

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO COMERCIAL DE 14,56 kWp NO MUNICÍPIO DE SERRA

Beatrice Ryie Shimoura Narimatu – beatricenarimatu@gmail.com

Felipe Alvim Cribari – f.alvincribari@gmail.com

Warley Teixeira Guimarães – wtguimaraes@gmail.com

Centro Universitário FAESA - Unidade das Engenharias

Resumo. A micro usina fotovoltaica referente a este artigo está localizada no município de Serra e entrou em operação em junho de 2016 com potência instalada de 14,56 kWp, com o objetivo de reduzir os custos de energia elétrica de um estabelecimento comercial. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho deste sistema fotovoltaico conectado à rede, de forma a comparar os dados de geração de energia elétrica estimados com os dados reais de geração registrados e seus respectivos índices de mérito. Seguidos por comparar os resultados obtidos com os índices de mérito de outros dois sistemas fotovoltaicos conectados à rede localizados no município de Curitiba. O sistema avaliado apresenta rendimento de 88,28%, enquanto que, 69,99% para o Escritório Verde do município de Curitiba e 70,05% para o edifício da empresa Elco também localizada no município de Curitiba. Conclui-se que a produção de energia do edifício comercial do município de Serra está atendendo ao objetivo de reduzir os custos de energia, e apresenta valores elevados de eficiência do microgerador, mesmo sob efeitos dos fatores climáticos e poluição local.

Palavras-chave: Desempenho, Energia Solar, Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede.

1. INTRODUÇÃO

Diante das necessidades e os avanços tecnológicos, a procura por produtos alimentados por energia elétrica tem crescido rapidamente, levando o consumo de energia elétrica mundial a um aumento instável. Pereira *et al.* (2014) diz que para atender à crescente demanda de energia são necessários altos investimentos em: barragens para construção de usinas hidrelétricas; usinas termelétricas convencionais ou nucleares; exploração de petróleo e seus derivados; no desenvolvimento de fontes alternativas de energia.

Em publicação a Agência de Serviços Públicos de Energia do Estado do Espírito Santo – ASPE (2013), diz que:

A Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency* - IEA), mostra que as fontes renováveis avançam na geração de energia: o cenário mostra um aumento da quota de energias renováveis para a geração de energia elétrica mundial de 20% em 2010, de 28% em 2020 e 57% até 2050. Nesse cenário, 7.500 TWh de eletricidade renovável serão gerados em 2020 contra a geração total de 27.165 TWh. Hidrelétricas dão a maior contribuição (17% da geração total de eletricidade), seguida pelas fontes eólica (6%), biomassa e resíduos (3%) e solar (2%).

De acordo com os dados da Matriz de Energia Elétrica da ANEEL (2017), o Brasil possui um total de 155.568.945 kW de potência instalada com previsão para crescimento de mais 21.549.839 kW para os próximos anos. De todo valor de produção de energia elétrica no país atualmente cerca de 61,084% dessa energia é gerada através de usinas hidrelétricas; 1,215% por usinas nucleares; 7,177% por usinas eólicas e apenas 0,254% por usinas solares.

Em maio de 2017 o número de mini e micro geradores de energia elétrica superou 10 mil instalações no Brasil. 10.385 micro e mini usinas com potência instalada de 113.195,48 kW. Destas, 10.280 instalações de energia solar. O estado com o maior número de micro e mini geradores é Minas Gerais (2.225 conexões), seguido de São Paulo (2.094) e Rio Grande do Sul (1.096). O estado do Espírito Santo contribui com 482 conexões com potência de 1.518,27 kW (ANEEL, 2017).

Esse estudo visa obter informações do comportamento real de um sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR) instalado e comparar os resultados obtidos com outros dois sistemas fotovoltaicos localizados no município de Curitiba, como forma de apresentar os benefícios da energia solar fotovoltaica e o comportamento destes sistemas, mesmo quando considerados fatores que reduzem a produção de energia elétrica. Os dados utilizados para comparação foram escolhidos por estes apresentarem registros superiores a um ano, de acordo com estudos de Gehring, Lopes e Dalmolin (2015) e Machado e Correa (2015).

2. FATORES QUE INFLUENCIAM O DESEMPENHO DO SISTEMA FV

Entre as fontes mais eficientes de energia limpa, renovável e compatível com projetos de expansão econômica e desenvolvimento social destaca-se nitidamente a energia solar, devido à sua confiabilidade e à consistente redução dos custos das tecnologias utilizadas em sua exploração (ASPE, 2013).

Porém, os níveis de produção de energia elétrica dos módulos fotovoltaicos, são irregulares, de forma que essas possam exceder os níveis planejados como em dias de irradiação solares mais intensos, ou até mesmo com maior tempo de exposição solar. Entretanto, há fatores que causam perdas de desempenho durante o processo de produção de energia dos módulos.

Deve-se lembrar de que a temperatura ambiente não está relacionada à irradiação, porém também influencia no desempenho de produção de energia dos módulos. A corrente gerada nos módulos aumenta linearmente com o aumento da Intensidade luminosa. Por outro lado, o aumento da temperatura na célula faz com que a eficiência do módulo caia abaixando assim os pontos de operação para potência máxima (CRESESB, 2006). Por ficarem expostos ao sol os painéis sofrem com aquecimentos em dias de maior temperatura com alta incidência de irradiação solar, de forma a afetar a produção de energia elétrica dos sistemas fotovoltaicos.

De acordo com Buiatti *et al.* (2016), sobre os ângulos de inclinação dos módulos visando a maximização da produção anual e considerando a localização do país estar no hemisfério sul, é usual considerar que os arranjos fotovoltaicos estejam orientados para o Norte e considerar a inclinação do arranjo sendo a mesma da latitude do local de instalação. Os níveis de irradiação solar são diferentes para cada região do país e quanto melhor os índices de irradiação de uma região, melhor será a produção de energia.

Para Guimarães *et al.* (2013), o sombreamento causado pela poluição atmosférica pode, em muitos casos, ser reduzido pela chuva, mas também existem chuvas que depositam impurezas sobre a cobertura de vidro dos geradores. Estas impurezas quando acumuladas em longo prazo causam sombreamento nos módulos, afetando sua produção de energia. Logo, a higienização dos módulos é de grande importância não apenas para produção de energia, mas também para que não ocorram perdas dos módulos de forma que estes venham a ser descartados e substituídos. Segundo informações de estudo publicadas pela USP (2014), biofilmes superficiais formados por fungos e outros microrganismos e outros materiais particulados associados, podem reduzir em até 10% a produção de energia de painéis fotovoltaicos.

3. PRODUTIVIDADE E DESEMPENHO

Com o objetivo de se comparar o desempenho de sistemas fotovoltaicos operando sob diferentes configurações e em diferentes localidades, a engenharia de sistemas fotovoltaicos se utiliza de alguns indicadores de produtividade, conhecidos como índices de mérito. Esses índices permitem verificar se um determinado sistema fotovoltaico está produzindo energia de forma otimizada ou se deve ser reconfigurado para aproveitar ao máximo o recurso solar disponível (BENEDITO, 2009).

A Produtividade anual, ou YF (Final Yield) é fundamental para a determinação do desempenho de um sistema fotovoltaico, correspondente à energia gerada em kWh pela potência instalada do sistema em kWp, permitindo a comparação da energia produzida de diversos sistemas fotovoltaicos com potências diferentes. Segundo Benedito (2009) em último caso, YF representaria o número de horas que o sistema deveria operar em sua potência nominal para produzir a mesma quantidade de energia entregue no período.

O desempenho global, ou PR (Performance Ratio) é uma unidade de medida que atribui um fator de qualidade ao sistema, também chamado de taxa de desempenho. O objetivo da Performance Ratio é fornecer relação entre rendimento real gerado por um sistema fotovoltaico com o rendimento esperado visto nos cálculos. Seu valor é dado em porcentagem, de modo a fornecer a proporção de energia disponível e o consumo. Em virtude de ser independente do alinhamento de um sistema fotovoltaico e da radiação, a Performance Ratio pode ser utilizada para comparações de sistemas fotovoltaicos de locais diferentes (SMA, 2011).

A Performance Ratio informa acerca da eficácia energética e da fiabilidade de um sistema fotovoltaico comparando assim o rendimento de um sistema fotovoltaico com rendimento de outros sistemas fotovoltaicos ou o estado do sistema fotovoltaico monitorizado durante um longo período de tempo (Carvalho, 2011).

Sobre os valores da Performance Ratio, quanto mais próximos de 100% estiver o valor da PR, mais eficaz é este sistema fotovoltaico. Um valor de 100% nunca será atingível na realidade, pois durante a operação do sistema fotovoltaico também ocorrem perdas inevitáveis. Sobretudo, sistemas fotovoltaicos eficientes atingem no mínimo 80%. O acompanhamento regular da PR com intervalos de tempo regulares não se destina a uma comparação absoluta e sim ao controle do progresso do rendimento do sistema fotovoltaico, sendo assim possível detectar falhas (SMA, 2011).

4. METODOLOGIA

O sistema fotovoltaico conectado à rede foi instalado em um edifício comercial, localizado na Praia da Baleia, no município de Serra/ES, sobre telhas de fibrocimento, fixado a uma estrutura de alumínio com inclinação de 15° voltada para norte geográfico e é composto por 56 módulos de 260 W do fabricante Canadian Solar modelo CS6P-260, classificação A pelo INMETRO, com 60 células de silício policristalino cada módulo, 16,16% de eficiência, dimensões

de 1,64 x 0,99 x 0,35 m, pesando 18,5 kg, com tensão de circuito aberto de 37,5 V, corrente de curto circuito de 9,12 A. As principais informações dos módulos na Tab. 1.

Tabela 1 - Dados do módulo.

CS6P-260P	
Potência nominal	260Wp
Tensão circuito aberto	37,5V
Corrente de curto circuito	9,12A
Eficiência do modulo	16,16%

Os módulos foram dispostos em quatro fileiras de 14 módulos Fig. 1 interligados em série por cabo de 6 mm² do fabricante Conduspar, de material em cobre eletrolítico com isolamento para tensões nominais de até 1000 V.



Figura 1 - Instalação fotovoltaica município de Serra.

O arranjo fotovoltaico foi conectado a um inversor do fabricante Fronius modelo Symo 15.0-3-M de 15 kW com eficiência de 98%. Dados do inversor na Tab. 2.

Tabela 2 - Dados do inversor.

Symo 15.0-3 208	
DADOS DE ENTRADA DC	
Potência PV recomendada (kWp)	12.0 - 1935
Máx. corrente de entrada (Idc)	50.0 A
Faixa de tensão da operação	200 - 600 V
Máx. tensão de entrada	1000V
DADOS DE SAÍDA AC	
Máx. potência de saída	15000 W
Máx. corrente de saída 208	23,9A
Máx. eficiência	98%
Frequência	60 HZ
Distorção Harmônica Total	< 3.5 %
Fator de Potência	0-1 ind./cap.

Para a análise do sistema fotovoltaico foram definidos alguns parâmetros, dentre eles o cálculo da quantidade de energia estimada E_e , representado pela Eq. (1), a partir das especificações do fabricante dos painéis e do inversor, juntamente aos dados de irradiação fornecidos pelo Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito - CRESESB, originados da estação mais próxima, localizada no município de Vitória a 21,7 km de distância da usina de micro geração.

$$E_e = R \cdot A_m \cdot \eta_m \cdot \eta_i \cdot n_{dm} \cdot N_m \quad (1)$$

Onde E_e é a quantidade de energia estimada (kWh/mês), R é a taxa média de irradiação solar (kWh/m².dia), A_m é a área do módulo (m²), η_m é a eficiência do módulo fotovoltaico (%), η_i é a eficiência do inversor (%), n_{dm} é o número de dias no mês (dias), N_m é o número de módulos do arranjo.

O índice produtividade (YF) relaciona a geração real com a capacidade do sistema, enquanto o rendimento global (PR) relaciona a produtividade do sistema com a energia disponibilizada para este.

Para avaliação de desempenho do sistema fotovoltaico, serão utilizados os índices de mérito: YF (*Final Yield*) que é a produtividade (kWh/kWp) e PR (*Performance Ratio*) também chamada de rendimento global (%).

A produtividade é calculada a partir da Eq. (2).

$$YF = \frac{E_g}{P_i} \quad (2)$$

E_g é a quantidade de energia gerada por mês (kWh), P_i é a potência instalada (kWp).

O rendimento global é calculado pela Eq. (3).

$$PR = \frac{E_g * 100}{E_e} \quad (3)$$

Para realizar a avaliação de desempenho foram utilizados os dados registrados da geração da micro usina fotovoltaica no período de um ano, referentes aos meses de junho de 2016 até maio de 2017. Os dados de produção de energia foram registrados diariamente com o uso do software de monitoramento do inversor da instalação, de modo a fornecer em tempo real os valores de geração de energia do sistema fotovoltaico em kWh e realizar a comparação dos resultados obtidos a partir dos índices de méritos YF e PR com os índices de mérito de outros dois sistemas fotovoltaicos conectados à rede localizadas em Curitiba/PR.

4.1 Análise operacional do sistema

A conexão dos módulos foi realizada em quatro fileiras com 14 módulos fotovoltaicos cada com tensão operacional de 425 V por fileira conectadas a um inversor de 15 kWp, com faixa de tensão de operação entre 200 V e 600 V, visto na Fig. 2.

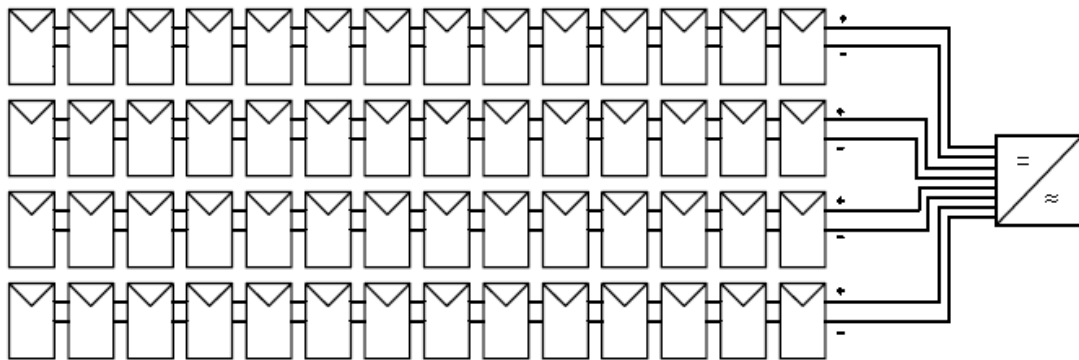


Figura 2 - Distribuição dos módulos interligados em série.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com os dados de produção registrados durante o ano de acompanhamento foi elaborada a Fig. 3, que mostra o comparativo entre os valores de energia real registrados e a energia estimada para produção deste sistema fotovoltaico em unidades de kWh/mês. Observa-se que nos meses de junho, outubro, novembro, dezembro, fevereiro, março, abril e maio, a energia gerada pelo sistema foi inferior aos valores estimados nos cálculos. Este acontecimento pode ter sido ocasionado por diversas causas, dentre elas os fatores climáticos.

Nos meses de julho, agosto e setembro os valores de geração de energia real ultrapassam os valores previstos. Enquanto no mês de janeiro os valores de geração real estão próximos aos valores de geração estimados. Verificando os valores de produção gerada no período estudado, observa-se que os valores do SFCR oscilam entre o mínimo de 1417,2 kWh e máximo de 2624,89 kWh, correspondente aos meses de janeiro e junho respectivamente.

Considerando que o principal objetivo para a instalação desta micro usina no estabelecimento comercial era reduzir os custos com energia elétrica, e analisando os valores de produção de energia reais e estimados, observa-se que este SFCR apresenta bom rendimento, com valores de produção média mensal de 1962,93 kWh.

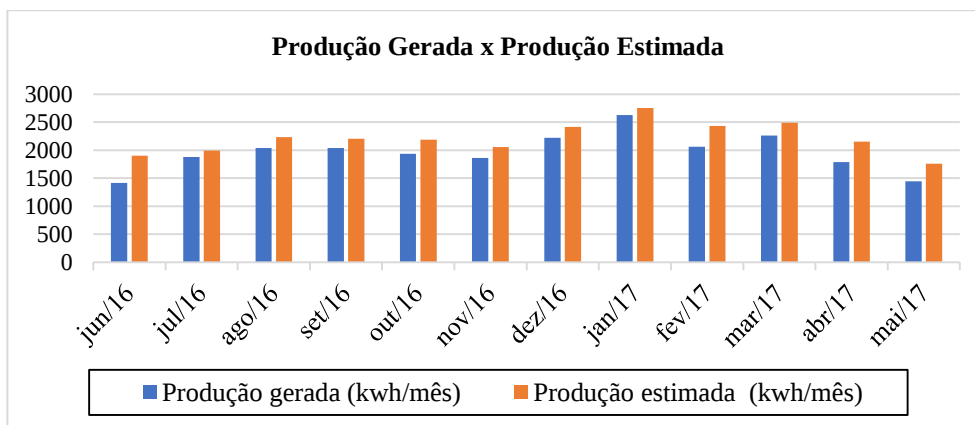


Figura 3 - Produção gerada x Produção estimada.

Com o intuito de analisar a eficiência dos sistemas fotovoltaicos de localizações distintas foram calculados os valores de produtividade do sistema fotovoltaico, YF gerado e YF estimado, representados na Fig. 4.

Para YF gerado, o maior valor é de 180,28 kWh/kWp; o menor valor é de 97,33 kWh/kWp; com valor médio de 134,81 kWh/kWp. E para YF estimado, o maior valor é de 188,91 kWh/kWp; menor valor é de 120,88 kWh/kWp; com valor médio de 152,05 kWh/kWp.

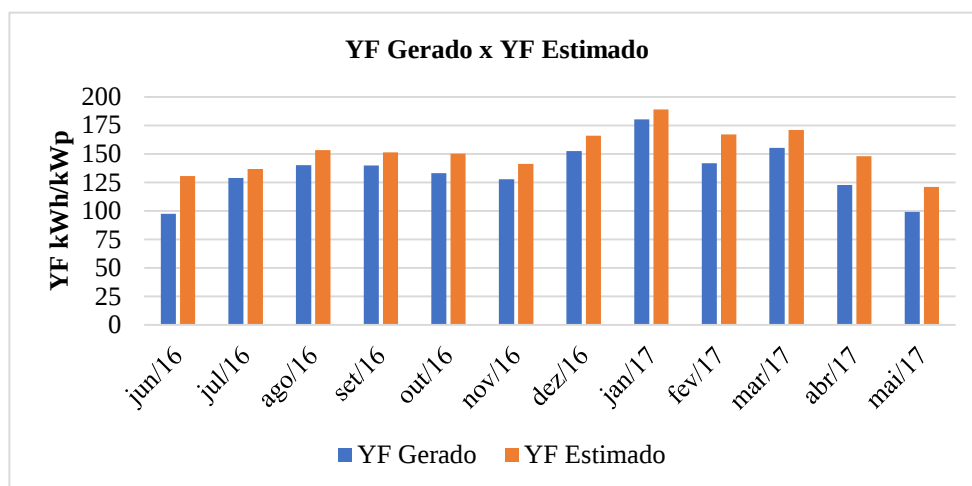


Figura 4 - YF gerado x YF estimado.

Com os resultados obtidos na avaliação de desempenho da micro usina foram realizadas comparações com dados das micro usinas do Escritório Verde e Elco Engenharia. Visando demonstrar a diferença de comportamento dos sistemas fotovoltaicos de diferentes e de mesmas localidades, comparando a produtividade dos sistemas e o rendimento global, apresentados na Fig. 5.

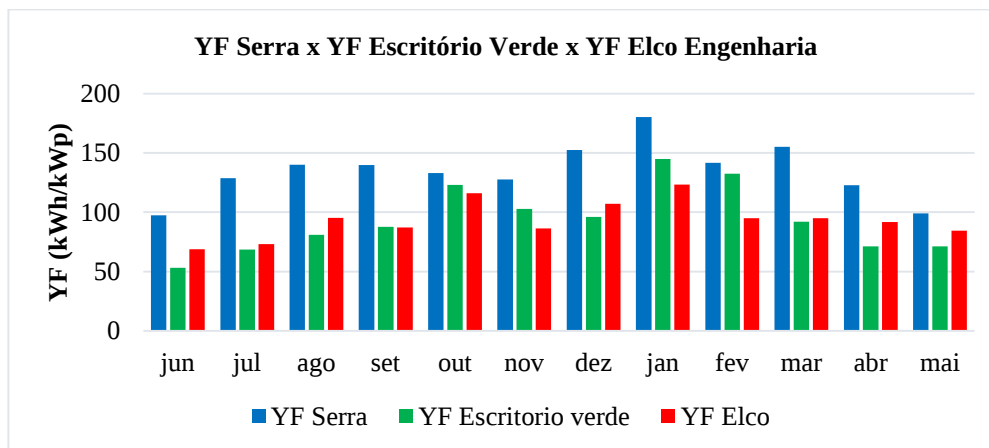


Figura 5 - YF Serra x YF Escritório Verde x YF Elco Engenharia.

Os dados utilizados para produtividade do município de Curitiba são referentes ao período de junho de 2013 até maio de 2014 para o Escritório Verde, e de junho de 2014 até maio de 2015 para escritório da empresa Elco Engenharia.

Um dos fatores que mais afetam as diferenças de resultados obtidos na comparação entre os dois municípios são as taxas médias de irradiação para cada região. Analisando a Fig. 5, nota-se que os sistemas localizados na mesma região demonstram comportamentos diferentes, possivelmente causados por influências de poeiras e/ou poluição, ângulo de inclinação dos módulos e orientação da cobertura. Porém, a produtividade da micro usina do município de Serra indica que o município de Serra é propício para geração de energia solar fotovoltaica, pois possui taxas de irradiação mais elevadas que a região de Curitiba.

Quanto ao rendimento global, a Fig. 6 mostra que a micro usina do município de Serra apresenta valor de rendimento médio de 88,28%, enquanto em Curitiba o Escritório Verde apresenta média de 69,99% e a Elco Engenharia apresenta média de 70,05%.

Quando comparados os sistemas fotovoltaicos dos dois municípios, é evidente a diferença do rendimento global e da produtividade entre os dois municípios. Algumas causas aparentes para tal diferença pode ser a inclinação dos módulos das três usinas, os sombreamentos causados nos locais de instalação, e principalmente a eficiência dos equipamentos, entre outros.

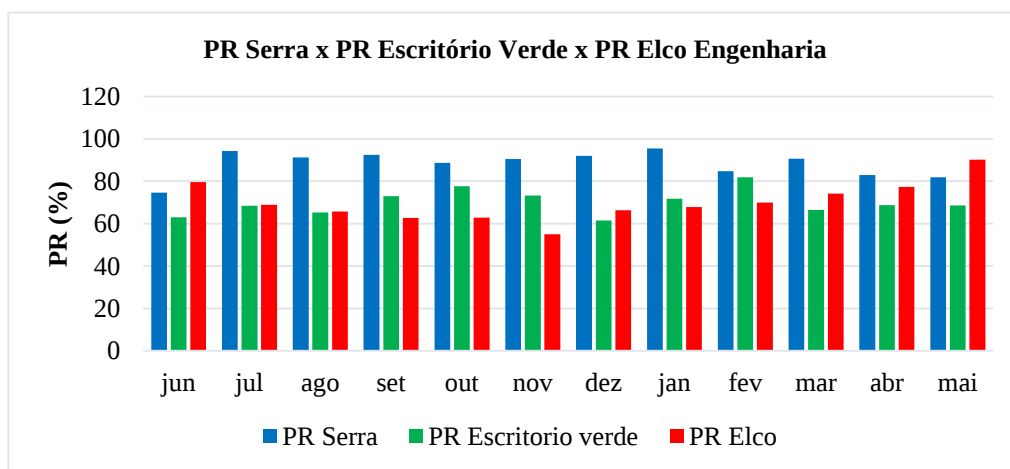


Figura 6 - PR Serra x PR Escritório verde x PR Elco Engenharia.

6. CONCLUSÃO

O município de Serra/ES é propício para geração de energia solar fotovoltaica, pois apresenta altas taxas de irradiação solar, com alto rendimento quando comparados aos do município de Curitiba/PR. Quando analisados os valores de rendimento e produtividade obtemos respectivamente os valores médios de 88,28% e 134,82 kWh/kWp, devem-se considerar as várias causas de influências para perdas de desempenho, incluindo a possibilidade de que a localização do edifício comercial próximo à região marítima, afetando a produção de energia dos módulos devido à umidade e maresia. Entretanto, os resultados obtidos nesta avaliação são satisfatórios, apresentando valores elevados de eficiência do micro gerador.

Os resultados mostram que a produção de energia elétrica por sistemas fotovoltaicos é uma ótima fonte alternativa de energia para o país de modo a suprir as crescentes demandas de energia, até mesmo em regiões de menor incidência de irradiação solar.

Por fim, a avaliação de desempenho do sistema fotovoltaico conectado à rede é essencial para o desenvolvimento de tecnologias de produção de energia fotovoltaica, visto o seu crescimento no mercado dia após dia, logo faz se necessário avaliar o desempenho dos SFCR até mesmo para a identificação de falhas, e comprovar seus desempenhos satisfatórios.

REFERÊNCIAS

- ANEEL, 2017. Matriz de energia elétrica.
- ANEEL, 2017. Brasil possui mais de 10 mil conexões de micro e minigeração distribuída.
- ASPE, 2013. A energia solar no Espírito Santo: Tecnologias, Aplicações e Oportunidades.
- Benedito, R. S., 2009. Caracterização da geração distribuída de eletricidade por meio de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, no Brasil, sob os aspectos técnicos, econômico e regulatório, Dissertação de Mestrado, USP, São Paulo.

- Buiatti, G. M., et al., 2016. Desempenho de Micro e Mini usinas fotovoltaicas no Instituto Federal do Rio Grande do Norte, VI CBENS - VI Congresso Brasileiro De Energia Solar, Belo Horizonte.
- Carvalho, D. M. S., 2011. Análise e Caracterização Energética de Sistemas Fotovoltaicos de Baixa Potência com Ligação à Rede Elétrica, Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto, Portugal.
- CRESESB, 2006. Energia solar – Princípios e aplicações.
- Gehring, A. A., Lopes, L. F. S., Dalmolin, R. S., 2015. Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede: acompanhamento dos índices de mérito no escritório verde da UTFPR e análise da viabilidade econômica de implantação em residências, Trabalho de Conclusão de Curso, UTFPR, Curitiba.
- Guimarães, W. T., et al., 2013. Influência da poluição atmosférica sobre o desempenho de módulos fotovoltaicos em Vitória, Revista Científica da FAESA, vol. 9, pp. 19-25.
- Machado, K. S. V., Correa, N., 2015. Análise do desempenho de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica em Curitiba, Trabalho de Conclusão de Curso, UTFPR, Curitiba.
- Pereira, T. C. G., et al., 2014. Energias renováveis: políticas públicas e planejamento energético, Edição Digital, Curitiba.
- SMA, 2011. Informações técnica. Performance ratio – fator de qualidade para sistema fotovoltaico.
- USP, 2014. Agência de notícias. Microrganismos podem reduzir produção de energia solar, São Paulo.

PERFORMANCE EVALUATION OF A 14.56 kWp COMMERCIAL PHOTOVOLTAIC SYSTEM IN THE MUNICIPALITY OF SERRA

Abstract. *The photovoltaic micro power plant referred in this article is located in the city of Serra and started operating in June 2016 with an installed power of 14.56 kWp, with the objective of reducing the electricity costs of a commercial establishment. The objective of this work was to evaluate the performance of this grid connected photovoltaic system connected to a network, in order to compare the estimated electric power generation data with the actual generation data recorded and their respective merit indices. Followed by comparing the results obtained with the merit indices of two other networked photovoltaic systems located in the city of Curitiba. The evaluated system shows a yield of 88.28%, while 69.99% for the Escritório Verde of the municipality of Curitiba and 70.05% for the building of the company Elco also located in the city of Curitiba. It is concluded that the energy production of the commercial building of the municipality of Serra is meeting the objective of reducing energy costs, and presents high values of micro generator efficiency, even under the effects of climatic factors and local pollution.*

Keywords: *Performance, Solar Energy, Grid Connected Photovoltaic System Connected.*