

PROJETO “SEGUIDORES SOLARES PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE: SISTEMAS COM E SEM CONCENTRAÇÃO”

Trajano de Souza Viana¹ – trajano@iee.usp.br, trajano@cefet-rj.br

Aimé Pinto – apinto@iee.usp.br

Marcelo Pinho Almeida – marcelopa@iee.usp.br

Roberto Zilles – zilles@iee.usp.br

Universidade de São Paulo, Instituto de Eletrotécnica e Energia

José Francisco Resende da Silva – josé.resende@elektro.com.br

¹Centro Federal de Educação Tecnológica, CEFET/RJ, Departamento de Engenharia Elétrica

Resumo. Grande parte da geração fotovoltaica mundial é realizada com módulos planos de silício cristalino ou de filmes finos, montados em estruturas fixas e sem concentração da radiação solar. Os sistemas com concentração, que utilizam elementos ópticos e células fotovoltaicas especiais, nos últimos anos passaram da fase de estudo de desempenho de protótipos para a fase de comercialização. 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 sistemas fotovoltaicos com concentração (SFVC), embora o crescimento da potência instalada ainda seja muito inferior ao dos sistemas tradicionais com módulos planos. O desenvolvimento das tecnologias dos elementos para concentração da radiação solar, bem como das células adequadas à conversão dessa radiação concentrada em energia elétrica, teve papel fundamental no crescimento do número de sistemas instalados e de projetos institucionais que visam avaliar o desempenho da tecnologia dos SFVC de diferentes fabricantes. O Brasil apresenta regiões 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 potencial de recurso solar e do crescimento do número de usinas no mundo, não existe, no Brasil, uma usina com SFVC comercialmente disponível, de modo a possibilitar a avaliação operacional e de geração, comparativamente com outras tecnologias, como a de módulos planos fixos e a de módulos planos com seguimento do Sol. O objetivo desse trabalho é apresentar um projeto destinado a instalar e analisar o desempenho de sistemas fotovoltaicos conectados à rede com módulos planos fixos, módulos planos com seguimento do Sol e módulos com concentração e seguimento do Sol, bem como descrever as ações já realizadas.

Palavras-chave: Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede, Sistemas Fotovoltaicos com Concentração (SFVC), Seguidor Solar

1. INTRODUÇÃO

A maior parte da geração fotovoltaica mundial é realizada com módulos planos, de silício cristalino ou de filmes finos, montados em estruturas fixas. O estudo de sistemas com seguimento do Sol, elementos ópticos para concentrar a radiação solar e células especiais para uso sob alta concentração vem sendo realizado durante os últimos 35 anos (Mosher *et al.*, 1977), (Sinton *et al.*, 1986) e (Schult *et al.*, 2009).

Há cerca de 10 anos, as tecnologias aplicadas aos SFVC começaram a atrair a atenção de entidades de pesquisa e indústrias, levando empresas que produzem células especiais, módulos e sistemas fotovoltaicos com concentração a fornecer material para instalação de usinas fotovoltaicas com potência da ordem de megawatt (Bett *et al.*, 2004). Esse processo fez com que os sistemas fotovoltaicos com concentração passassem da fase de estudo de desempenho de protótipos para a fase de comercialização (Rumyantsev *et al.*, 2006), (Lerchenmüller *et al.*, 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 SFVC, principalmente em regiões com alta incidência de radiação direta, em países como Espanha, Itália e Estados Unidos (Hering, 2009).

O desenvolvimento das tecnologias dos elementos para concentração da radiação solar, bem como das células adequadas à conversão dessa radiação concentrada em energia elétrica, teve papel fundamental no crescimento do número de sistemas instalados e alguns projetos institucionais estão em execução visando aplicar, divulgar e estudar o desempenho da tecnologia dos SFVC, empregando sistemas de diferentes empresas, tais como: Abengoa, Arima Eco, BSQ Solar, Emcore, Guascor, Isofotón, Renovalia, Soitec-Concentrix, SolFocus e Sol3g (ISFOC, 2012).

No entanto, o crescimento da potência instalada ainda é muito inferior ao dos sistemas tradicionais com módulos planos. Segundo dados do *CPV World Map 2011*, publicado em julho de 2011, a capacidade mundial instalada está em torno de 21 MW, havendo previsão de enorme crescimento com a instalação de usinas que totalizarão 14,7 GW, as quais são denominadas, no mapa, de “Pre-operational HCPV installations” (PV-Insider, 2011).

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 potencial de recurso solar e do crescimento do número de instalações no mundo, não existe disponível, no Brasil, uma instalação que utilize SFVC comercialmente, de modo a possibilitar a avaliação operacional e de geração comparativamente com outras tecnologias, como a de módulos planos fixos e a de módulos planos com seguimento do Sol.

O objetivo desse trabalho é apresentar um projeto destinado a instalar e analisar o desempenho de sistemas fotovoltaicos conectados à rede com módulos planos fixos, módulos planos com seguimento do Sol e módulos com concentração e seguimento do Sol, bem como descrever as ações já realizadas. O projeto é referente ao Programa Anual de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico, aprovado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), com a distribuidora de energia elétrica ELEKTRO.

Dentre os objetivos específicos do projeto, destacam-se:

- procurar obter maior produtividade (kWh/kWp) incrementando o fator de capacidade de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, através da avaliação da operacionalidade e desempenho de células multijunção em sistema de alta concentração,e
- desenvolver protótipo de seguidor solar de um eixo com módulos planos para utilização em usinas fotovoltaicas.

A execução do projeto está baseada em cinco metas (definidas de acordo com os objetivos) que são: avaliar a tecnologia de concentradores para sistemas fotovoltaicos; montar e instalar um sistema fotovoltaico de alta concentração; construir um seguidor solar para utilizar com módulos planos; desenvolver mecanismo de rastreamento e realizar o projeto de engenharia e construção de uma usina fotovoltaica de 1 MWp. O projeto possibilitará também testar metodologias recentes de previsão de produção de energia por sistemas fotovoltaicos com concentração (Gómez-Gil *et al.*, 2012).

As atividades iniciais, para atender à primeira meta, consistem em avaliar a tecnologia de concentradores para sistemas fotovoltaicos visando verificar a aplicabilidade dessa tecnologia em área de concessão da ELEKTRO, identificando localidade com potencial solar e com possibilidade de ganho na geração de energia e redução de custo com o desenvolvimento da referida tecnologia. Essa meta contempla oito atividades, das quais se destacam: aquisição de equipamentos para avaliar o recurso solar em área de concessão da ELEKTRO; instalação dos equipamentos para monitoramento do recurso solar; monitoramento do recurso solar e avaliação de componentes e sistemas que se pode nacionalizar.

2. DESENVOLVIMENTO

Os sistemas fotovoltaicos tradicionais utilizam a radiação global (horizontal) ou total (inclinada) enquanto os SFVC utilizam a radiação direta normal, que é aquela que incide sempre perpendicularmente a uma superfície. A Fig.1 mostra o mapa mundial do total anual de irradiação direta normal – H_{DIRN} – (em inglês *Direct Normal Irradiation*, DNI), com valores em kWh/m²/ano (DLR, 2008). Observa-se na Fig. 1 que os valores mais elevados do total anual de irradiação direta normal para o Brasil estão na faixa de 1.800 a 2.200 kWh/m².

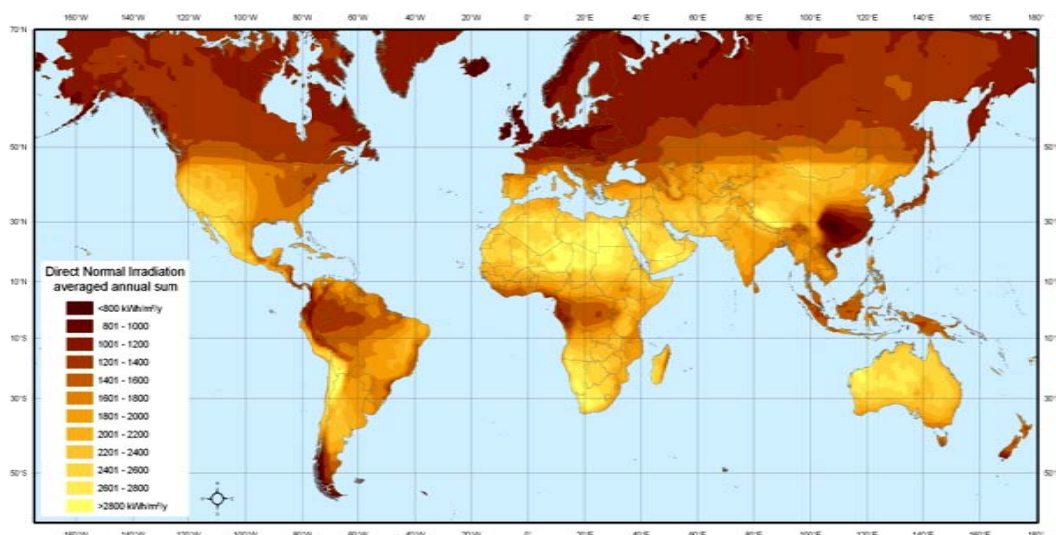


Figura 1 - Mapa mundial do total anual de irradiação direta normal – H_{DIRN} – (*Direct Normal Irradiation*, DNI), com valores em kWh/m²/ano. Fonte: DLR, 2008.

Para a captação da radiação direta normal é necessário que a superfície coletora seja móvel e acompanhe a trajetória aparente do Sol, o que é obtido com o uso de dispositivos denominados seguidores do Sol, e, desse modo, propiciar o aproveitamento do potencial energético da radiação direta. A Fig. 2 mostra um seguidor do Sol de dois eixos, que movimentam a superfície em torno dos eixos Leste-Oeste e Norte-Sul, de modo a mantê-la sempre perpendicular à radiação solar durante todos os dias do ano.

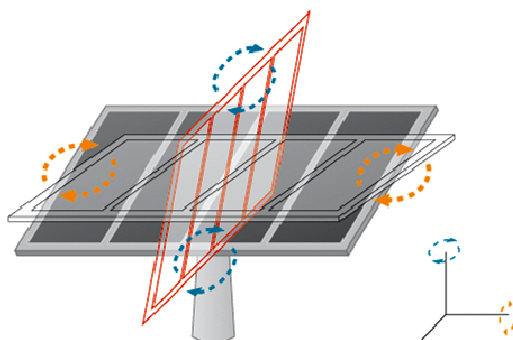


Figura 2 – Seguidor do Sol de dois eixos: Leste-Oeste e Norte-Sul.

Fonte: www.abengoasolar.com/corp/web/en/technologies

O resultado do seguimento do Sol se traduz em mais energia captada pela superfície móvel, em dias de céu claro, do que seria obtida em uma superfície fixa, horizontal ou inclinada, situada no mesmo local. Esse efeito é exemplificado na Fig. 3, a qual mostra o perfil diário das irradiâncias difusa (G_{DIF}) e global horizontal (G_{HOR}), incidentes em sensores horizontais fixos, e da irradiância direta normal (G_{DIRN}), incidente em um sensor dotado de seguidor do Sol de dois eixos. Os dados de irradiância da Fig. 3 correspondem a um dia com céu claro (28/07/2004) e foram obtidos na estação Brasília da rede SONDA (INPE, 2009).

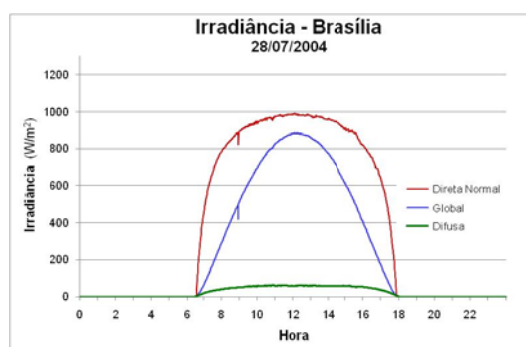


Figura 3 - Perfil das irradiâncias difusa, global horizontal e direta normal no dia 28/07/2004, na estação Brasília da rede SONDA. Fonte dos dados: INPE, 2009.

A irradiação diária é igual à integral da irradiância (kWh/m^2) e representa energia por unidade de área incidente em uma superfície (kWh/m^2). Graficamente, a irradiação corresponde à área sob a curva da irradiância no período considerado. Na Fig. 3 observa-se que a área sob a curva de irradiância direta normal (vermelha) é maior do que a área sob a curva da irradiância global (azul), significando que a energia proveniente da radiação direta normal, é maior do que a proveniente da radiação global, no dia considerado. O valor da irradiação direta normal (H_{DIRN}) é $9,31 \text{ kWh/m}^2$ e da irradiação global (H_{HOR}) é $6,08 \text{ kWh/m}^2$ e, nesse caso específico para o dia 28/07/2004, H_{DIRN} é 53% maior do que H_{HOR} . Em dias com nuvens esparsas, a irradiação direta normal tenderá a diminuir, mas pode ainda continuar superior à global e em dias muito nublados diminui acentuadamente, podendo ficar abaixo da irradiação global.

Para a realização do monitoramento do recurso solar é necessário escolher o local adequado para instalar o equipamento, onde também serão instalados os sistemas fotovoltaicos, sem e com concentração. A escolha do local, neste caso, tem que atender aos seguintes requisitos:

- estar situado em área de concessão da ELEKTRO (no estado de São Paulo);
- apresentar altos valores de irradiação solar, principalmente de direta normal;
- ter baixa frequência de dias nublados;
- ter acesso à rede elétrica de distribuição (110 V ou 220 V) para realizar a conexão dos sistemas fotovoltaicos;
- estar em área com segurança patrimonial, para garantir integridade de todos os materiais instalados e
- ter facilidade de acesso à internet (transmissão remota dos dados coletados).

3. RESULTADOS

Os resultados iniciais estão relacionados à escolha do local para a instalação do equipamento, levantamento preliminar do recurso solar no local e projeto do protótipo de seguidor solar de um eixo. A escolha do local se baseou, inicialmente, na observação dos mapas de irradiação global ou horizontal (H_{HOR}), total ou inclinada (H_{TOT}), obtida em uma superfície com inclinação igual à latitude, e direta normal (H_{DIRN}), mostrados nas Fig. 4, 5 e 6, respectivamente, que fornecem uma visão geral dos valores de irradiação para o Brasil (Viana, *et al.*, 2011).

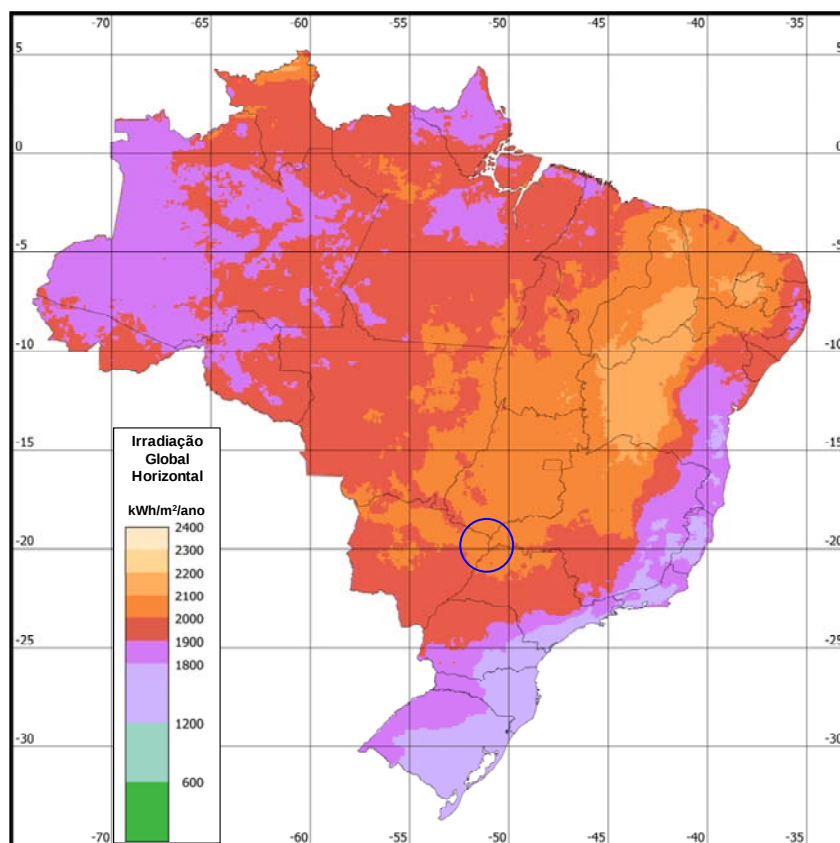


Figura 4 - Mapa do Brasil do total anual (kWh/m²/ano) de irradiação global (horizontal) - H_{HOR}.
Fonte: Viana *et al.*, 2011

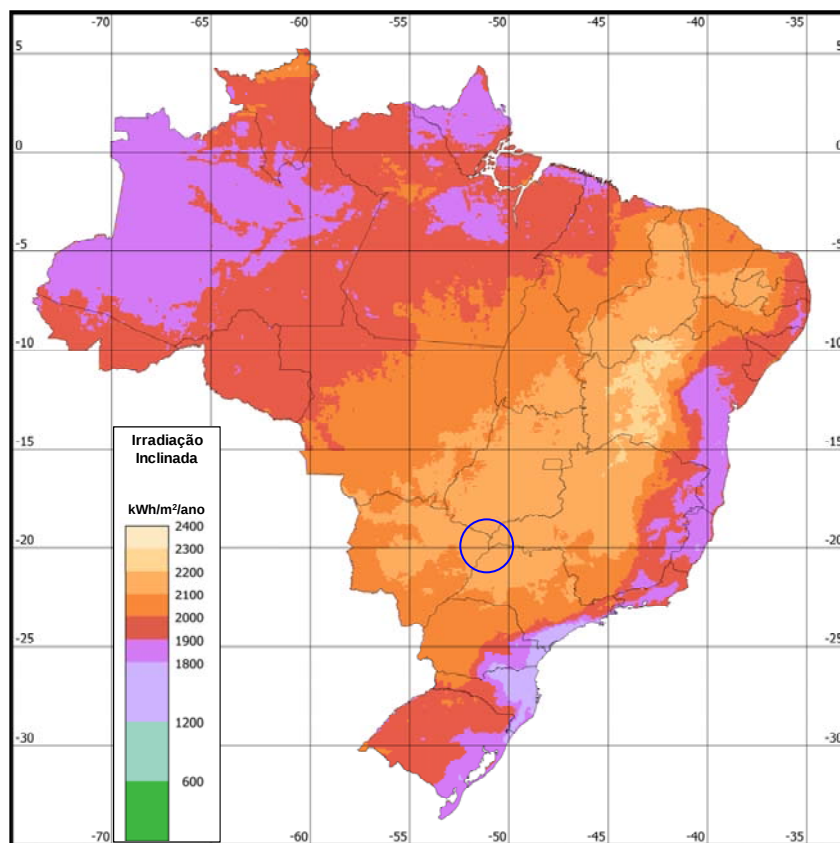


Figura 5 - Mapa do Brasil do total anual (kWh/m²/ano) de irradiação total (inclinada) - H_{TOT}.
Fonte: Viana *et al.*, 2011

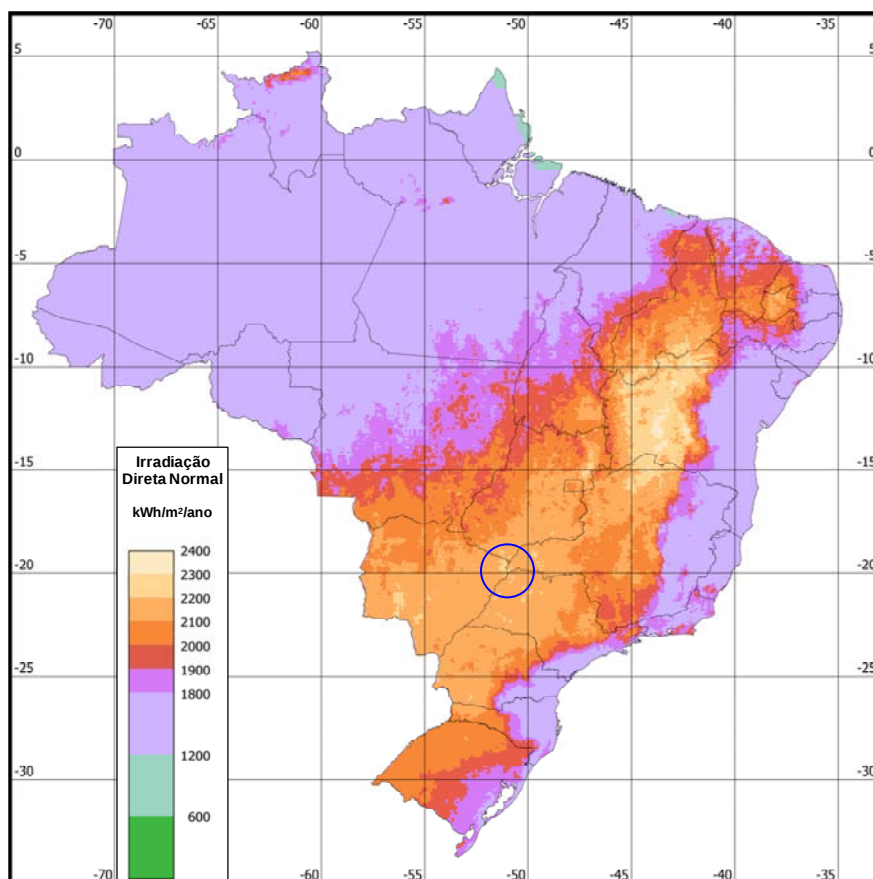


Figura 6 - Mapa do Brasil do total anual ($\text{kWh/m}^2/\text{ano}$) de irradiação direta normal - H_{DIRN} .
Fonte: Viana *et al.*, 2011

Conforme se observa nas Fig. 4, 5 e 6, a região oeste de São Paulo, assinalada pelo círculo azul, apresenta elevados valores de irradiação solar, que variam na faixa de 1.900 a 2.000 $\text{kWh/m}^2/\text{ano}$. Nessa região assinalada encontra-se o Município de Ilha Solteira que sedia a Universidade Estadual Paulista (UNESP), a qual possui área disponível para a instalação de todo o equipamento. O local escolhido ($-20.398933^\circ \text{ S}$, $-51.355669^\circ \text{ W}$) está na área de concessão da ELEKTRO, atende aos requisitos de acesso à rede elétrica de distribuição para realizar a conexão dos sistemas fotovoltaicos, possui segurança patrimonial para todos os materiais instalados e apresenta facilidade de conexão à internet. Os pontos em torno do Município de Ilha Solteira com disponibilidade de dados solarimétricos (A a L), e as respectivas coordenadas geográficas, são mostrados na Fig. 7.

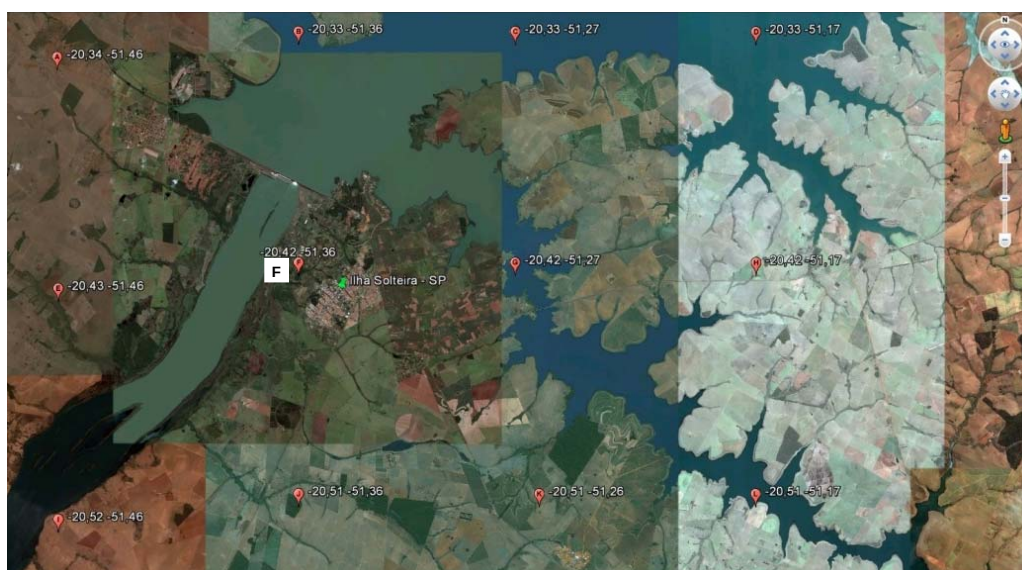


Figura 7 – Pontos com disponibilidade de dados solarimétricos próximos a Ilha Solteira e respectivas coordenadas geográficas.

A Fig. 8 mostra o local escolhido para instalar o equipamento de monitoramento e os sistemas fotovoltaicos.



Figura 8 - Local escolhido para instalar o equipamento de monitoramento do recurso solar e os sistemas fotovoltaicos. Fonte das fotos: Google Earth

Uma vez que o local escolhido em Ilha Solteira atende a todos os requisitos fundamentais, realizou-se o levantamento dos valores de irradiação dos pontos em torno do Município, utilizando-se o banco de dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar e dados de irradiação direta normal do Projeto SWERA (Pereira *et al.*, 2006), (SWERA, 2008).

A Tab. 1 mostra os valores das coordenadas dos pontos A a L (Fig. 7) e os respectivos valores da média diária anual de irradiação: global, total e direta normal. Os valores de irradiação global estão em torno de 5,5 kWh/m²/dia; de irradiação total, em torno de 5,8 kWh/m²/dia e direta normal próximo a 6 kWh/m²/dia.

Tabela 1 – Coordenadas geográficas dos pontos assinalados no mapa da Fig. 7 (A a L), e respectivos valores de irradiação global (H_{HOR}), total (H_{TOT}) e direta normal (H_{DIRN}).

Irradiação Global (Horizontal) - H_{HOR}															Média anual	Total anual
LAT	LONG	PONTO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	kWh/m ² /dia	kWh/m ² /ano
-20,34	-51,46	A	6,1	6,2	5,9	5,3	4,4	4,0	4,3	4,7	5,7	6,4	6,4	6,5	5,49	2004
-20,33	-51,36	B	6,2	6,3	5,9	5,3	4,4	3,9	4,3	4,7	5,7	6,4	6,3	6,5	5,49	2004
-20,33	-51,27	C	6,2	6,4	5,9	5,2	4,4	3,9	4,3	4,8	5,7	6,4	6,5	6,5	5,50	2006
-20,33	-51,17	D	6,2	6,4	5,8	5,1	4,4	3,9	4,2	4,8	5,7	6,4	6,4	6,5	5,48	1999
-20,43	-51,46	E	6,2	6,3	5,9	5,3	4,4	3,9	4,2	4,7	5,7	6,4	6,4	6,6	5,48	2001
-20,42	-51,36	F	6,2	6,3	5,9	5,3	4,4	3,9	4,2	4,7	5,7	6,4	6,5	6,6	5,50	2008
-20,42	-51,27	G	6,2	6,4	5,9	5,2	4,3	3,9	4,2	4,7	5,7	6,4	6,5	6,6	5,50	2008
-20,42	-51,17	H	6,2	6,4	5,8	5,2	4,4	3,8	4,2	4,8	5,7	6,4	6,4	6,7	5,49	2004
-20,52	-51,46	I	6,2	6,3	5,8	5,2	4,4	3,9	4,2	4,7	5,6	6,3	6,3	6,6	5,45	1988
-20,51	-51,36	J	6,2	6,3	5,9	5,2	4,3	3,8	4,2	4,7	5,7	6,3	6,4	6,6	5,47	1996
-20,51	-51,26	K	6,2	6,3	5,9	5,2	4,3	3,9	4,2	4,7	5,7	6,4	6,4	6,7	5,50	2007
-20,51	-51,17	L	6,2	6,4	5,8	5,2	4,4	3,9	4,2	4,8	5,7	6,4	6,5	6,7	5,51	2012

Irradiação Total (Inclinada) - H_{TOT}															Média anual	Total anual
LAT	LONG	PONTO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	kWh/m ² /dia	kWh/m ² /ano
-20,34	-51,46	A	5,6	6,0	6,2	6,0	5,3	5,2	5,4	6,0	6,2	6,6	6,0	5,8	5,85	2135
-20,33	-51,36	B	5,6	6,1	6,2	6,0	5,4	5,1	5,2	5,9	6,2	6,6	6,0	5,8	5,85	2134
-20,33	-51,27	C	5,6	6,1	6,2	5,9	5,4	5,1	5,4	5,9	6,2	6,6	6,0	5,8	5,86	2139
-20,33	-51,17	D	5,7	6,2	6,2	5,8	5,4	5,1	5,4	6,1	6,2	6,6	6,0	5,8	5,86	2140
-20,43	-51,46	E	5,7	6,0	6,2	6,0	5,4	5,2	5,4	6,0	6,2	6,5	6,0	5,9	5,86	2138
-20,42	-51,36	F	5,7	6,1	6,2	6,0	5,4	5,1	5,3	6,0	6,2	6,5	6,0	5,9	5,86	2140
-20,42	-51,27	G	5,7	6,2	6,2	5,9	5,4	5,1	5,3	6,0	6,2	6,5	6,0	5,9	5,87	2142
-20,42	-51,17	H	5,7	6,2	6,2	5,9	5,3	5,1	5,4	6,0	6,2	6,6	6,0	5,9	5,86	2140
-20,52	-51,46	I	5,6	6,0	6,2	5,9	5,3	5,1	5,4	5,9	6,1	6,4	6,0	5,9	5,82	2122
-20,51	-51,36	J	5,7	6,1	6,2	5,9	5,3	5,0	5,4	6,0	6,2	6,5	6,0	5,9	5,85	2134
-20,51	-51,26	K	5,7	6,1	6,2	5,9	5,3	5,1	5,3	6,0	6,2	6,5	6,0	5,9	5,86	2140
-20,51	-51,17	L	5,7	6,1	6,2	5,9	5,3	5,1	5,3	6,1	6,2	6,6	6,0	6,0	5,86	2140

(Cont.) Tabela 1

Irradiação Direta Normal - H_{DIRN}															Média anual	Total anual
LAT	LONG	PONTO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	kWh/m ² /dia	kWh/m ² /ano
-20,34	-51,46	A	4,9	5,9	6,5	5,2	6,0	5,4	5,9	6,6	6,7	5,6	6,2	6,3	5,92	2162
-20,33	-51,36	B	5,0	5,9	6,7	5,3	6,1	5,4	5,8	6,4	6,3	5,6	6,2	6,3	5,93	2163
-20,33	-51,27	C	5,0	6,0	6,6	5,2	6,2	5,4	5,7	6,5	6,5	5,7	6,2	6,3	5,94	2167
-20,33	-51,17	D	5,0	6,0	6,5	5,0	6,0	5,4	6,0	6,8	6,5	5,7	6,3	6,3	5,94	2167
-20,43	-51,46	E	5,1	5,8	6,7	5,2	6,0	5,7	5,8	6,7	6,4	5,6	6,2	6,4	5,97	2181
-20,42	-51,36	F	5,0	6,0	6,7	5,4	6,0	5,6	5,9	6,6	6,5	5,7	6,3	6,5	6,01	2192
-20,42	-51,27	G	5,1	6,1	6,7	5,4	6,2	5,3	5,7	6,6	6,3	5,6	6,4	6,4	5,97	2180
-20,42	-51,17	H	5,0	6,0	6,7	5,2	5,9	5,4	5,8	6,7	6,5	5,7	6,4	6,5	5,98	2182
-20,52	-51,46	I	5,0	5,8	6,7	5,3	6,1	5,3	5,7	6,5	5,6	5,6	6,2	6,3	5,84	2131
-20,51	-51,36	J	5,0	6,0	6,7	5,4	6,1	5,2	5,7	6,5	6,5	5,6	6,2	6,3	5,94	2166
-20,51	-51,26	K	5,0	6,0	6,7	5,4	5,9	5,3	5,8	6,6	6,5	5,7	6,4	6,5	5,98	2182
-20,51	-51,17	L	5,1	6,0	6,5	5,2	6,0	5,3	5,7	6,7	6,5	5,7	6,4	6,5	5,97	2180

O ponto F (-20,42 S e -51,36W), destacado na Tab. 1, é o mais próximo do local escolhido para a instalação. Os valores da média mensal de irradiação diária para esse ponto estão mostrados no gráfico da Fig. 9.

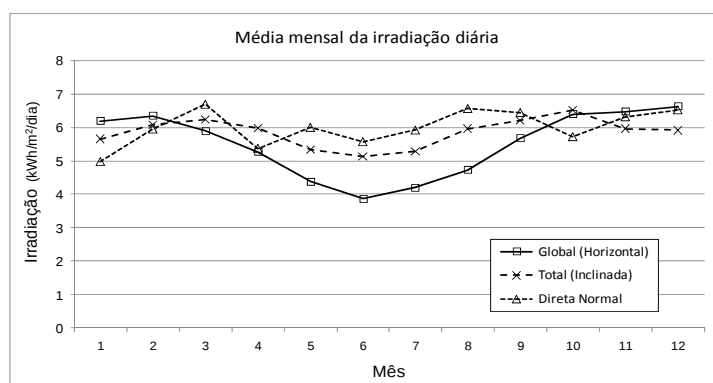


Figura 9 - Irradiação global, total e direta normal para o ponto F.

O equipamento a ser instalado para monitorar o recurso solar é formado por uma estação solarimétrica composta por piranômetro, pireliômetro, seguidor, esferas de sombreamento, sensores de temperatura e de umidade relativa do ar, sensores de velocidade e de direção do vento, sistema de aquisição e transmissão de dados e alimentação através de um sistema fotovoltaico isolado (SFVI). Estão em andamento contatos com empresas para o fornecimento de um SFVC.

O protótipo do seguidor solar de um eixo será do tipo horizontal e seguirá o movimento aparente do Sol ao longo do dia. A estrutura do protótipo será de aço galvanizado a fogo, de forma a ser resistente às intempéries, com um eixo suportado por dois apoios localizados nas extremidades, conforme a Fig. 10. Além da estrutura de suporte articulada, o seguidor contará com um motor, caixa redutora, sensor de velocidade do vento, chave de final de curso e controlador de movimento, o qual poderá ser um controlador lógico programável (CLP), inversor de frequência ou circuito dedicado.



Figura 10 – Estrutura articulada do protótipo de seguidor solar de um eixo.

4 - CONCLUSÃO

O projeto “Seguidores solares para sistemas fotovoltaicos conectados à rede: sistemas com e sem concentração” vai permitir analisar a operacionalidade e a geração de energia elétrica comparativamente entre sistemas fotovoltaicos com módulos planos fixos, sistemas com módulos planos com seguimento solar e sistemas com concentração e seguimento solar em um local com grande disponibilidade de radiação direta normal.

Esse tipo de estudo é de grande importância, pois permite avaliar a viabilidade técnica e econômica de sistemas com concentração, pouco utilizados no mundo, no contexto comercial e climatológico brasileiro, tornando-se uma base de informações valiosas para guiar a disseminação dessa tecnologia no país. Além disso, o projeto irá avaliar as dificuldades e potencialidades para a fabricação de estruturas de seguimento solar para módulos planos no Brasil, através da construção de um protótipo que prioriza a tecnologia e os serviços nacionais.

Agradecimentos

À ELEKTRO, financiadora do projeto “Seguidores solares para sistemas fotovoltaicos conectados à rede: Sistemas com e sem concentração”, referente ao Programa Anual de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico, aprovado pela ANEEL com nº ANEEL PD-0385-0031/2011.

REFERÊNCIAS

- Bett, A. W., Dimroth, F., *et al.*, 2004. FLATCON and FLASHCON Concepts for High Concentration PV. 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Paris, France.
- DLR. 2008. Global Concentrating Solar Power Potentials. Disponível em: http://www.dlr.de/tt/desktopdefault.aspx/tabid-2885/4422_read-16596/. Acesso: março/2012.
- Gómez-Gil, F. J., Wang, X., *et al.*, 2012. Analysis and Prediction of Energy Production in Concentrating Photovoltaic (CPV) Installations. DOI: 10.3390/en5030770. Energies 5 (March), pp. 770-789.
- Hering, G. (2009). Staying Focused. PHOTON International - The Photovoltaic Magazine. Solar Verlag. Aachen, Germany. pp. 130-137.
- INPE. 2009. SONDA - Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais. Disponível em: <http://sonda.cptec.inpe.br/index.html> Acesso: julho/2009.
- ISFOC, 2012. Instituto de Sistemas FV de Concentración. Disponível em: <http://www.isfoc.net>. Acesso: março/2012.
- Lerchenmüller, H., Hakenjos, A., *et al.*, 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., *et al.*, 1977. The advantages of Sun tracking for planar silicon solar cells. Solar Energy 19, pp. 91-07.
- Pereira, E. B., Martins, F. R., *et al.*, 2006. Atlas Brasileiro de Energia Solar (*Brazilian Atlas of Solar Energy*), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, São José dos Campos, Brasil.
- PV-Insider. 2011. CPV World Map. Julho 2011. Disponível em: www.pv-insider.com/cpv. Acesso: março/2012.
- Rumyantsev, V. D., Sadchikov, N. A., *et al.* (2006). Terrestrial Concentrator PV Modules Based on GaInP/GaAs/Ge TJ Cells and Minilens Panels. IEEE 4th World Conference on PV Energy Conversion.
- Schult, T., Neubauer, M., *et al.*, 2009. Temperature Dependence of Fresnel Lenses for Concentrating Photovoltaics. 2nd Workshop on Concentrating Photovoltaics Optics and PowerDarmstadt, Germany.
- Sinton, R. A., Kwark, Y., *et al.*, 1986. 27.5-Percent Silicon Concentrator Solar Cells. IEEE Electron Device Letters EDL-7 (10).
- SWERA. 2008. Solar and Wind Energy Resource Assessment. Disponível em: <http://swera.unep.net/>. Acesso: novembro/2008.
- Viana, T. S., Ruther, R., *et al.*, 2011. Assessing the potential of concentrating solar photovoltaic generation in Brazil with satellite-derived direct normal irradiation. Solar Energy (85), pp. 486 - 495.

PROJECT “SOLAR TRACKERS FOR GRID CONNECTED PV SYSTEMS: CONCENTRATING AND NON CONCENTRATING SYSTEMS”

Abstract. Photovoltaic generation in the world is mainly performed with crystalline silicon or thin film flat modules assembled on fixed structures and without concentration of solar radiation. Systems with concentration, using optics and special photovoltaic cells developed in recent years, have moved from prototypes to commercialization phase. Despite the challenges presented by the new technology and difficulties entering the market, there are several projects aiming the implementation and evaluation of the performance of concentrating photovoltaic systems (CPV), although the growth of their installed capacity is still far below the one observed for traditional systems with flat modules. Development of technologies for concentrating solar radiation, as well as appropriate cells to convert concentrated radiation into electrical energy, played an important role in the growth of installed systems and institutional projects that aim to evaluate the performance of CPV technology using systems from different companies. Brazil has regions where annual direct normal irradiation can reach values higher than those of global or total irradiation. Despite the solar resource potential and the growing number of power plants in the world, a commercially available CPV system for operational and generation evaluation in comparison with other technologies, such as flat modules, fixed or with a Sun tracker, does not exist in Brazil. The aim of this paper is to present a plan to install and analyze performance of grid connected systems with fixed flat modules, one axis Sun tracker with flat modules and a CPV system and to describe the actions already performed.

Key words: Grid Connected Photovoltaic Systems, Concentrating Photovoltaic Systems (CPV), Solar Tracker