar para a utilização da tecnologia SFC (Viana, Pinto, et al., 2012). Os dados utilizados englobam o primeiro ano de operação dos sistemas, desde novembro de 2013 a novembro de 2014, incluindo os registros de geração e do recurso solar. Os resultados obtidos compõem um conjunto de informações importantes para a utilização de SFCs no Brasil e, em especial, no Oeste do estado de São Paulo.

2. MEDIÇÃO DO RECURSO SOLAR

Para avaliar o recurso solar disponível e, com isso, possibilitar a comparação entre os dois sistemas fotovoltaicos (com concentração e sem concentração), foi medida e registrada a radiação solar em suas componentes direta normal e difusa. Além disso, outros parâmetros ambientais que influenciam o desempenho dos sistemas, como a temperatura ambiente, a velocidade do vento e a umidade relativa do ar, também foram registrados. A Fig. 1 mostra a estação solarimétrica que foi instalada nas proximidades dos sistemas fotovoltaicos.



Figura 1 – Estação solarimétrica.

A estação solarimétrica possui um seguidor solar com precisão de $0,1^\circ$ (baseado em equações da posição solar), além de não sofrer atrasos no relógio, uma vez que este é sincronizado via GPS. Os dados são armazenados em arquivos diários e enviados via modem GPRS para um banco de dados remoto. A Tab. 1 mostra a descrição dos sensores utilizados na estação. A Fig. 2 apresenta os valores mensais de irradiação direta normal e irradiação total no plano dos módulos (direta normal mais difusa), bem como a indisponibilidade de dados no período, a qual se deve a falhas de comunicação entre a estação e o banco de dados remoto devido ao sinal de telefonia móvel no local ser muito instável.

Tabela 1 – Descrição dos sensores da estação solarimétrica.

Variável ambiental	Sensor	Descrição
Irradiação difusa	Piranômetro no plano horizontal com esfera de sombreamento instalada no seguidor solar da estação	Tipo: padrão secundário Precisão: 0,2%
Irradiação global	Piranômetro no plano horizontal	Fabricante: Kipp & Zonen
Irradiação direta normal	Pireliômetro instalado no seguidor solar da estação	Tipo: primeira classe Precisão: 0,2%
Velocidade e direção do vento	Anemômetro de pá com veleta (instalado a 3 m)	Precisão (velocidade): 0,25% Precisão (direção): 3°
Temperatura ambiente	Termo-higrômetro (instalado a 2 m)	Precisão (temperatura): 1% Precisão (umidade relativa do ar): 1%
Umidade relativa do ar		

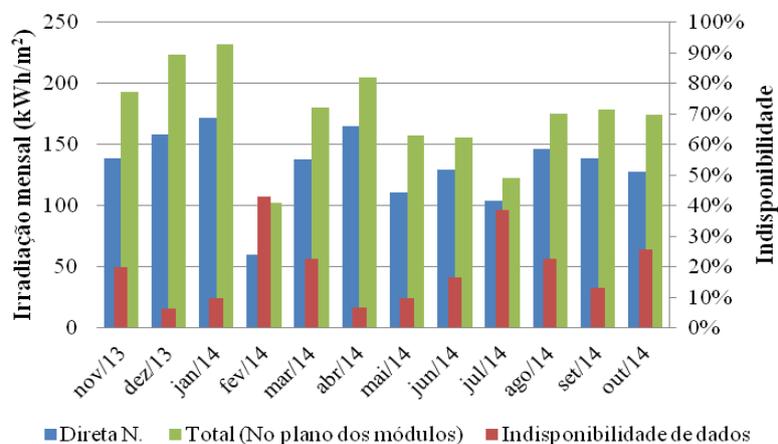


Figura 2 – Irradiação direta normal e irradiação total mensais. Também são apresentados os valores de indisponibilidade no período.

3. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Foram instalados, em setembro de 2013, no Campus 3 da UNESP – Ilha Solteira/SP, dois sistemas fotovoltaicos conectados à rede com seguimento em dois eixos da trajetória solar (controle de elevação e de azimute), um de 13,4 kWp com módulos de concentração e outro de 7,2 kWp com módulos planos de silício policristalino. A Fig. 3 mostra os sistemas já instalados.



Figura 3. Sistemas com módulos de concentração (esquerda) e módulos planos (direita). Observa-se a estação solarimétrica ao fundo e à esquerda.

3.1 Sistema com concentração

O gerador é composto por 48 módulos do fabricante DAIDO, modelo DACPV-280W25 (280 Wp), com 25 células de tripla junção de InGaP/GaAs/Ge com 38,5% de eficiência cada, sendo 28% a eficiência do módulo. O inversor é do fabricante SMA, modelo Sunny Tripower 12000TL-10, sem transformador e com sistema de monitoramento e aquisição remota de dados via internet ou Bluetooth.

3.2 Sistema sem concentração

O gerador é formado por 40 módulos do fabricante ILB HELIOS, modelo LIG180W6P (180 Wp), com 48 células de silício policristalino e eficiência de 13,88%. O inversor é do fabricante SMA, modelo Sunny Tripower 8000TL-20, sem transformador e com sistema de monitoramento e aquisição remota de dados via internet ou Bluetooth.

3.3 Seguidores solares

Os seguidores são do fabricante BSQSolar, modelo BSQ-D280/53CPV Sun Tracker, com precisão de 0,1°. Ambos os sistemas com e sem concentração utilizam o mesmo tipo de seguidor.

4. RESULTADOS DO PRIMEIRO ANO DE OPERAÇÃO

Os valores utilizados neste estudo são geração (energia injetada na rede) de cada um dos sistemas, irradiação direta normal e irradiação difusa, todos com resolução temporal mensal. O período de análise é composto por 365 dias, desde novembro de 2013 até outubro de 2014, com uma indisponibilidade total de dados no período em análise de aproximadamente 19%.

As figuras de mérito utilizadas foram o Fator de Capacidade (FC), a Produtividade Final (Y_F) e o Desempenho Global (PR) (Almeida e Zilles, 2012). No cálculo do PR , para o sistema com concentração, considera-se apenas a irradiação direta normal. Já para o sistema de módulos planos, considera-se a irradiação total no plano dos módulos, ou seja, a soma da irradiação direta normal com a irradiação difusa.

A Tab. 2 apresenta os resultados obtidos para os sistemas com e sem concentração em termos mensais e, também, o total anual. É fácil perceber, pela Tab. 2, que o desempenho do sistema sem concentração foi superior, de forma que a sua geração absoluta (em kWh) somente não foi maior devido à menor potência instalada. Apesar do local de instalação apresentar ótimos índices de irradiação direta normal, um dos melhores do Brasil (Viana, Pinto, et al., 2012), as condições instantâneas do tempo não favoreceram a geração fotovoltaica com concentração.

Tabela 2 – Desempenho dos sistemas com módulos planos convencionais e com módulos de concentração.

Mês	Sistema com módulos planos convencionais					Sistema com módulos com concentração				
	<i>Eca</i> (kWh)	<i>H</i> (kWh/m ²)	<i>PR</i> (%)	<i>YF</i> (kWh/kWp)	<i>FC</i> (%)	<i>Eca</i> (kWh)	<i>H</i> (kWh/m ²)	<i>PR</i> (%)	<i>YF</i> (kWh/kWp)	<i>FC</i> (%)
nov/13	1.189,8	193,0	85,6	165,3	28,7	1.362,3	138,9	73,2	101,7	17,7
dez/13	1.363,1	223,6	84,7	189,3	27,2	1.609,9	158,4	75,9	120,1	17,3
jan/14	1.392,4	232,4	83,2	193,4	28,8	1.676,7	172,3	72,6	125,1	18,6
fev/14	610,1	102,6	82,6	84,7	22,1	567,4	60,2	70,3	42,3	11,0
mar/14	1.061,8	180,3	81,8	147,5	25,6	1.379,4	138,3	74,4	102,9	17,9
abr/14	1.217,0	204,7	82,6	169,0	25,2	1.648,9	165,2	74,5	123,1	18,3
mai/14	989,6	157,8	87,1	137,4	20,5	1.139,5	111,0	76,6	85,0	12,7
jun/14	978,4	156,1	87,1	135,9	22,6	1.337,6	129,4	77,1	99,8	16,6
jul/14	775,9	122,4	88,0	107,8	23,6	1.076,1	104,4	76,9	80,3	17,6
ago/14	1.075,0	175,6	85,0	149,3	25,9	1.425,2	146,2	72,8	106,4	18,5
set/14	1.092,8	179,1	84,7	151,8	24,3	1.320,7	139,2	70,8	98,6	15,8
out/14	1.047,7	174,6	83,4	145,5	26,4	1.196,9	127,8	69,9	89,3	16,2
ANO	12.793,8	2.102,1	84,5	1.776,9	25,2	15.740,6	1.591,2	73,8	1174,7	16,7

5. CONCLUSÕES

Apesar do elevado potencial solar, a região escolhida para a instalação dos seguidores não apresentou os valores de irradiação direta normal esperados na fase de projeto (Viana, Pinto, et al., 2012). Uma explicação para o ocorrido é a de que o modelo utilizado na previsão subestimou os períodos nublados.

Dessa forma, o uso de sistemas com concentração solar, fotovoltaicos ou térmicos, não é aconselhado para a região Oeste do estado de São Paulo.

Diante do que foi observado para a predição de radiação direta normal, recomenda-se prudência ao utilizar os dados de irradiação direta normal disponíveis, inclusive para outras regiões do Brasil, realizando campanhas de medição *in loco* anteriormente ao desenvolvimento de projetos.

REFERÊNCIAS

- Almeida, M. P., Zilles, R., 2012. Cálculo de Parâmetros de Desempenho para Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede. IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferência Latino-Americana da ISES. São Paulo, Brazil.
- Bett, A. W., Dimroth, F., 2004. FLATCON and FLASHCON Concepts for High Concentration PV. 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference. Paris, France.
- Hering, G., 2009. Staying Focused. PHOTON International - The Photovoltaic Magazine, 130-137.
- Lerchenmüller, H., Hakenjos, A., 2007. From FLATCON Pilot Systems to the first Power Plant. International Conference on Solar Concentrators for the Generation of Electricity or Hydrogen - ICSC-4. El Escorial, Spain.
- Mosher, D. M., Boese, R. E., 1977. The advantages of Sun tracking for planar silicon solar cells. Solar Energy, vol. 19, pp. 91-97.
- Rumyantsev, V. D., Sadchikov, N. A., 2006. Terrestrial Concentrator PV Modules Based on GaInP/GaAs/Ge TJ Cells and Minilens Panels. IEEE 4th World Conference on PV Energy Conversion. Waikoloa, USA.
- Schult, T., Neubauer, M., 2009. Temperature Dependence of Fresnel Lenses for Concentrating Photovoltaics. 2nd Workshop on Concentrating Photovoltaics Optics and Power. Darmstadt, Germany.
- Sinton, R. A., Kwark, Y., 1986. 27.5-Percent Silicon Concentrator Solar Cells. IEEE Electron Device Letters EDL-7 (10).
- Viana, T. S., Pinto, A., Almeida, M. P., Zilles, R., 2012. Projeto Seguidores Solares para Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede: Sistemas com e sem Concentração. IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferência Latino-Americana da ISES. São Paulo, Brazil.

**RESULTS OF THE FIRST YEAR OF OPERATION OF
PHOTOVOLTAIC SYSTEMS WITH TWO-AXIS SOLAR
TRACER AND MODULES WITH AND WITHOUT CONCENTRATION**

Abstract. *This paper analyzes the operating performance of two grid connected photovoltaic systems with two-axis solar tracker, one with conventional flat modules and the other with concentrating modules, both installed in Ilha Solteira, São Paulo. The analysis intends to compare the performance of these systems, thus providing important information for using the concentrating photovoltaics technology in the country, especially in the Western São Paulo.*

Key words: *Grid connected photovoltaic system, solar tracker, concentrating photovoltaics.*