

Comparação das eficiências entre sistemas fotovoltaicos instalados na UECE

João Gabriel de Araujo Martins (UECE) - joaogabriel1973@hotmail.com

luterocarmo de lima (UECE) - luterodelima@gmail.com

Francisco Hedler Barreto de Lima Morais (UECE) - frahedler@yahoo.com.br

Caíke Damiao Nascimento Silva (UNESA) - caikedamiao@gmail.com

Resumo:

O presente trabalho apresenta uma pesquisa de comparação entre eficiências de dois sistemas fotovoltaicos conectados à rede instalados na UECE. Os sistemas são denominados neste trabalho de SFCR1 e SFCR2. Os dados de desempenho de cada um foram apresentados em pesquisas de mestrado e são usados nesta análise comparativa. A metodologia incluiu a comparação dos resultados dos dois sistemas por doze meses. Foram analisados os seguintes indicadores: produtividade de referência, produtividade de arranjo, produtividade final, perdas de energia, taxa de desempenho, fator de capacidade e os níveis de eficiência do sistema, das placas fotovoltaicas e do inversor. Entre os resultados, observou-se que o SFCR 2 apresenta menores níveis de eficiência média, assim como maiores perdas ao longo dos meses considerados. O principal fator relacionado a esse fato é o ângulo de azimute do sistema - de 25°. O SFCR 1, que apresenta resultados melhores, está instalado a um ângulo de 0°, seguindo o que é indicado para regiões próximas à linha do Equador. Outras características relacionadas às diferenças entre os sistemas dizem respeito a questões como marca das placas fotovoltaicas, funcionamento dos equipamentos de cada sistema e possíveis sombreamentos em determinados períodos.

Palavras-chave: *Eficiência, Sistemas Fotovoltaicos, Energia Solar*

Área temática: *Conversão Fotovoltaica*

Subárea temática: *Aspectos técnicos de sistemas fotovoltaicos instalados*

COMPARAÇÃO DAS EFICIÊNCIAS ENTRE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INSTALADOS NA UECE

João Gabriel de Araújo Martins – jgabriel.martins@aluno.uece.br

Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia

Lutero Carmo de Lima – lutero.lima@uece.br

Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia

Francisco Hedler Barreto de Lima Moraes – francisco.hedler@uece.br

Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia

Caíke Damião Nascimento Silva – caikedamiao@gmail.com

Universidade Estácio de Sá, Unidade Parangaba – Jóquei Clube

Resumo. *O presente trabalho apresenta uma pesquisa de comparação entre eficiências de dois sistemas fotovoltaicos conectados à rede instalados na UECE. Os sistemas são denominados neste trabalho de SFCR1 e SFCR2. Os dados de desempenho de cada um foram apresentados em pesquisas de mestrado e são usados nesta análise comparativa. A metodologia incluiu a comparação dos resultados dos dois sistemas por doze meses. Foram analisados os seguintes indicadores: produtividade de referência, produtividade de arranjo, produtividade final, perdas de energia, taxa de desempenho, fator de capacidade e os níveis de eficiência do sistema, dos módulos fotovoltaicos e do inversor. Entre os resultados, observou-se que o SFCR 2 apresenta menores níveis de eficiência média, assim como maiores perdas ao longo dos meses considerados. O principal fator relacionado a esse fato é o ângulo de azimute do sistema – de 25°. O SFCR 1, que apresenta resultados melhores, está instalado a um ângulo de 0°, seguindo o que é indicado para regiões próximas à linha do Equador. Outras características relacionadas às diferenças entre os sistemas dizem respeito a questões como marca dos módulos fotovoltaicos, funcionamento dos equipamentos de cada sistema e possíveis sombreamentos em determinados períodos.*

Palavras-chave: *Eficiência, Sistemas Fotovoltaicos, Energia Solar*

1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica é indispensável no modo de vida atual da maioria das sociedades. Por isso, garantir seu fornecimento tem sido um dos maiores objetivos dos governos em todo o mundo (LIMA *et al.*, 2017). Entretanto, o aumento populacional e os impactos ambientais causados pela humanidade nas últimas décadas trazem diversos desafios nesse contexto, exigindo a pesquisa e o desenvolvimento de fontes alternativas de energia (FERREIRA *et al.*, 2018).

O Brasil ocupa uma posição de destaque em relação aos meios renováveis de produção de eletricidade: 83,3% da nossa energia elétrica em 2018 vieram de recursos renováveis. Esse índice era de apenas 24% no mundo em 2016. Entretanto, segundo relatório referente ao ano de 2018, publicado pela EPE, a fonte de geração de energia elétrica predominante no Brasil foi a hidráulica, com 66,6% (BRASIL, 2019).

Cientistas têm chamado atenção para os impactos causados por hidrelétricas e termelétricas, como a degradação do ecossistema local e o agravamento das emissões de CO₂ (REIS, 2001; FERREIRA *et al.*, 2018). Além disso, a dependência de hidrelétricas na nossa matriz elétrica traz outros problemas, como superávits ou déficits regionais causados por variações hidrológicas no país, distância entre os centros de produção e carga e aumento da tarifa de energia em épocas de pouca chuva (MORAIS, 2017).

Nesse sentido, Brandão *et al.* (2014) defendem a importância de diminuir a dependência das fontes energéticas ligadas à água, já que o baixo nível dos reservatórios tem sido uma realidade no país. A energia solar fotovoltaica (que converte radiação solar em energia elétrica) aparece como uma importante fonte alternativa (LIMA *et al.* 2017).

Apesar de ter a menor participação entre as fontes renováveis na nossa matriz elétrica – 0,5% em 2018 – ela tem apresentado um grande crescimento nos últimos anos (em 2017, seu uso correspondia a apenas 0,1% do total). O crescimento da energia solar na matriz elétrica brasileira foi de 316,1% de 2017 para 2018. A geração passou de 832 GWh para 3.461 GWh em um ano (BRASIL, 2019).

Há diversos pontos que justificam o investimento em pesquisas e no uso da energia solar fotovoltaica. Um dos aspectos centrais diz respeito aos benefícios ambientais, já que se trata de uma fonte renovável e limpa, sem impactos significativos no ecossistema local ou global. Além disso, utiliza diretamente a principal fonte de energia do planeta – a qual possibilitou a existência de vida na Terra e de onde derivam quase todas as outras fontes de energia desenvolvidas ao longo da história (VILLALVA, 2012).

Outras vantagens dos módulos solares são seu baixo custo de operação e manutenção e sua menor propensão a blecautes (BALFOUR, SHAW, e NASH, 2016). Contam ainda as características geográficas do Brasil, onde a região nordeste se evidencia por sua escassez de chuvas e abundância de incidência do sol durante todo o ano, tornando-se um local privilegiado para fazer uso dessa fonte de energia em alternativa àquelas que dependem de alto nível de água (MARQUES, KRAUTER, LIMA, 2009; FERREIRA *et al.*, 2018). Também considerando a geopolítica nordestina, a energia solar é uma alternativa útil para áreas do semiárido por possibilitar sistemas de mini e microgeração, o que gera economia e mais independência em relação às formas atuais de transmissão e distribuição da energia a partir dos centros urbanos (BRANDÃO *et al.*, 2014).

O avanço científico dos últimos anos foi fundamental para o surgimento de tecnologias que permitam a geração fotovoltaica em pequena escala e com impactos ambientais menores (ZILLES *et al.*, 2012). Desse modo, justificam-se trabalhos de pesquisa sobre esse tema. Estudos que analisam dados reais de produção de energia produzem conhecimentos centrais para o desenvolvimento de estratégias cada vez mais eficientes no setor fotovoltaico (LIMA *et al.* 2017).

2. MÉTODO

Este estudo trata da análise de desempenho comparativa entre dois sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR) localizados em Fortaleza-CE, no campus do Itaperi-UECE. Considerando que os sistemas estão instalados no mesmo local, mas com condições diferentes de fabricação e posicionamento geográfico, a comparação entre os níveis de eficiência permite tirar conclusões acerca de como essas condições influenciam no desempenho do sistema solar fotovoltaico.

Neste estudo, são comparados os indicadores: produtividade de referência, produtividade de arranjo, produtividade final, perdas de energia, taxa de desempenho, fator de capacidade e os níveis de eficiência do sistema, dos módulos fotovoltaicos e do inversor.

O SFCR 1 foi analisado na dissertação de Ferreira (2015) e o SFCR 2 teve seu desempenho discutido na dissertação de Moraes (2017). De posse desses dados, este estudo realizou a comparação entre a eficiência dos dois sistemas citados, de modo a compreender como as suas características de instalação influenciam no desempenho.

O SFCR 1 é um arranjo de 18 módulos fotovoltaicos, cada um com dimensões de 1638 mm x 982 mm x 40 mm e peso de 19 kg. A área total coberta por ele é de 14,50m². Os módulos fotovoltaicos foram feitos com silício policristalino (p-Si) e são da marca CanadianSolar, modelo CS6P-245P. A potência nominal de cada módulo fotovoltaico é de 245Wp, o que gera uma potência total de 2,2 kWp.

O arranjo solar está fixado no solo, direcionado para o norte geográfico – com azimute de 0°, com uma inclinação de 8°, como pode ser visto na Fig. 1. Os 18 módulos fotovoltaicos do SFCR 1 fornecem energia para um inversor de marca SMA e modelo Sunny Boy SB 2500 HF. A potência nominal do inversor é de 2.500 W. Os dados do inversor são recebidos e armazenados por um aparelho datalogger de marca SMA e modelo Sunny WebBox.



Figura 1: Instalações do SFCR 1
Fonte: Ferreira (2015)

O sistema fotovoltaico 2 é composto por 24 módulos fotovoltaicos, cada um com dimensões de 1.500 mm x 990 mm x 46 mm e peso de 18 kg. No total, o sistema cobre uma área de 35,64m². Os módulos fotovoltaicos são da marca Kyocera, modelo K215GX, fabricados com silício policristalino (p-Si). A potência nominal deles é de 215Wp cada – formando uma potência de 5,2 kWp no total.

Os módulos fotovoltaicos estão fixados em uma estrutura feita de madeira, com altura de 3,20 cm em relação ao solo, como pode ser visto na Fig. 2. O conjunto está em uma inclinação de 8° em relação à linha horizontal. Além disso, sua orientação é de azimute 25°. O sistema é composto, ainda, por dois inversores, de modo que cada conjunto de 12 módulos fotovoltaicos ligados em série fornece energia a um inversor (da marca SMA, modelo Sunny Boy SB 2500

HF). Um aparelho datalogger, também da marca SMA e modelo Sunny WebBox, é utilizado para levantar os dados dos inversores.



Figura 2: Instalações do SFCR 2
Fonte: Moraes (2017)

Os sistemas fotovoltaicos analisados nesta pesquisa ficam localizados no campus do Itaperi-UECE, na cidade de Fortaleza-CE. Ambos foram instaladas no prédio onde funciona o Curso de Mestrado Acadêmico em Ciências Físicas Aplicadas, onde a presente pesquisa foi realizada. A localização geográfica do espaço da universidade é marcada pelas coordenadas 3°40'39,7" de latitude sul e 38°33'29,8" de longitude oeste, estando a 31m acima do nível do mar.

A cidade de Fortaleza faz parte da região Nordeste do Brasil e apresenta clima tropical, com temperaturas quentes na maior parte do ano. A temperatura costuma variar entre 24 °C e 31 °C, tendo uma média de 26,6 °C – sendo os meses de novembro a maio os que apresentam maior índice de nuvens, o que afeta a produção dos módulos fotovoltaicos nesse período (LIMA *et al.*, 2017).

As informações acerca da irradiância solar na UECE são processadas por um piranômetro da estação de coleta de dados da Funceme (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos) localizada no campus do Itaperi. O equipamento é da marca Kipp&Zonen, modelo CMP3, e é capaz de medir a radiação global do sol em ondas curtas (na faixa de 300 a 2800 nm). O piranômetro fica distante 69,3m do SFCR 1 e 45m do SFCR 2, em linha reta (FERREIRA, 2015; MORAIS, 2017).

2.1 Equações de eficiência

Produtividade. A produtividade (Y) do sistema fotovoltaico mostra a energia real gerada por ele em relação à sua capacidade nominal. Ela é medida em kWh/kWp.dia ou em horas/dia. A produtividade pode ser dividida de três formas: produtividade de referência (Y_R), produtividade de arranjo (Y_{FV}) e produtividade final (Y_F).

A produtividade de referência representa a energia teórica de um local específico em determinado período. Ela é calculada pela Eq. (1).

$$Y_R = \frac{H_T}{H_R} (KWh/KWp. dia) \quad (1)$$

onde,

Y_R é a produtividade de referência

H_T é a irradiação total ou irradiação horizontal global no plano

H_R é a irradiância de referência

A produtividade de arranjo (Y_{FV}) representa o tempo em que a matriz fotovoltaica deve operar em sua potência nominal para gerar a energia produzida. A equação que permite calcular essa produtividade é Eq. (2).

$$Y_{FV} = \frac{ECC}{P_{FV,nom}} (KWh/KWp. dia) \quad (2)$$

onde,

Y_{FV} é a produtividade de arranjo

$P_{FV,nom}$ é a potência nominal dos módulos fotovoltaicos

E_{CC} é a energia de corrente contínua

A produtividade final (Y_F) demonstra quantas horas diárias o sistema fotovoltaico precisa operar na sua potência nominal para produzir a quantidade de energia registrada na rede e é definida pela Eq. (3).

$$Y_F = \frac{E_{CA}}{P_{FV,nom}} (KWh/KWp.dia) \quad (3)$$

onde,

Y_F é a produtividade final

E_{CA} é a energia total em corrente alternada

$P_{FV,nom}$ é a potência nominal do sistema

Perdas de energia. Um sistema fotovoltaico não é capaz de transformar toda a energia recebida do sol em energia elétrica. Logo, sempre ocorrem perdas, que podem ser classificadas como perdas de captação do arranjo fotovoltaico (L_{FV}), perdas do sistema fotovoltaico (L_S) e perdas totais do sistema (L_T).

A perda de captação do arranjo fotovoltaico é gerada pela impossibilidade que ele tem de utilizar toda a irradiância disponível. Assim, ela é calculada pela Eq. (4).

$$L_{FV} = Y_R - Y_{FV} (KWh/KWp) \quad (4)$$

onde,

L_{FV} é a perda de captação do arranjo fotovoltaico

Y_R é a produtividade de referência

Y_{FV} é a produtividade do arranjo fotovoltaico

Já a perda de sistema fotovoltaico se refere ao que não se aproveita na conversão da energia de corrente contínua em corrente alternada pelo inversor. Com isso, ela é calculada pela Eq. (5).

$$L_S = Y_{FV} - Y_F (KWh/KWp) \quad (5)$$

onde,

L_S é a perda de sistema fotovoltaico

Y_{FV} é a produtividade do arranjo fotovoltaico

Y_F é a produtividade final

A perda total do sistema é representada pela soma entre os dois tipos de perdas apresentados anteriormente. Ou seja, é calculada pela Eq. (6).

$$L_T = L_{FV} + L_S (KWh/KWp) \quad (6)$$

onde,

L_T é a perda total

L_{FV} é a perda de captação do arranjo fotovoltaico

L_S é a perda de sistema fotovoltaico

Taxa de desempenho. A taxa de desempenho (PR) é mais uma medida da performance de um sistema solar fotovoltaico. Ela representa a relação entre as saídas de energia reais e teóricas. Logo, permite conhecer o quanto é, de fato, produzido de energia pelo sistema, considerando as perdas e o consumo de energia para própria operação dos equipamentos. A taxa pode ser definida com base na Eq. (7).

$$PR = \frac{Y_F}{Y_R} \times 100 (\%) \quad (7)$$

onde,

PR é a taxa de desempenho

Y_F é a produtividade final do sistema fotovoltaico

Y_R é a produtividade de referência

Fator de capacidade. A diferença entre a produtividade de energia total e a quantidade de energia que seria produzida se o arranjo fotovoltaico operasse sempre na potência nominal total é medida pelo fator de capacidade (FC). Assim, ele é representado pela Eq. (8).

$$FC = \frac{E_{CA}}{P_{FV,nom} \times 8,760} \quad (8)$$

onde,

FC é o fator de capacidade

E_{CA} é a energia total

$P_{FV,nom}$ é a potência nominal do sistema

Eficiência. Os índices de eficiência de um sistema fotovoltaico podem ser medidos separadamente pela eficiência do arranjo, do sistema e do inversor. A eficiência é expressa em porcentagem e pode ser calculada para diferentes períodos de tempo (instantânea, horária, diária, mensal e anual, por exemplo).

A eficiência do arranjo fotovoltaico (η_{FV}) faz referência à energia de corrente contínua e pode ser calculado pela Eq. (9).

$$\eta_{FV} = \frac{100 \times E_{CC}}{H_T \times A_{FV}} (\%) \quad (9)$$

onde,

η_{FV} é a eficiência do arranjo fotovoltaico

E_{CC} é a energia de corrente contínua

H_T é a irradiação diária total no plano

A_{FV} é a área total do arranjo fotovoltaico

A eficiência do sistema, por sua vez, se refere à energia de corrente alternada e é calculada pela equação 13:

$$\eta_{SYS} = \frac{100 \times E_{CA}}{H_T \times A_{FV}} (\%) \quad (10)$$

onde,

η_{SYS} é a eficiência do sistema

E_{CA} é a energia de corrente alternada

H_T é a irradiação diária total no plano

A_{FV} é a área total do arranjo fotovoltaico

Por fim, a eficiência do inversor trata das diferenças entre as duas energias, conforme a equação 14:

$$\eta_{INV} = \frac{100 \times E_{CA}}{E_{CC}} (\%) \quad (11)$$

onde,

η_{INV} é a eficiência do inversor

E_{CA} é a energia de corrente alternada

E_{CC} é a energia de corrente contínua

3. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Nas figuras de 3 a 5 podem ser vistas as informações sobre as produtividades de ambos os sistemas durante os doze meses do ano.

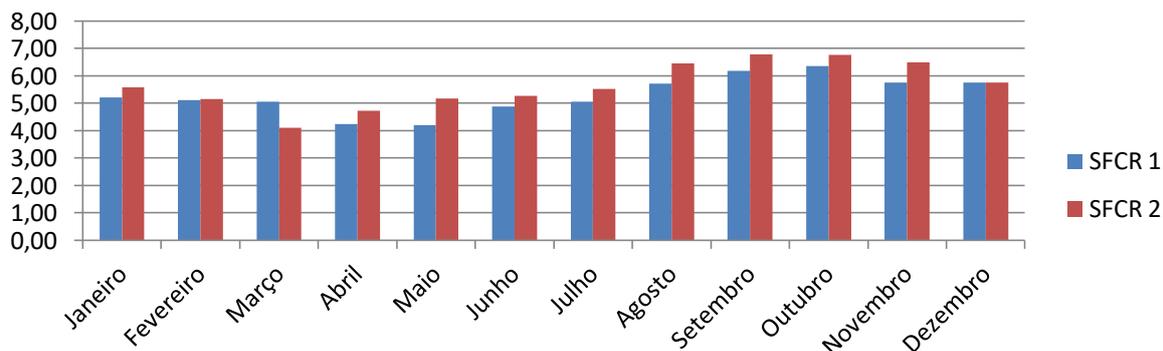


Figura 3: Produtividade de referência - Y_R (kWh/m².dia)
Fonte: autor

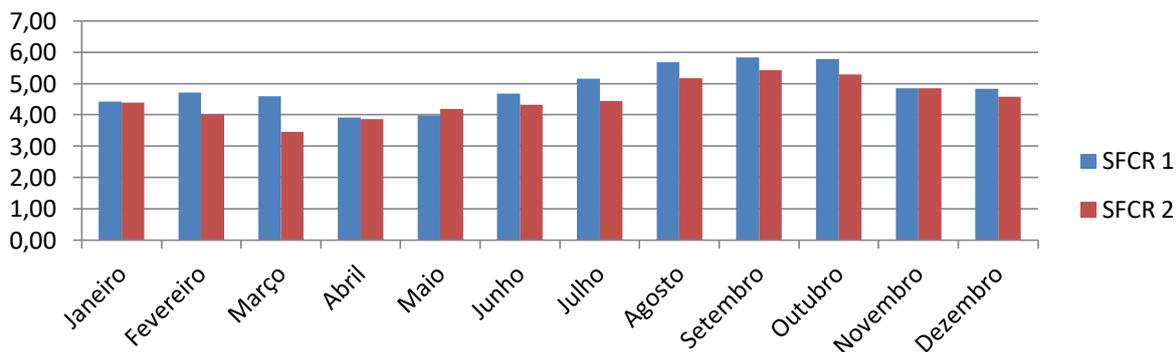


Figura 4: Produtividade no arranjo fotovoltaico - Y_{FV} (kWh/kWp.dia)
Fonte: autor

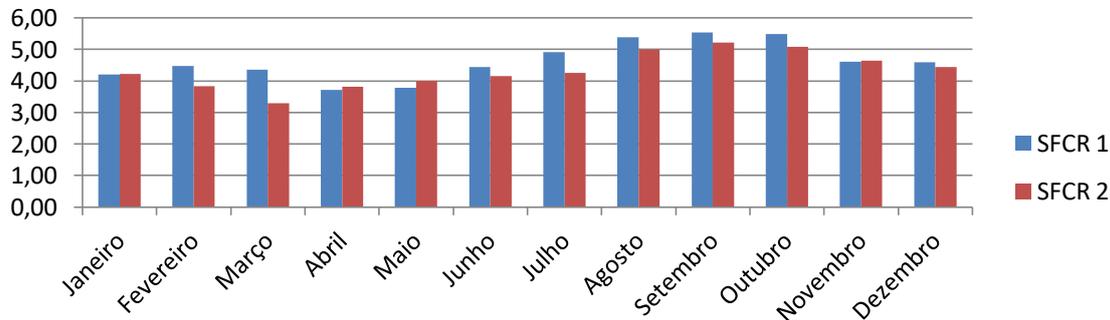


Figura 5: Produtividade final - Y_F (kWh/kWp.dia)
Fonte: autor

Comparando os números apresentados nas figuras é perceptível que a produtividade final, assim como a de referência e do arranjo fotovoltaico, são maiores no sistema 1.

Em relação às perdas, nota-se pela figura 6 que elas são mais significativas no SFCR 2.

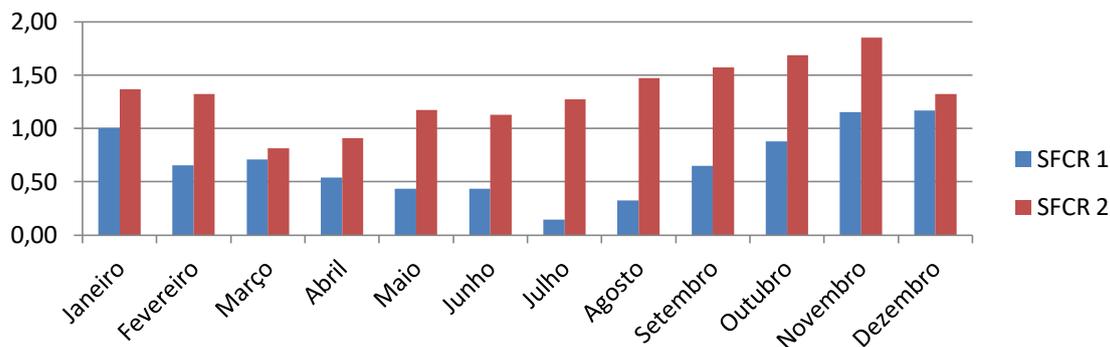


Figura 6: Perdas totais de energia (kWh/kWp.dia)

Fonte: autor

É possível também perceber que os dois sistemas têm perdas menores no primeiro semestre do ano. Uma das hipóteses para esse fenômeno é a maior ocorrência de chuvas, que limpam os módulos fotovoltaicos solares e amenizam a temperatura – podendo diminuir as perdas (NASCIMENTO *et al.*, 2020).

A taxa de desempenho avalia a performance do sistema fotovoltaico em relação às perdas. Analisando a figura 7 conclui-se que o sistema 2 apresentou menor taxa de desempenho nos meses considerados, em consequência das maiores perdas.

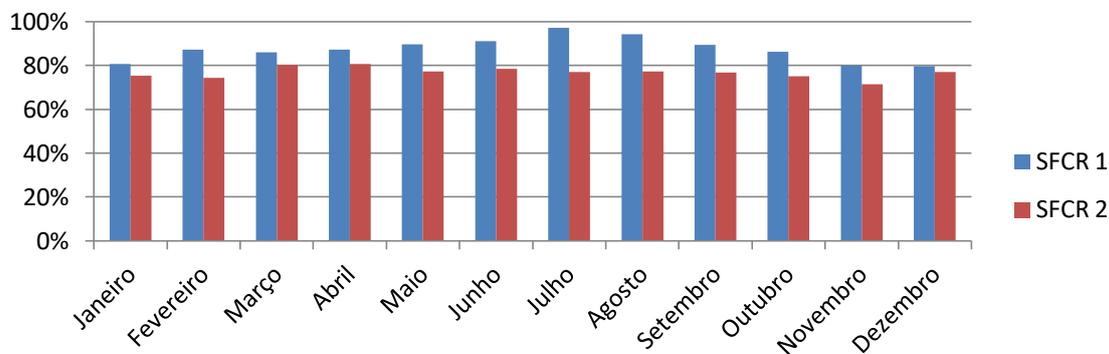


Figura 7: Taxa de desempenho %
Fonte: autor

A análise do fator de capacidade mostra o percentual em que o arranjo operou em sua capacidade máxima. Os dados desse índice também indicam melhor desempenho do SFCR 1, como pode ser visto na figura 8.

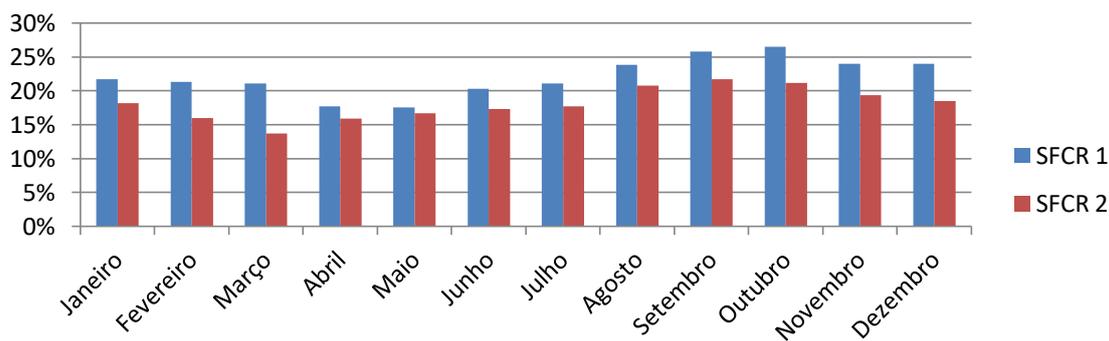


Figura 8: Fator de capacidade %
Fonte: autor

Em relação à eficiência do sistema, observa-se na figura 9 que o SFCR 1 apresenta um índice um pouco maior.

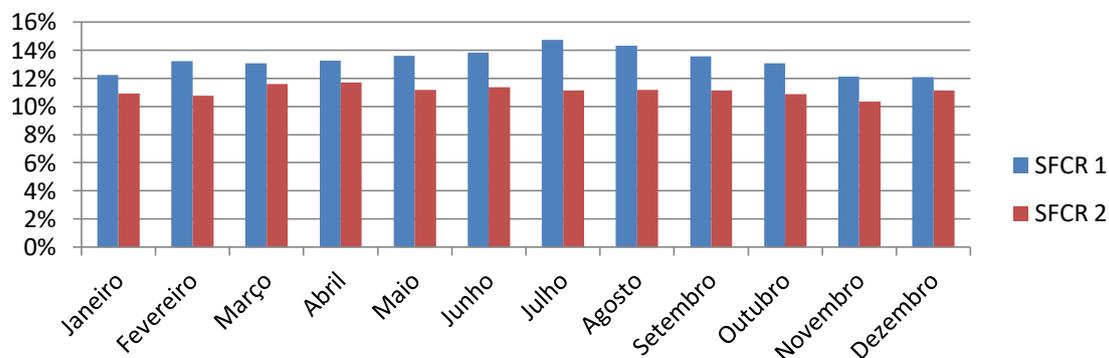


Figura 9: Eficiência do sistema
Fonte: autor

Quanto à eficiência do inversor, observa-se que os dois equipamentos têm bom nível de desempenho. Os dados também se apresentam com relativa estabilidade em relação aos meses, conforme figura 10.

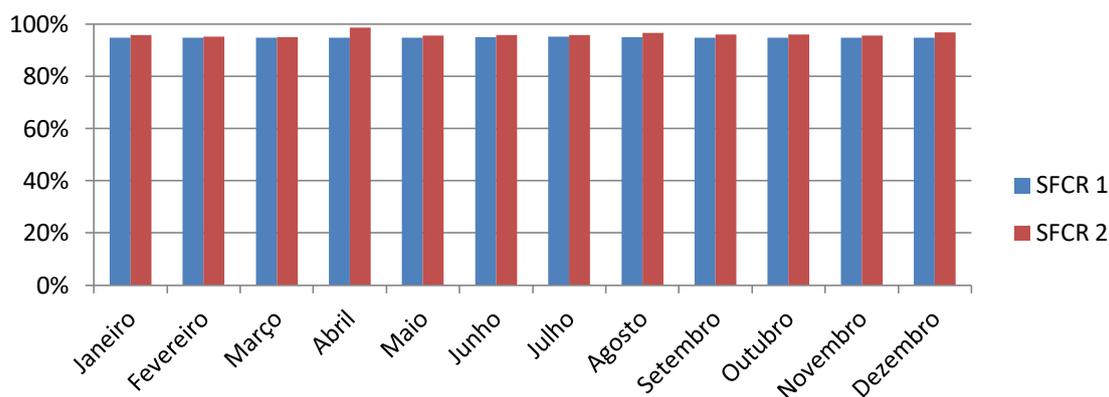


Figura 10: Eficiência do inversor

Fonte: autor

A eficiência do arranjo fotovoltaico para os dois sistemas pode ser vista na figura 11. Para o sistema 1, a média é de 13,9%, enquanto para o sistema 2 é 11,6%.

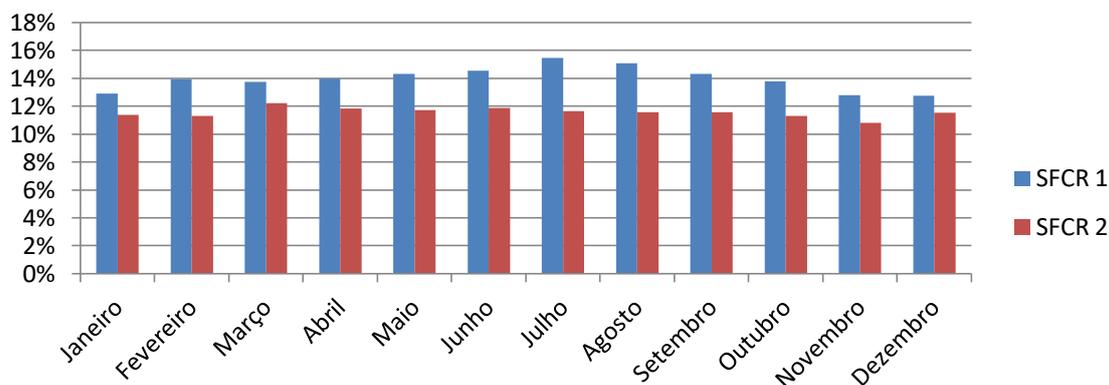


Figura 11: Eficiência do arranjo

Fonte: autor

É possível perceber que a discrepância entre a eficiência nominal e a real do sistema 2 é um pouco maior. Uma das principais razões para que isso ocorra é que o fato do SFCR2 não ter sido instalado nas melhores condições para a região geográfica. Enquanto o sistema 1 foi instalado no norte geográfico (azimute 0°), o 2 apresenta um azimute de 25° . Com isso, a produção de energia fica menor, em comparação com o arranjo fotovoltaico instalado nas condições ideais para o local (VILLALVA, 2012; LIMA *et al.*, 2017; HAFEZ *et al.*, 2017).

Ter sido instalado a um azimute de 25° faz com que os módulos fotovoltaicos solares do SFCR2 não estejam no melhor posicionamento para captar a radiação direta de acordo com o movimento do sol. Por isso, é possível observar que as perdas de energia apresentadas por ele são maiores, ao mesmo tempo em que os dados de eficiência são menores do que os encontrados no SFCR1.

A diferença no ângulo de azimute em instalações solares também se mostrou um elemento relevante na análise de desempenho realizada em outra pesquisa: Urbanetz Junior *et al.* (2018) avaliaram dois sistemas fotovoltaicos no Estado do Paraná e concluíram que o desvio azimutal diminuiu a eficiência de um deles: enquanto o primeiro foi instalado nas condições ideais (isto é, azimute igual a 0) o segundo apresenta um ângulo de 22° . Como consequência, o primeiro sistema apresentou produtividade maior que o segundo (2,97 e 2,86 kWh/kWp.dia, respectivamente), assim como taxa de desempenho (76% e 75%, respectivamente).

Além dessa condição de instalação, outras características podem estar relacionadas às diferenças entre os sistemas. A menor eficiência e maior ocorrência de perdas também são geradas por elementos como o consumo do próprio sistema, limitações de seus componentes e efeitos de sombreamento ou de sujeira nos painéis (MARIANO, 2016; LI, 2018; MORAES e TAKEDA, 2019).

Um elemento a ser considerado é a diferença temporal. Os dados do sistema 1 foram coletados entre os anos de 2013 e 2014 e a coleta para o sistema 2 se deu entre os anos de 2016 e 2017. Assim, é preciso considerar que as perdas podem se tornar um pouco maiores a cada ano, por conta de fatores relacionados ao desgaste dos equipamentos (FONSECA *et al.*, 2020).

4. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou a comparação das eficiências de dois sistemas fotovoltaicos instalados na UECE. Foi possível discutir dados acerca dos fatores: produtividade de referência, produtividade do arranjo fotovoltaico, produtividade final, perdas totais, taxa de desempenho, fator de capacidade e eficiência (do sistema, do arranjo e do inversor).

As principais conclusões dizem respeito à perda de eficiência causada pela influência do ângulo azimute no desempenho do SFCR2. O desempenho do SFCR1, instalado a um azimute de 0° foi significativamente maior do que o do SFCR2, que apresenta um azimute de 25°. Além disso, foi possível levantar outras hipóteses sobre as diferenças entre os dois sistemas fotovoltaicos.

Conclui-se que análises de desempenho como esta são fundamentais para compreender a produção dos sistemas em condições reais de instalação. Ademais, pesquisas deste tipo são úteis para o desenvolvimento de estratégias que permitam aproveitar melhor as condições climáticas e aumentar o potencial de energia solar fotovoltaica gerada no país.

5. AUTORIZAÇÕES E RECONHECIMENTOS

Os autores autorizam a publicação deste conteúdo e agradecem à Universidade Estadual do Ceará e à Capes (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio à realização da presente pesquisa.

REFERÊNCIAS

- BALFOUR, J. SHAW, M. e NASH, N. B. Introdução ao projeto de sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- BRANDÃO, Renner R. *et al.*. Desenvolvimento de um seguidor solar automatizado de baixo custo. In: Conferência de estudos em engenharia elétrica, 2014, Uberlândia. **Anais...**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia – UFU, 2014. p. 1 - 6. Disponível em: <http://www.ceel.eletrica.ufu.br/artigos2014/ceel2014_artigo080_r01.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2016.
- BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. **Relatório Síntese Balanço Energético Nacional 2019: Ano base 2018**. Rio de Janeiro: EPE, 2019. 67 p. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2019>>. Acesso em: 21 set. 2019.
- FERREIRA, Agmar *et al.*. Economic overview of the use and production of photovoltaic solar energy in brazil. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 81, p.181-191, jan. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.102>.
- FERREIRA, Leonardo de Araujo. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR)** – Estudo de caso do sistema de 2,2 kw instalados na UECE. 2015. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Acadêmico em Ciências Físicas Aplicadas, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2015.
- FONSECA, José Eduardo Ferreira, *et al.* Degradation analysis of a photovoltaic generator after operating for 15 years in southern Brazil. **Solar Energy**, [s.l.], v. 196, p.196-206, jan. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2019.11.086>.
- HAFEZ, A. Z., Soliman, A., El-Metwally, K. A., & Ismail, I. M. Tilt and azimuth angles in solar energy applications – A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 77, 147–168. 2017. doi:10.1016/j.rser.2017.03.131
- LI, Chong. "Comparative Performance Analysis of Grid-Connected PV Power Systems with Different PV Technologies in the Hot Summer and Cold Winter Zone." *International Journal of Photoenergy*, vol. 2018, 2018. *Gale Academic Onefile*, Disponível em: <https://link-gale.ez76.periodicos.capes.gov.br/apps/doc/A585354916/AONE?u=capes&sid=AONE&xid=8d1ef737>. Acesso em 5 Jan. 2020.
- LIMA, L. C. de; FERREIRA, L. de A.; MORAIS, F. H. B. de L.. Performance analysis of a grid connected photovoltaic system in northeastern Brazil. **Energy For Sustainable Development**, [s.l.], v. 37, p.79-85, abr. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.esd.2017.01.004>.
- MARIANO, J. D. *et al.*. Performance of photovoltaic systems: Green office's case study approach **International Journal of Energy and Environment (IJEE)**, Volume 7, Issue 2, pp.123-136. 2016.
- MARQUES, Rubéria Caminha; KRAUTER, Stefan C. W.; LIMA, Lutero C. de. Energia solar fotovoltaica e perspectivas de autonomia energética para o nordeste brasileiro. **Rev. Tecnol. Fortaleza**, Fortaleza, v. 30, n. 2, p.153-162, dez. 2009. Disponível em: <<http://ojs.unifor.br/tec/article/view/1049/4494>>. Acesso em: 20 dez. 2016.
- MORAES, Fillipe Alexandre; TAKEDA, Othavio Toniasso. Analysis of the Insertion of Particular Photovoltaic Generation in the Low Voltage Installations, Under the Approach to Performance, Safety, Maintenance and Operation of the PVS. **Braz. arch. biol. technol.**, Curitiba , v. 61, n. spe, e18000440, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4324-smart-2018000440>
- NASCIMENTO, Lucas Rafael do *et al.*. Performance assessment of solar photovoltaic technologies under different climatic conditions in Brazil. **Renewable Energy**, [s.l.], v. 146, p.1070-1082, fev. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.160>.

- REIS, Marcelo de Miranda. **Custos Ambientais Associados a Geração Elétrica: Hidrelétricas x Termelétricas à Gás Natural**. 2011. 214 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Planejamento Energético, Programa de Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001. Disponível em: <<http://www.ppe.ufrj.br/pppe/production/tesis/mmiranda.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2016.
- URBANETZ JUNIOR, Jair et al.. Analysis of the Operation of Photovoltaic Systems Installed at Federal University of Technology - Paraná in Curitiba. **Braz. arch. biol. technol.**, Curitiba, v. 61, n. spe, e18000600, 2018. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-89132018000200237&lng=en&nrm=iso>. access on 11 Jan. 2020. Epub Nov 29, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4324-smart-2018000600>.
- VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia solar fotovoltaica: Conceitos e aplicações – sistemas isolados e conectados à rede**. 224 p. 2ª Ed. Editora Érica, 2012.
- ZILLES, Roberto *et al.*. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

COMPARISON OF EFFICIENCY BETWEEN PHOTOVOLTAIC SYSTEMS INSTALLED AT UECE

Abstract. *This paper presents a comparison research between the efficiencies of two grid-connected photovoltaic systems installed in the UECE. The systems are referred to in this paper as SFCR1 and SFCR2. Performance data for each were presented in master research and are used in this comparative analysis. The methodology included comparing the results of the two systems over twelve months. The following indicators were analyzed: reference yield, arrangement yield, final yield, energy losses, performance rate, capacity factor and the efficiency levels of the system, photovoltaic plates and the inverter. Among the results, it was observed that the SFCR 2 presents lower levels of average efficiency, as well as greater losses over the months considered. The main factor related to this fact is the system azimuth angle - 25 °. The best performing SFCR 1 is installed at an angle of 0 °, following what is indicated for regions close to the equator. Other characteristics related to the differences between the systems concern issues such as photovoltaic plate brand, equipment operation of each system and possible shading in certain periods.*

Key words: *Efficiency, Photovoltaic Systems, Solar Energy*