

ANÁLISE DO DESEMPENHO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS FIXOS E COM RASTREADOR SOLAR

Bruno Dal Pont Silva – brunodalpont@hotmail.com
Patrick Nikson Rubbo – patrickrubbo@hotmail.com
Giuliano Arns Rampinelli – giuliano.rampinelli@ufsc.br
Curso de Engenharia de Energia
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá.

Resumo. Este trabalho apresenta o estudo da análise comparativa entre sistemas fotovoltaicos fixos e com rastreador solar realizado com o Software desenvolvido pelo NREL (National Renewable Energy Laboratory) dos Estados Unidos, que possibilita rodar simulações de diversos sistemas de energia. As cidades escolhidas para simulação dos sistemas fotovoltaicos foram Petrolina - PE e Florianópolis - SC. Essas escolhas se baseiam no fato de que as duas cidades possuem incidência solar bastante diferente, pois uma cidade fica no sul, onde há muita nebulosidade, e a outra cidade está localizada no nordeste, onde há uma incidência solar mais elevada. O sistema simulado é do tipo SFCR (Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede), sendo constituído basicamente pelos seguintes equipamentos: 33 módulos Kyocera modelo KD 230GX-LFB, com potência nominal de 230 Wp cada um, eficiência 14,51%, tecnologia das células de silício multicristalino, sendo 3 strings em paralelo com 11 módulos em série para cada string, um inversor SMA modelo SB7000US 208V, com capacidade máxima de 7366,1 Wcc e eficiência máxima de 95,76%. A potência nominal do sistema avaliado é de 7,58 kW_p e a área total dos módulos é de 52,3 m². Há significativa diferença no desempenho dos sistemas simulados, pelo simples fato de que os sistemas com rastreador solar conseguem otimizar a captação de energia solar, uma vez que os raios solares estão sempre incidindo de maneira perpendicular nos módulos fotovoltaicos, aumentando assim a energia gerada. Vale ressaltar que para a instalação de um sistema com rastreador solar há um custo financeiro e energético. Estes custos não foram considerados neste artigo, uma vez que o objetivo é avaliar comparativamente a influência do rastreador solar na geração fotovoltaica.

Palavras-chave: Energia Solar, Sistemas fotovoltaicos, Rastreadores solares.

1. INTRODUÇÃO

Durante toda a sua vida, o homem consome energia em tudo o que faz, seja durante as suas atividades diárias ou mesmo dormindo. Desde o início dos tempos, quando aprendeu a viver em comunidade, o homem tem utilizado os mais diversos tipos de energia para facilitar seu trabalho, tornando-o mais fácil ou mais rápido. Para isto ele se valeu das mais diversas fontes de energia: fogo, água, tração animal, vapor, petróleo, etc. Com o passar do tempo, adquiriu-se conhecimento e técnica e criaram-se os mais variados tipos de tecnologia para realizar o trabalho que antes era puramente braçal. Assim, novos inventos e criações surgiram, mas sempre dependentes de algum tipo de energia para o seu funcionamento. Hoje, existe uma preocupação cada vez maior em estudar e descobrir novas fontes de energia, que possam ser utilizadas degradando o mínimo possível o ambiente ao seu redor. Com este tipo de consciência, estudou-se e desenvolveu-se a utilização de energias alternativas dos mais variados tipos, e falar sobre energia sem falar no Sol é o mesmo que falar sobre a Terra sem mencionar nada sobre água. Tudo o que existe no planeta Terra é formado direta ou indiretamente pela energia vinda do Sol.

A preocupação com a disponibilidade dos recursos naturais no futuro não é fruto apenas da escassez de alguns deles, mas de uma conscientização que começa a se manifestar e o termo sustentabilidade tornou-se foco no desenvolvimento de novos processos e tecnologias. O efeito do aumento populacional mundial acabou gerando um grande aumento na poluição e do consumo de energia elétrica, por isso há necessidade de buscar novos modelos e formas para obtenção de energia de uma forma economicamente e ambientalmente viável. Algumas áreas de pesquisas no que se refere ao desenvolvimento de fontes de energia renováveis e menos poluentes vem crescendo, como o uso das células fotovoltaicas, onde é utilizado para substituir parte do uso (durante o dia) de energia elétrica das companhias, essas placas solares se baseiam na conversão direta de energia solar, que é uma fonte de energia renovável e não poluente, em energia elétrica. Considerando este tema importante dentro do nosso mundo contemporâneo, este artigo pretende auxiliar no esclarecimento de sua utilização e ainda apresentar comparativamente o desempenho de sistemas fotovoltaicos fixos e com rastreadores solares.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção, será apresentada uma breve descrição dos fundamentos teóricos sobre energia solar fotovoltaico, seu estado da arte e seu aproveitamento.

2.1 Histórico das células fotovoltaicas

A conversão fotovoltaica, energia luminosa convertida em energia elétrica, ocorre em única etapa por meio de células solares, aparelhos que convertem radiação solar em corrente elétrica a partir do efeito fotovoltaico (Honorato, 2007). O efeito fotovoltaico foi reportado inicialmente por Edmund Becquerel em 1839, quando observou que a ação da luz em um eletrodo de platina recoberto com prata imerso em um eletrólito produzia corrente elétrica.

A História da primeira célula solar começou em Março de 1953 quando Calvin Fuller, um químico dos Bell Laboratories (*Bell Labs*), em Murray Hill, New Jersey, nos Estados Unidos, desenvolveu um processo de difusão para introduzir impurezas em cristais de silício, de modo a controlar as suas propriedades elétricas (um processo chamado “dopagem”). Fuller (Fig. 1) produziu uma barra de silício dopado com uma pequena concentração de gálio, que o torna semicondutor, sendo as cargas móveis positivas (e por isso é chamado silício do “tipo p”) segundo Requena (2009).

O elevado custo na sua fabricação inviabilizava sua utilização prática a não ser em aplicações especiais, como sistema autônomo de fornecimento de energia elétrica para satélites. Neste caso o custo não era um fator limitante e as características de confiabilidade e de baixo peso, tornaram as células fotovoltaicas a maneira mais conveniente e segura de gerar eletricidade no espaço. Mas em 1978 a produção já chegava a 1 MWp/ano. Com o aumento da escala de produção e a pesquisa de tecnologia em materiais usados na fabricação das células, o custo e o preço começaram a diminuir, conforme descrito por Nascimento (2004).



Figura 1 – Calvin Fuller prepara uma amostra de silício dopado com arsênio para colocá-la em um forno de difusão de modo a criar uma junção p-n.

A década de 90 marca o desenvolvimento acelerado da indústria fotovoltaica. Visando ampliar os horizontes para utilização em massa da energia solar como opção energética, inúmeros programas mundiais foram lançados para a demonstração da viabilidade técnica-comercial da energia solar fotovoltaica em projetos de eletrificação rural nos países em desenvolvimento. A energia solar fotovoltaica tem como “vocação” a utiliza o em pequenas instala es (pequenas cargas) que a torna, econ mica, eficiente e segura. O Brasil dispõe de um dos maiores potenciais do mundo para o aproveitamento de energias renováveis, principalmente a energia solar, que além de ecologicamente correta, é uma fonte inesgotável de energia (Alvarenga, 2001).

2.3 Estrutura e funcionamento das células fotovoltaicas

Ao contrário da maioria dos outros semicondutores, o dispositivo fotovoltaico não usa a estrutura normal do silício, como nos diodos, ao invés disso usa uma fina camada de óxido transparente. Estes óxidos são altamente transparentes e tem alta condutividade elétrica (Fig. 2). Uma camada antirreflexiva é usada para cobrir a célula fotovoltaica. Os cristais policristalinos são grãos minúsculos de material semicondutor, Bühler (2011).

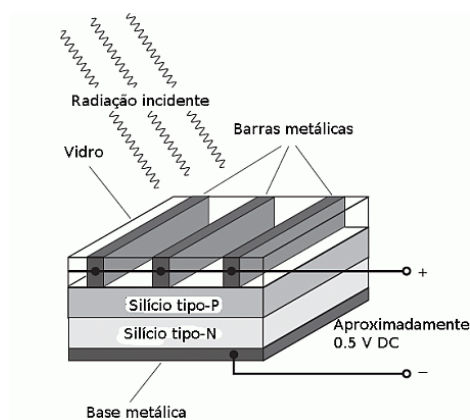


Figura 2 – Estrutura das células fotovoltaicas.

As propriedades dos filmes policristalino são diferentes do silício normal. Ele provou ser melhor para criar um campo elétrico entre dois materiais semicondutores diferentes. A célula é o menor elemento do sistema fotovoltaico,

produzindo tipicamente potências elétricas da ordem de 1,5 W (correspondentes a uma tensão de 0,7V e uma corrente de 3 A). Para obter potências maiores, as células são ligadas em série e/ou paralelo, formando módulos e painéis fotovoltaicos.

O efeito fotovoltaico dá-se em materiais da natureza denominados semicondutores que se caracterizam pela presença de bandas de energia onde é permitida a presença de elétrons (banda de valência) e de outra totalmente “vazia” (banda de condução). O semicondutor mais usado é o silício. Seus átomos se caracterizam por possuírem quatro elétrons que se ligam aos vizinhos, formando uma rede cristalina. Ao adicionarem-se átomos com cinco elétrons de ligação, como o fósforo, por exemplo, haverá um elétron em excesso que não poderá ser emparelhado e que ficará “sobrando”, fracamente ligado, indo para a banda de condução. Diz-se assim, que o fósforo é um dopante doador de elétrons e denomina-se dopante N.

Se, por outro lado, introduzem-se átomos com apenas três elétrons de ligação, como é o caso do boro, haverá uma falta de um elétron para satisfazer as ligações com os átomos de silício da rede. Esta falta de elétron é denominada buraco ou lacuna e ocorre que, com pouca energia térmica, um elétron de um sítio vizinho pode passar a esta posição, fazendo com que o buraco se desloque. Diz-se, portanto, que o boro é um aceitador de elétrons ou um dopante P. Se, partindo de um silício puro, forem introduzidos átomos de boro em uma metade e de fósforo na outra, será formado o que se chama junção P-N (Fig. 2). O que ocorre nesta junção é que elétrons livres do lado N passam ao lado P onde encontram os buracos que os capturam; isto faz com que haja um acúmulo de elétrons no lado P, tornando-o negativamente carregado e uma redução de elétrons do lado N, que o torna eletricamente positivo. Estas cargas aprisionadas dão origem a um campo elétrico permanente que dificulta a passagem de mais elétrons do lado N para o lado P; este processo alcança um equilíbrio quando o campo elétrico forma uma barreira capaz de barrar os elétrons livres remanescentes no lado N. Se uma junção P-N for exposta a fótons com energia maior que o gap (para o Silício é $E_{GAP}=1,12$ eV), ocorrerá a geração de pares elétron-lacuna; se isto acontecer na região onde o campo elétrico é diferente de zero, as cargas serão aceleradas, gerando assim, uma corrente através da junção; este deslocamento de cargas dá origem a uma diferença de potencial ao qual denomina-se de efeito fotovoltaico (Bühler, 2011).

2.4 Tipos de células fotovoltaicas

As células fotovoltaicas são elementos responsáveis pela conversão direta da radiação solar em eletricidade. São nelas que ocorre o efeito fotovoltaico. As primeiras células produzidas possuíam baixo rendimento, em torno de 2 % e custavam US\$ 6000 por Watt. Porém atualmente já se encontram células com eficiência acima de 15 % e com custos inferiores a US\$ 1 por Watt. Elas podem ser fabricadas usando diversos tipos de materiais semicondutores, porém as mais utilizadas comercialmente são as de silício, que podem ser constituídas e classificadas de acordo com a sua estrutura molecular, comercialmente destacam-se as de silício monocristalino, silício multicristalino e filmes finos conforme descrito por Braga (2008).

2.4.1 - Células de silício monocristalino

Estas células são obtidas a partir de barras cilíndricas de silício monocristalino produzidas em fornos especiais. As células são obtidas por corte das barras em forma de pastilhas finas ($0,4 - 0,5$ mm² de espessura). A sua eficiência na conversão da luz solar em eletricidade é superior a 15 %.

2.4.2 - Células de silício multicristalino

Estas células são produzidas a partir de blocos de silício obtidos por fusão de silício puro em moldes especiais. Uma vez nos moldes, o silício esfria lentamente e solidifica-se. Neste processo, os átomos não se organizam em um único cristal. Forma-se uma estrutura multicristalina com superfícies de separação entre os cristais. Sua eficiência na conversão de luz solar em eletricidade é ligeiramente menor do que nas de silício monocristalino.

2.4.3 - Filmes finos

Destacam-se as de silício amorfo, estas são obtidas por meio da deposição de camadas finas de silício sobre superfícies de vidro ou metal. Sua eficiência na conversão de luz solar em eletricidade varia entre 5% e 7%. O mais recente competidor no mercado fotovoltaico para geração de energia elétrica é o CdTe, também na forma de filmes finos. Outro competidor do mercado no futuro próximo são os compostos baseados no disseleneto de Cobre e Índio (CIS), principalmente por seu potencial atingir eficiência relativamente elevada.

2.5- Módulos fotovoltaicos

Os módulos fotovoltaicos são componentes essenciais nos sistema de energia fotovoltaica, visto que sem eles não seria possível converter a radiação solar em energia elétrica. São conjuntos de células fotovoltaicas interligadas entre si com o objetivo de converter energia solar em energia elétrica. Ao conjunto de células fotovoltaicas normalmente dá-se o nome de módulo. Quando se tem vários módulos ligados entre si forma-se, um *array*. Os módulos fotovoltaicos podem ser ligados entre si de forma a criarem *arrays*. O objetivo de ligar os módulos fotovoltaicos prende-se com a

necessidade de ter uma maior tensão ou corrente nos terminais. Os módulos fotovoltaicos podem ser associados de duas maneiras, em série ou em paralelo. A associação em série permite obter maiores tensões enquanto se mantém a corrente estipulada do módulo. A associação em paralelo permite obter maiores correntes enquanto se mantém a tensão estipulada do módulo. É normal utilizar-se os dois tipos de associação ao mesmo tempo (Cortez, 2013).

2.6 - Rastreadores solares

O rastreador solar é um dispositivo que permite o ajuste de ângulo de um módulo fotovoltaico de tal forma que este esteja sempre voltado para o sol, fazendo com que aumente a incidência de raios solares perpendiculares à superfície dos módulos (Oliveira, 2008). Este ajuste permite que haja um melhor aproveitamento da energia emitida pelo sol por meio de raios solares, aumentando assim a produção energética.

Existem vários modelos de rastreadores solares, os quais podem ser classificados de diversas formas. Em um trabalho publicado pelo instituto de engenharia elétrica da USP, os rastreadores solares são classificados de acordo com o número de eixos, tipo de estrutura, tipo de controle e estratégia de rastreamento (USP, 2012). Por exemplo, o rastreador de único eixo com orientação vertical que pode ser chamado também de rastreador Azimutal. Rastreador de um eixo com orientação horizontal pode ser chamado também de rastreador Zenital. Neste trabalho serão adotadas as seguintes classificações: horizontal, vertical, único eixo inclinado e dois eixos. Os rastreadores podem ser classificados também com relação ao mecanismo de rastreamento, sendo passivo, ativo, cronológico ou misto (Marques, 2012). Informações sobre o estado da arte dos rastreadores solares e o desenvolvimento de protótipos podem ser encontradas em Cortez (2013), Castañeda (2011) e Oliveira (2007).

3. MATERIAS E MÉTODOS

Na elaboração deste estudo, utilizar-se-á um software computacional para simulação de situações onde será avaliada de forma comparativa a utilização ou não de sistemas fotovoltaicos com rastreadores solares.

3.1 - Software SAM (System Advisor Model)

Software desenvolvido pelo NREL (*National Renewable Energy Laboratory*) dos Estados Unidos, que possibilita rodar simulações de diversos sistemas de energia, entre eles sistemas fotovoltaicos de pequena escala, que é o caso deste estudo (NREL, 2013). O SAM permite fazer desde análise energética até análise econômica dos sistemas, gerando no final das simulações tabelas e gráficos com todos os dados gerados. Ao iniciar o SAM, o primeiro passo é selecionar o tipo de sistema que será simulado, em seguida basta selecionar os dados de radiação do local a ser analisado. Posteriormente basta selecionar o módulo fotovoltaico, o inversor, organizar o arranjo dos módulos e em seguida colocar o software para calcular e simular os dados.

3.2 - Sistemas fotovoltaicos

O sistema a ser simulado nesta análise é do tipo SFCR (Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede), sendo constituído basicamente pelos seguintes equipamentos:

- 33 módulos Kyocera modelo KD 230GX-LFB, com potência nominal de 230 W_p cada um, eficiência 14,51 %, tecnologia das células de silício multicristalino, sendo 3 strings em paralelo com 11 módulos em série para cada string;
- Um inversor SMA modelo SB7000US 208 V, com potência e eficiência máximas de 7366,1 W_{CC} e 95,76 %.

A potência nominal do sistema avaliado é de 7,58 kW_p e a área total dos módulos é de 52,3 m². Após montar o sistema, serão executadas as simulações para duas cidades brasileiras gerando 4 simulações para cada cidade, sendo que a diferença entre cada simulação reside apenas no sistema de rastreamento solar, ou seja, uma simulação com o sistema fixo voltado para o ponto que maximiza a geração ao longo do ano (orientação norte e inclinação igual à latitude), uma com um sistema de seguimento apenas azimutal, outra com seguimento apenas zenital e outra simulação com seguimento nos dois eixos (azimutal e zenital). As cidades escolhidas para simulação dos sistemas fotovoltaicos foram Petrolina - PE e Florianópolis - SC. Essas escolhas se baseiam no fato de que as duas cidades possuem incidência solar bastante diferente, pois uma cidade fica no sul, onde há muita nebulosidade e variações sazonais, e a outra cidade está localizada no nordeste, onde há elevados índices de radiação solar. Desta forma será possível avaliar como os sistemas de seguimento solar irão se comportar em ambas as situações.

3.3 - Geração de dados

Os dados que serão utilizados na análise dos casos de estudo serão obtidos em parte pelo software, mas também serão calculados alguns outros índices, chamados de índices de mérito técnico dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR), que permitem avaliar melhor a eficiência e produtividade do sistema fotovoltaico. Os dados que o SAM fornece são dados de geração de energia e dados da quantidade de radiação que chega ao sistema, e desta forma,

utilizando esses dados e os dados técnicos do sistema, é possível calcular os índices de mérito técnico. Neste estudo será avaliado os dados com valores mensais ao longo de 1 ano, mas lembrando que poderiam ser avaliados dados em outra base de tempo. Os principais índices técnicos são apresentados pelas Eqs. (1-5):

$$\eta = E_{CA} / E_{FV} \quad (1)$$

$$FC = E_{CA} / E_{STD} \quad (2)$$

$$YF = E_{CA} / P_{STD} \quad (3)$$

$$YR = H_{(\gamma,\beta)} / G_{STD} \quad (4)$$

$$PR = YF / YR \quad (5)$$

Onde:

η : é a eficiência do sistema;

E_{CA} : é a energia elétrica em corrente alternada produzida pelo sistema (energia final);

E_{FV} : é a energia que o sistema produziria caso aproveitasse toda a radiação incidente no mesmo;

FC : é o fator de capacidade do sistema, serve para calcular a porcentagem de energia que foi produzida em relação à quantidade que o sistema produziria se operasse 24 horas por dia durante todo o mês em potência nominal;

E_{STD} : é a energia que o sistema produziria se o mesmo trabalhasse 24 horas por dia durante todo o mês em sua potência nominal;

YF : é o equivalente número de horas que o sistema teria que trabalhar em sua potência nominal para produzir a mesma quantidade de energia que no caso real;

P_{STD} : é a potência nominal do sistema fotovoltaico;

G_{STD} : é o valor de 1 kW/m²;

$H(\gamma,\beta)$: é a radiação total incidente sobre o sistema fotovoltaico;

YR : é o número equivalente em horas de sol nominal, ou seja, o número de horas de sol a 1 kW/m²;

PR : é conhecido como “Performance Ratio”, sendo a razão entre o YF e o YR , basicamente é uma razão entre a produtividade e a quantidade de horas de sol a 1 kW/m².

4. RESULTADOS

Após rodar as simulações e calcular os índices técnicos, estes serão apresentados e analisados comparativamente.

4.1 - Energia produzida mensalmente

A Fig. 3 mostra os valores de energia obtidos mensalmente durante um período de 1 ano para a cidade de Florianópolis.

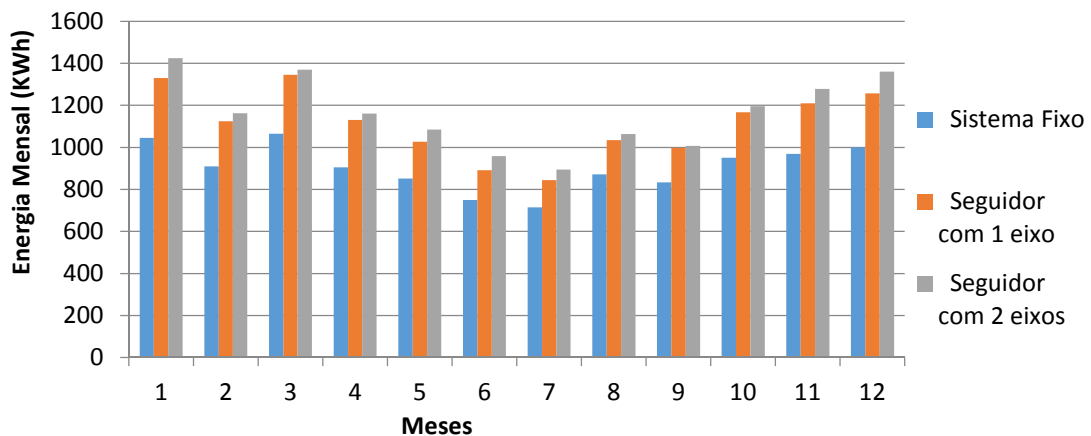


Figura 3 – Energia Produzida mensalmente na cidade de Florianópolis no período de 1 ano.

Observando a Fig. 3, percebe-se que os sistemas que possuem seguimento solar produziram maior quantidade de energia do que o sistema sem seguimento solar, sendo que o sistema com seguimento nos dois eixos foi o caso onde houve maior geração. De maneira análoga, a Fig. 4 mostra a energia produzida mensalmente para a cidade de Petrolina.

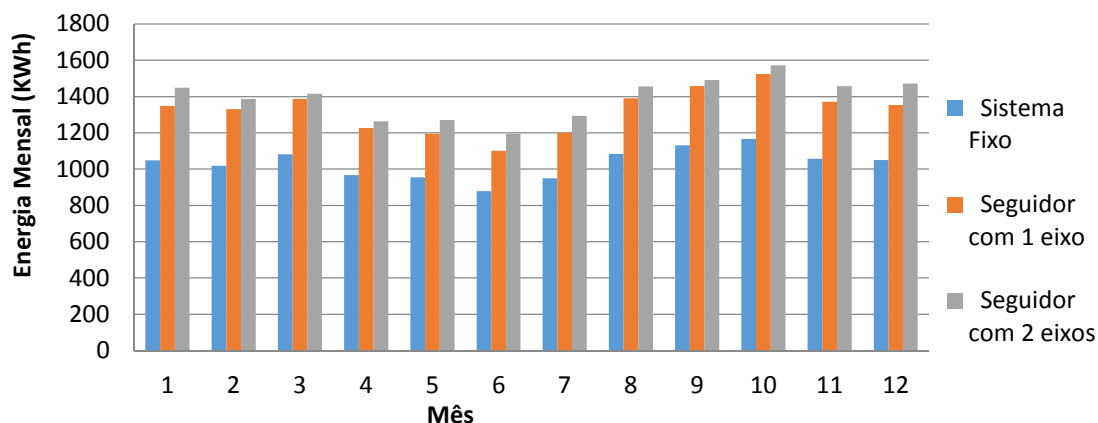


Figura 4 – Energia Produzida mensalmente na cidade de Petrolina no período de 1 ano.

No caso da cidade de Petrolina, observa-se a mesma situação da Fig. 3, porém agora a curva ficou mais uniforme, isto porque na cidade de Petrolina a irradiância é mais uniforme ao longo do ano em comparação com a cidade de Florianópolis, resultando em uma geração de energia mais uniforme durante o ano. Os sistemas fotovoltaicos com rastreamento solar normalmente são indicados apenas para locais em que predomina a componente direta da radiação solar, sendo que Florianópolis não apresenta esta característica, mas Petrolina tem predomínio desta componente, sendo que esta diferença foi das razões pela escolha destas duas cidades. Uma análise interessante de ser feita é considerar como caso base o sistema fixo e mostrar a porcentagem de energia que é gerada a mais com o uso de rastreador solar, conforme mostra Tab. 1.

Tabela 1 – Comparativo do ganho energético ao utilizar seguimento solar.

Mês	Energia Gerada com sistema Fixo kWh		Porcentagem Extra de energia em relação ao sistema fixo com o rastreador em 2 eixos		Porcentagem Extra de energia em relação ao sistema fixo com o rastreador em 1 eixo	
	Petrolina	Florianópolis	Petrolina	Florianópolis	Petrolina	Florianópolis
1	1047,87	1045,10	38,26	36,34	28,59	27,29
2	1019,07	909,33	36,13	27,90	30,59	23,73
3	1082,58	1065,22	30,79	28,55	28,11	26,24
4	967,22	905,21	30,67	28,16	26,8	24,84
5	954,54	851,07	33,20	27,44	25,12	20,59
6	878,13	749,61	36,03	27,87	25,31	18,91
7	950,26	715,25	36,09	25,02	26,3	18,12
8	1084,31	870,98	34,20	22,15	28,3	18,75
9	1130,74	833,11	31,93	20,86	28,99	19,74
10	1165,76	950,49	34,86	25,75	30,82	22,75
11	1056,62	969,48	37,90	31,80	29,72	24,76
12	1049,77	998,96	40,18	36,18	28,94	25,83

4.2 - Índices de mérito técnico

Esses índices são muito importantes na avaliação do sistema, isto porque eles são padronizados, e desta forma é possível compará-los com qualquer outro sistema, independentemente de seu tamanho e potência instalada.

4.2.1 - Fator de capacidade (FC)

O fator de capacidade é o índice que relaciona a energia gerada pelo sistema fotovoltaico ao longo de um determinado período a energia que seria gerada se o mesmo operasse continuamente em sua potência nominal ao longo do mesmo período considerado. As Figs. 5 e 6 apresentam o fator de capacidade dos diferentes sistemas fotovoltaicos simulados para as cidades de Florianópolis e Petrolina, respectivamente.

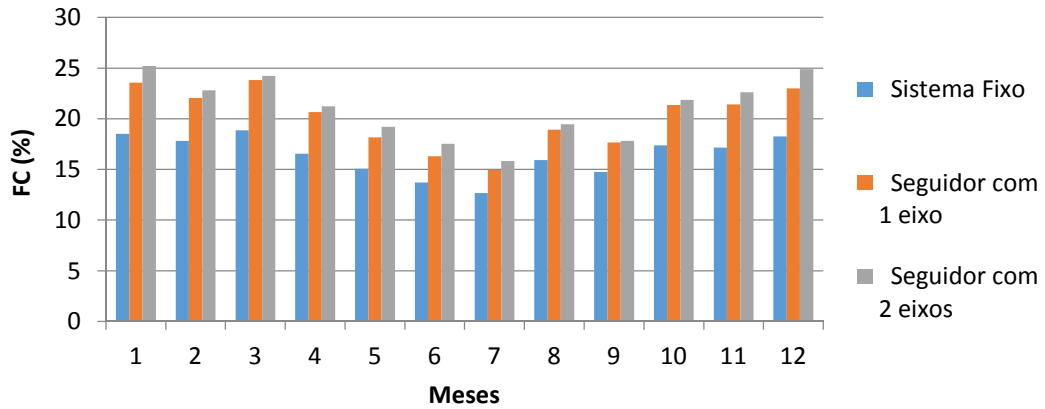


Figura 5 – Fator de Capacidade para o sistema fotovoltaico localizado na cidade de Florianópolis no período de 1 ano.

Como se pode observar, as curvas de FC são parecidas com as curvas de geração de energia, isto porque nos meses de inverno, quando há uma menor produção de energia, o sistema está utilizando menor capacidade de produção, por este motivo o fator de capacidade também será menor. É importante avaliar também que para os sistemas com rastreador solar o fator de capacidade é maior, ou seja, o sistema está utilizando melhor sua capacidade de produção nesses casos. O fator de capacidade é maior para o caso em que se usa rastreador solar com 2 eixos, pois dessa forma se aproveita ao máximo a capacidade de geração do sistema.

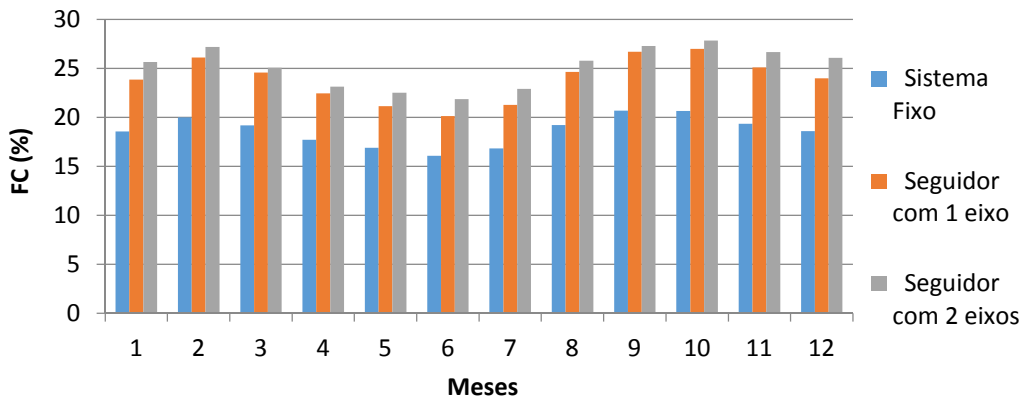


Figura 6 – Fator de Capacidade para o sistema fotovoltaico localizado na cidade de Petrolina no período de 1 ano.

4.2.2 – Produtividade YF

O YF é um índice bastante importante, ele indica o número de horas que o sistema teria que operar em potência nominal para gerar a quantidade de energia que foi gerada no período. As Figs. 7 e 8 mostram como este índice varia para os diferentes sistemas simulados.

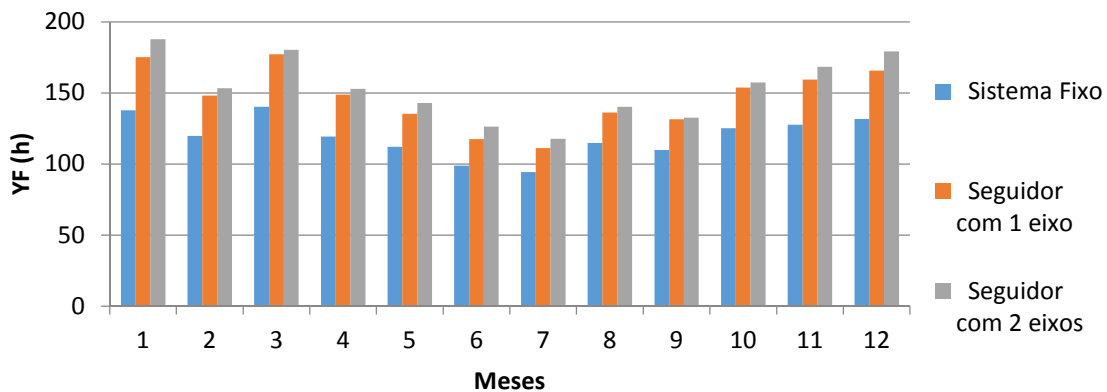


Figura 7 – YF mensal para o sistema fotovoltaico localizado na cidade de Florianópolis no período de 1 ano.

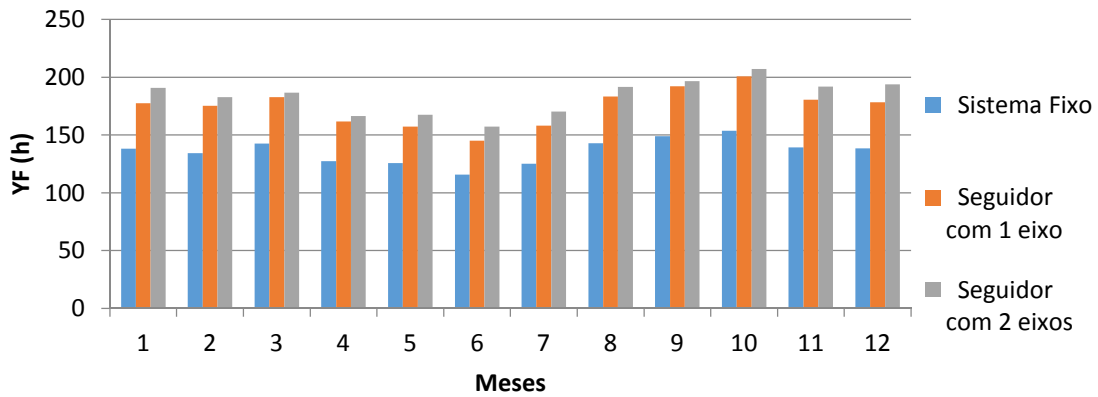


Figura 8 – YF mensal para o sistema fotovoltaico localizado na cidade de Petrolina no período de 1 ano.

Observa-se que o YF também varia conforme a existência ou não de rastreador solar, seguindo o mesmo raciocínio, para os sistemas com seguimento solar, o YF é maior. Isto porque o sistema vai produzir mais energia, e pela definição do YF, ele teria que trabalhar mais horas na potência nominal para produzir essa energia extra.

4.2.3 - Performance Ratio – PR

O PR é o índice que relaciona a produtividade do sistema YF e o recurso solar disponível YR. Este é um dos índices mais utilizados como referência no desenvolvimento e análise de sistemas fotovoltaicos. As Figs. 9 e 10 apresentam os valores de PR para as duas cidades analisadas.

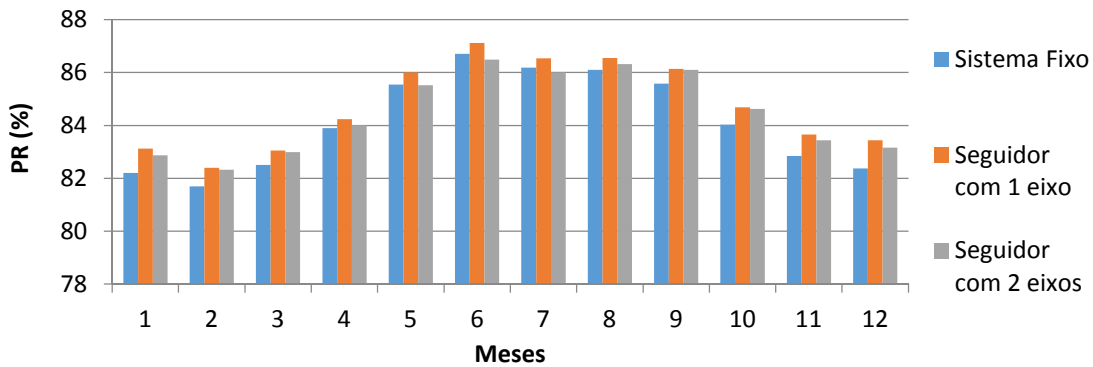


Figura 9 – PR mensal para o sistema fotovoltaico localizado na cidade de Florianópolis no período de 1 ano.

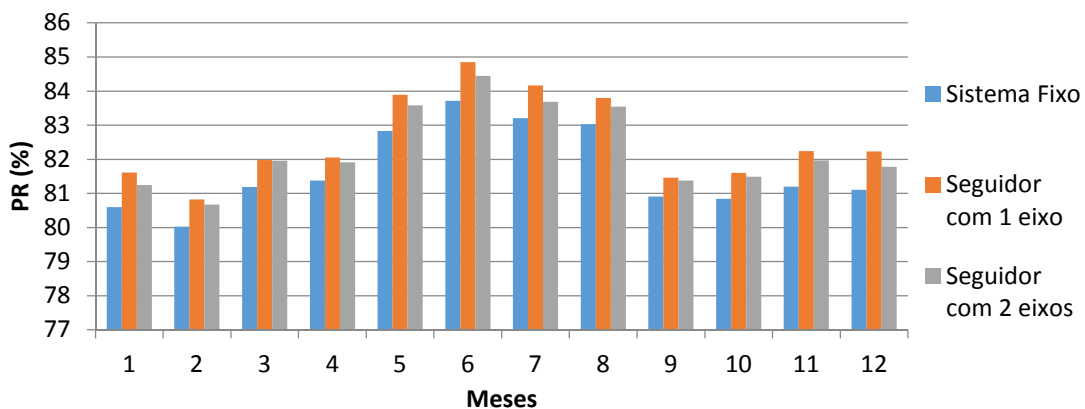


Figura 10 – PR mensal para o sistema fotovoltaico localizado na cidade de Petrolina no período de 1 ano.

Para o PR não há grande variação quando se utiliza ou não sistema de seguimento solar, pois este é a razão entre YF e YR, e já que os dois aumentam quando se tem um sistema de seguimento solar, então o PR praticamente não é alterado por esse motivo. O PR é mais influenciado pela sazonalidade, ou seja, quando há maior incidência de radiação nos módulos (verão), o YR aumenta e embora o YF também aumente, este aumento é pode ser proporcionalmente menor devido à temperatura de operação dos módulos. Como qualquer sistema elétrico, existem perdas e as principais

perdas ocorrem na conversão fotovoltaica e em menor proporção na conversão de corrente contínua para corrente alternada (inversor). A eficiência do sistema ficou em torno de 12%, mesmo que os módulos fotovoltaicos possuam eficiência de 14,51%. Isto se deve as perdas citadas anteriormente.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou os resultados e as análises de desempenho, obtidas a partir de simulações, de sistemas fotovoltaicos fixos e com rastreador solar em diferentes cidades. Observa-se que há significativa diferença entre os sistemas que possuem e os que não possuem rastreador solar, pelo simples fato de que os sistemas com rastreamento solar conseguem a condição de que o ângulo de incidência nos módulos fotovoltaicos seja mais favorável, aumentando assim a energia gerada. Vale ressaltar que para a instalação de um sistema de rastreamento solar há um custo financeiro e energético. Estes custos não foram considerados neste artigo, uma vez que o objetivo deste artigo é avaliar comparativamente a influência de um sistema de seguimento solar na geração fotovoltaica.

Os sistemas fotovoltaicos com rastreamento solar normalmente são indicados apenas para locais em que predomina a componente direta da radiação solar, sendo que Florianópolis não apresenta esta característica, mas Petrolina tem predomínio desta componente. Foi possível perceber também que para a cidade de Petrolina os efeitos do uso de um recurso de rastreamento solar foram maiores, isto porque no nordeste, que é onde se localiza Petrolina, a incidência de radiação é mais elevada e constante ao longo do ano, diferentemente de Florianópolis onde há menor incidência de radiação solar.

REFERÊNCIAS

- Alvarenga, C. A. Energia solar. UFLA/FAEPE, Lavras, MG, 2001.
- Braga, R. P. Energia solar fotovoltaica Fundamentos e Aplicações. UFRJ Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Elétrica: Rio de Janeiro. 2008 p 33.
- Bühler, A. J. Estudo de Técnicas de Determinação Experimental e Pós-Processamento de Curvas Características de Módulos Fotovoltaicos. Tese de Doutorado, PROMEC/UFRGS, Porto Alegre RS, 2011.
- Castañeda, C. E. F. Desenvolvimento de um Rastreador Solar Passivo por Transferência de Massa. Dissertação, PRODETEC/LACTEC, Curitiba, PR, 2011.
- Cortez, R. J. M. Sistema de Seguimento Solar em Produção de Energia Fotovoltaica. Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores. FEUP – Faculdade de engenharia do Porto, 2013.
- Honorato, F. P. P. Tecnologia para Texturização Hemisférica Suave de Células Solares Fotovoltaicas; Dissertação (mestrado) ; UFMG – Belo Horizonte, 2007, p20 e p24.
- Marques, Afonso. Seguidores Solares. Disponível em: <<http://www.profafonso.com/>>. Acessado em: 17 Nov. 2013.
- Requena, M. B. Células Solares: Fundamentos e Aplicações. Departamento de Física. UNESP. Rio Claro, 2009, p 18.
- Nascimento, C. A. Princípio de funcionamento da célula Fotovoltaica, Lavras, MG, 2004. Disponível em <http://www.solenerg.com.br/files/monografia_cassio.pdf>.
- NREL, National Renewable Energy Laboratory. System Advisor Model (SAM). Disponível em: <<https://sam.nrel.gov/content/downloads>>.
- Oliveira, M. M. Análise de desempenho de um gerador fotovoltaico com seguidor solar azimutal. Dissertação, PROMEC/UFRGS, Porto Alegre, RS, 2008.
- Oliveira, C. A. A. Desenvolvimento de um Protótipo de Rastreador Solar de Baixo Custo e sem Baterias. Dissertação, PROTEN/UFPE, Recife, PE, 2007.
- USP, Universidade de São Paulo. Fontes Alternativas de energia. Disponível em: <http://fisica.cdcc.sc.usp.br/olimpiadas/01/artigo1/fontes_eletrica.html>. Acessado em: 18 Nov. 2013.

PERFORMANCE OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS: FIXED AND WITH SOLAR TRACKER

Abstract. *This paper presents the analysis of the performance of the fixed photovoltaic systems and PV Systems with solar tracker. To perform the simulations we used software developed by NREL (National Renewable Energy Laboratory) in the United States, which allows running simulations of various energy systems, including photovoltaic systems. The chosen locations for the simulation of PV systems were two cities, Petrolina - PE and Florianópolis - SC. The simulated photovoltaic systems are the type Grid-Connected Photovoltaic System. There is a significant difference in the performance of the simulated systems, the simple fact that the tracking solar systems can optimize the capture of solar energy, since the sun's rays are always perpendicular to focusing on photovoltaic modules, thus increasing the power generated. It is noteworthy that there is to installing a solar tracking financial and energy cost. These costs were not considered in this paper, since the purpose of this paper is to evaluate the influence of a solar tracking system in photovoltaic generation.*

Keywords: *Solar Energy, photovoltaic systems, solar trackers.*