

ANÁLISE DO DESEMPENHO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE E INSTALADO NO IFCE *CAMPUS CEDRO*

Denilson Vitor De Araújo

Filipe Peixoto da Silva - filipe.silva08@aluno.ifce.edu.br

Marcos Vinicius Amancio da Silva

Paulo Vinicius Ferreira Pedroza

Douglas Aurélio Carvalho Costa

Moisés Gomes de Lima

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Cedro

037, Conversão fotovoltaica: Controle e monitoramento de sistemas fotovoltaicos.

Resumo. O Sol é considerado uma das principais fontes de energia para o planeta terra, sendo dois dos seus principais meios de aproveitamento de sua energia voltada ao aquecimento e à geração de energia elétrica, em que o seu aproveitamento como fonte para geração de energia elétrica compõe uma parcela pequena na matriz. A geração de energia elétrica brasileira tem forte dependência da hidroeletricidade, que possui uma participação de 61,9 % da oferta interna. A irradiação solar é abundante no território brasileiro e com o objetivo de descentralizar e diversificar a matriz de energia elétrica do país, nos últimos anos vem aumentando o número de pontos industriais/comerciais com sistemas fotovoltaicos (FV) conectados à rede (SFCR). No entanto para obter um sistema com bons resultados, além de um bom dimensionamento é de importância uma análise de desempenho após um certo período de uso, a fim de obter conhecimento de fatores como: a produtividade, também conhecida como yield (Y), a taxa de desempenho, mais conhecida como performance ratio (PR), e o fator de capacidade (FC). Com a obtenção destes parâmetros é possível analisar um SFCR sem que a localização geográfica, o posicionamento do gerador e a potência nominal interfiram. Neste estudo foi feita uma análise de desempenho do sistema SFCR do IFCE, Campus Cedro, com relação ao ano de 2021, instalação pertencente ao grupo A, possui uma Irradiação solar diária média mensal de 6 kWh/m².dia no ângulo igual a latitude de 7° e referência o polo norte, o SFCR possui uma geração média mensal do ano de 12.550 kWh, com uma geração total no ano de 2021 de 150.600 kWh.

Palavras-chave: Análise de desempenho, Sistema fotovoltaico, Irradiação.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma das matrizes de geração de energia elétrica mais limpas do mundo (Aneel, 2022). De acordo com o balanço energético nacional (BEN) feito em 2022, mostra que, no Brasil, em torno de 88% da oferta interna de energia elétrica é renovável, com um destaque significativo para a fonte hídrica (61,9%), seguida pela eólica (11,8%) e solar (4,4%). Já as não renováveis são o gás natural (6,1%), carvão (1,2%), nuclear (2,1%) e derivados do petróleo (0,9%). A participação da fonte solar demonstra-se pequena, mas que nos últimos anos seu crescimento foi significativo, em que no ano de 2017 sua participação na matriz de energia elétrica brasileira era de apenas 0,13%, no ano de 2021 passou a ser de 1,66% e em 2022 alcançou a marca de 4,4%. (EPE, 2018, EPE, 2021, EPE, 2023).

A matriz de energia elétrica brasileira é caracterizada por ter sua geração centralizada em grandes centrais hidrelétricas e por não ser diversificada, pois possui forte dependência da fonte hídrica, sendo que a maior parte das usinas estão interligadas aos centros de consumo pelo sistema de transmissão (Aneel, 2015). Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR) é uma forma de descentralizar e diversificar a distribuição de energia elétrica, além de contribuir para a redução de perdas no sistema interligado nacional (SIN) em razão da distância entre as plantas de geração e os centros consumidores. (ABSOLAR, 2022).

A micro e minigeração distribuída (MMGD), deixou de ser considerado um setor pequeno no país, pois somente no ano de 2018 se teve mais de R\$ 2 bilhões em investimentos. Em 2019, este setor possuía uma capacidade instalada de 2,12 GW, em 2020 uma potência instalada de 4,38 GW e já em 2023 o país alcançou a marca de 22,4 GW de potência instalada da fonte solar. (ABSOLAR, 2021, ABSOLAR 2023). De acordo com o plano decenal de expansão de energia (PDE), estima-se que em 2029 haja cerca de 32 GW instalados nessa modalidade de geração (EPE, 2019).

Em janeiro de 2022 entrou em vigor a Lei 14.300/2022, que estabelece o marco legal MMGD e, em 2023, foi instituída a Resolução Normativa 1.059 de 07 de fevereiro de 2023 (REN 1.059/2023), que substitui a REN 482/2012 e suas atualizações – REN 687/2015 e REN 786/2017 -, estabelecendo os critérios para MMGD e o sistema de compensação de energia.

A microgeração distribuída é definida como central geradora em corrente alternada com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize fontes renováveis de energia elétrica ou cogeração qualificada, conectada à rede de distribuição de energia elétrica por meio de instalações de unidades consumidoras (UC) (Aneel, 2012), (Brasil, 2022).

Já a minigeração distribuída é definida como central geradora em corrente alternada com potência instalada superior a 75 kW, menor que 5 MW para as fontes despacháveis e menor que 3 MW para as fontes não despacháveis, que utilize

fontes renováveis de energia elétrica ou cogeração qualificada, conectada à rede de distribuição de energia elétrica por meio de instalações de unidades consumidoras (UC) (Aneel, 2012), (Brasil, 2022).

Atualmente existem cerca de 70 opções de financiamentos para aqueles que buscam instalar um SFCR em um imóvel comercial ou residencial, urbano ou rural (ABSOLAR, 2022). Para instalação de um SFCR é necessário um bom dimensionamento, com base no consumo de energia elétrica da UC, sendo essencial contar com o auxílio de especialistas, pois mesmo sendo as vezes um projeto pequeno, caso seja mal dimensionado, pode acarretar um menor retorno do investimento em relação a previsão inicial ou até mesmo prejuízos (Psolar, 2022).

A análise de desempenho de um SFCR, que por muitas vezes é negligenciada total ou parcialmente, é essencial para obter parâmetros como, energia média mensal gerada, produtividade, taxa de desempenho e fator de capacidade, tornando possível a comparação de desempenho entre SFCR com distintas: regiões, equipamentos e potências (VASILIEV, 2019).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Local de estudos

O local escolhido para a realização dos estudos foi o Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Ceará (IFCE), *Campus Cedro*, localizado na região centro-sul do Ceará, em que a latitude e longitude do local escolhido foi 6°36'03.2"S e 39°03'17.8"W, respectivamente (GOOGLE MAPS, 2022).

2.2 Sistema fotovoltaico (FV)

Os sistemas fotovoltaicos (FV) são divididos em dois tipos de sistemas, sendo eles o sistema fotovoltaico isolado (SFI) e o SFCR (Viana, 2010).

O SFI é geralmente instalado em locais distantes da rede elétrica, tendo como desvantagem sua necessidade de elementos com a função de armazenar energia elétrica e também possui baixa vida útil em relação ao SFCR, um dos elementos armazenadores utilizados é o banco de baterias, que tem a função de armazenar energia elétrica durante as horas de Sol - período em que há irradiação solar e que ocorre geração - e fornecer energia elétrica para as cargas nos horários que não há irradiação solar, ou seja, quando não há geração (Viana, 2010). No entanto, com o crescimento exponencial dos investimentos em sistemas FV na última década, o desenvolvimento de novas baterias tem avançado e o preço das baterias tem caído, tornando cada vez mais viável a implementação de sistemas isolados. O preço das baterias durante o período de 2013 até 2021 teve uma redução de 80,7% do seu preço inicial, a longo prazo, as baterias têm o potencial de lidar com grandes quantidades de energia gerada por fontes renováveis intermitentes, armazenando o excedente de energia para uso posterior quando as condições climáticas não são favoráveis. (ABREU, 2023).

Já o SFCR possui uma tendência de ser instalado próximos à rede elétrica, portanto sua tensão e frequência são compatíveis com a rede elétrica da concessionária ao qual o sistema está interligado. O SFCR tem como vantagem um custo reduzido em relação ao SFI, possibilitando um menor tempo de retorno do investimento, e não necessita de componentes armazenadores de energia (Urbanetz jr, 2010). Outra alternativa que tem se popularizado graças a diminuição no preço das baterias são os chamados Sistemas Híbridos, nos quais a geração e o armazenamento coexistem no mesmo local, devido à possível redução de custos em relação a iniciativas separadas de geração e armazenamento, além da sinergia proporcionada por tecnologias específicas que acompanham a tendência da iminente modernização das redes elétricas e do progresso tecnológico na busca por um sistema cada vez mais flexível e confiável onde observa-se uma crescente associação entre o emprego de sistemas de armazenamento e aplicações voltadas para a otimização da geração renovável. (ABREU, 2023).

O SFCR é visto como uma forma de MMGD ao longo dos alimentadores da rede elétrica de distribuição em baixa ou média tensão e contribui para a descentralização da geração de energia elétrica, pois sua geração fica próxima dos pontos de consumo. (Urbanetz., 2014).

2.2.1 Sistema fotovoltaico instalado no IFCE Campus Cedro

O SFCR do IFCE *Campus Cedro* conta com uma capacidade instalada de 92 kWp, composto por 237 módulos FV de 390 Wp da fabricante JA SOLAR modelo JAM72509-390/PR, e 2 inversores, sendo um de 25 kW e outro de 50 kW, ambos da fabricante GoodWe, modelo GW25K-MT e GW50KN-MT, respectivamente. Os módulos FV estão distribuídos em dois sistemas diferentes do IFCE *Campus Cedro*, chamados neste trabalho de SFCR 1 e SFCR 2, como mostrado na Fig. 1.



Figura 1 – Foto de satélite da área de cobertura do IFCE.

Fonte: (Google maps, 2022).

O SFCR 1, mostrado na Fig. 1, tem como componente integrante o inversor que possui potência nominal CA de saída ($P_{(nominal-ca)}$) de 50 kW, conectado à 157 módulos FV, totalizando uma potência instalada de módulos FV de 61,23 kWp, estando de acordo com a potência máxima na entrada CC do inversor ($P_{(máx-cc)}$) de 65 kW.

O SFCR 2, também mostrado na Fig. 1, tem como componente integrante o inversor que possui potência nominal CA de saída ($P_{(nominal-ca)}$) de 25 kW, conectado à 80 módulos FV, totalizando uma potência instalada de módulos FV de 31,20 kWp, estando de acordo com a potência máxima na entrada CC do inversor ($P_{(máx-cc)}$) de 32,50 kW.

A Fig. 2 exhibe o diagrama representativo de forma simplificada como é feita a coleta dos dados utilizados neste estudo, nele é possível verificar que o SFCR possui sua geração começando em dois conjuntos de módulos FV, cada conjunto indo para inversores diferentes. A coleta inicia-se a partir dos *dataloggers* internos aos inversores, que possuem a função registrar e memorizar os dados do sistema. Os dados são enviados para um armazenamento em nuvem via *wi-fi*, para posteriormente serem coletados por meio de *download* de arquivo em formato .xlsx. Após a aquisição dos dados em arquivos, segue-se para a etapa de tratamento de dados e formulação matemática, que é essencial para que a análise final dos dados seja feita de forma efetiva.

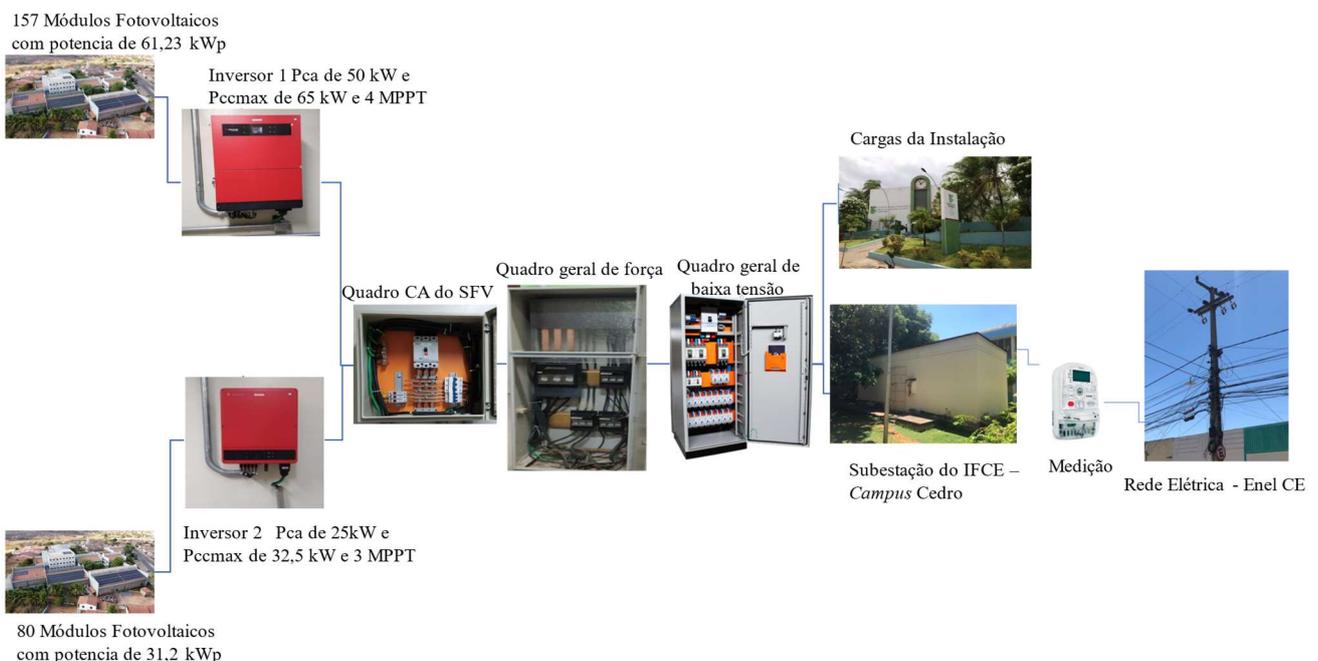


Figura 2 – Diagrama Representativo da Coleta de Dados do SFCR.

A Fig. 3 representa os dois principais caminhos que a geração FV possui e suas ramificações, em que o sistema estudado é representado pelo caminho na cor verde.

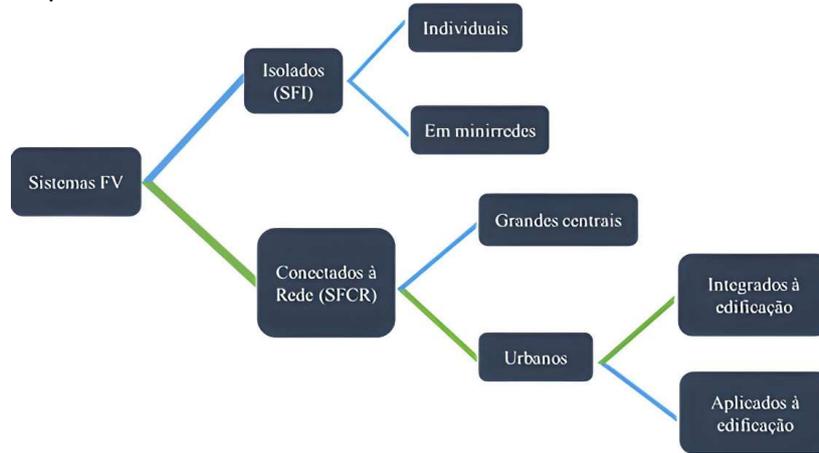


Figura 3 – Caminhos dos sistemas FV.

Fonte: Adaptada de (Urbanetz Jr, 2010).

2.3 Irradiação

A energia emitida pelo Sol é dita como uma energia renovável, sendo considerada praticamente inesgotável, em que esta pode ser aproveitada para suprir parte das necessidades da humanidade, seja para aplicações de aquecimento ou para a geração de eletricidade (Viana, 2010). A energia que o Sol emite através de ondas eletromagnéticas é denominada radiação solar (Goetze, 2017).

Para a realização do estudo da irradiação local foi utilizado o programa SunData da plataforma web do Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB). Através do SunData foi possível se obter a irradiação solar diária média mensal ($I_{mês}$), em kWh/m². dia e, assim, estimar a quantidade média de horas de Sol pleno (HSP) na região.

Após o acesso ao programa SunData é necessário inserir os dados de localização, como latitude e longitude do local, a fim de se obter irradiação solar diária média mensal (kWh/m². dia) dos meses do ano no local desejado.

2.4 Formulação matemática

2.4.1 Geração média diária mensal

Para dimensionar o SFCR é necessário calcular a geração média diária mensal, ($G_{mês}$), em que ($G_{mês}$) é a soma das gerações diárias de todos os dias que apresentaram medições, G_{dia} é a geração total do dia e n é a quantidade de dias do mês que apresentaram as medições, sendo para este caso m igual a n, conforme é observado na Eq. (1). Com a obtenção do $G_{mês}$ consegue-se o montante médio gerado por dia pela planta FV (Costa et al., 2017).

$$G_{mês} = \frac{\sum_{k=1}^m G_{dia}}{n} \quad (1)$$

2.4.2 Irradiação média mensal do local

De acordo com a Eq. (2), para obtenção do somatório da irradiação média mensal local em um determinado mês ($I_{mês}$), em que este representa a quantidade média de irradiação no local que será feito os estudos, sendo sua unidade o kWh/m². dia, onde o (I_{dia}) é o dia total de irradiação e n é a quantidade de dias do mês que apresentou irradiação (Costa et al., 2019).

$$I_{mês} = \frac{\sum_{k=1}^n I_{dia}}{n} \quad (2)$$

2.4.3 Irradiância STC

Muitos trabalhos a respeito de estimação de parâmetros de geração dos módulos fotovoltaicos, é realizado na Condição Padrão de Teste ou *Standard Test Condition* (STC). A STC é padronizada para ensaios de módulos FV com irradiância (I_{STC}) de 1.000 W/m², temperatura de 298 K, velocidade do vento igual à 1,5 m/s e a distribuição espectral padrão para a massa de ar de 1,5. Sabendo que, os painéis FV não operam nestas condições que são consideradas ideais.

No entanto para obter parâmetros que asseguram uma melhor exatidão no controle da potência real gerada pelo módulo FV é necessário desenvolver métodos que atualizem em função das variações climáticas (Lopes Filho et al., 2018).

2.4.4 Horário de Sol pleno HSP

A Eq. (3) mostra o intervalo de tempo em horas em que se concentra a irradiação solar ao longo do dia é denominada Horas de Sol Pleno (HSP), e tem como parâmetro uma irradiação solar constante de 1000 W/m² (Siqueira, 2015). Para obter o horário de Sol pleno (HSP) é tomado como relação a ($I_{mês}$) pela (I_{STC}) de acordo com os parâmetros da STC, o HSP é considerado uma produtividade de referência.

$$HSP = \frac{I_{mês}}{I_{STC}} \quad (3)$$

2.4.5 YIELD ou produtividade

A Eq. (4) apresenta a relação entre a energia gerada, em kWh, e a potência FV instalada dos módulos (P_{cc}), em kWp, em que esta é mais comparada a um ano de operação, por isso é mais conhecida como *yield* anual, mas que também pode ser uma *yield* mensal (Urbanetz, 2014).

$$Y = \frac{G_{mês}}{P_{cc}} \left(\frac{kWh}{kWp} \right) \quad (4)$$

2.4.6 Performance Ratio ou Taxa de Desempenho

Na Eq. (5) expressa em porcentagem mostra a relação entre a produtividade (kWh/kWp) e a quantidade média diária mensal de HSP a 1.000 W/m² incidentes nos módulos FV e Δt representa a quantidade de dias do mês, a taxa de desempenho está vinculada a um ano de operação, chamada de *performance ratio* anual, porém, pode ser também considerada a *performance ratio* mensal (Urbanetz, 2014).

A *performance ratio* é dada por um valor adimensional que mostra as perdas totais, falhas e variações que são características intrínsecas das células solares. Por exemplo, a diminuição da eficiência devido ao aumento da temperatura de operação das células solares não pode ser considerada uma falha, é consequência da variação das propriedades eletrônicas do semicondutor com a temperatura. Este fator indica o quanto sua operação se aproxima de um sistema ideal ($PR = 1$). Com este método é possível comparar índices de sistemas sem que a localização geográfica interfira, assim como, o posicionamento do gerador e a potência nominal, pois a produtividade é normalizada em relação à irradiação solar (Nóbrega et al., 2018).

$$PR = \frac{Y}{HSP * \Delta t} (\%) \quad (5)$$

2.4.7 Fator de Capacidade

O fator de capacidade (FC) mostrado na Eq. (6) é dado pela energia total gerada pelo sistema dividido pela energia que seria entregue ao mesmo, se caso fosse possível o sistema operar na P_{cc} durante às 24 horas e o ano inteiro de forma contínua (Urbanetz, 2014). Com isso é possível comparar a capacidade de geração de energias de diferentes fontes (Nóbrega et al., 2018).

$$FC = \frac{E_{Gtotal}}{P_{cc} * 24 * \Delta t} (\%) \quad (6)$$

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção apresenta os resultados de um estudo do comportamento do SFCR de 75 kW, instalado do IFCE *Campus Cedro*. É realizada uma análise de parâmetros que contribuem para um melhor entendimento do potencial de geração de energia elétrica no *Campus*, sendo o período de amostragem os 12 meses do ano de 2021.

3.1 Dados coletados do SFCR

Os resultados apresentados na Fig. 4 mostram os dados de geração média mensal que foram registrados no ano de 2021, onde é possível observar que o mês com maior geração foi setembro, tendo geração média diária mensal de 468 kWh e o mês com menor geração foi janeiro, com 347 kWh, mês em que o período de chuvas começa. A geração média diária anual foi de 412 kWh, sendo este valor considerado satisfatório para uma microgeração FV de 75 kW.

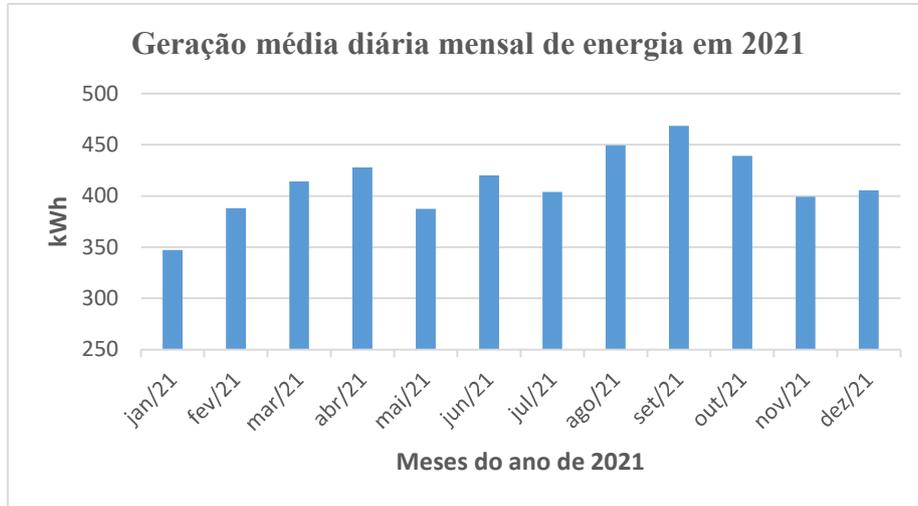


Figura 4 – Representação gráfica da geração média diária mensal de energia no ano de 2021.

A Fig. 5 mostra a irradiação solar diária média mensal do local, em que a irradiação coletada no programa SunData foi utilizado o ângulo igual a latitude e inclinação de 7° em relação ao polo Norte. O mês que teve a maior média mensal de irradiação foi o mês de setembro com 6,5 kWh/m².dia, já o mês com a menor média foi junho com 5,5 kWh/m².dia. A média anual foi de 6 kWh/m². dia e a variação de irradiação entre o mês com maior média e o menor foi de 1 kWh/m². dia.

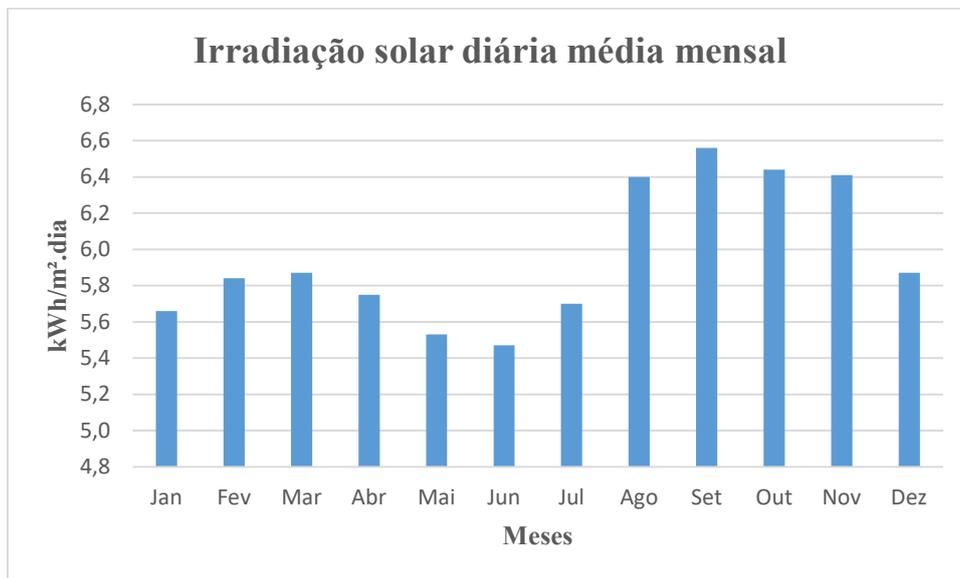


Figura 5 – Representação Gráfica da irradiação solar diária média mensal.

Fonte: (CRESESB, 2022).

3.2 Tendência da Geração e Irradiação

A Fig.6 compara os dados geração e irradiação do SFCR do IFCE- *Campus Cedro*. A partir das curvas geradas, é possível observar que a geração está diretamente ligada a quantidade de irradiação mensal, seguindo a tendência climática da região, onde no início do ano, no período chuvoso a irradiação é menor e consequentemente a geração também atinge

seus menores valores. Por outro lado, a partir do mês de agosto, inicia-se o período de clima mais seco, onde a irradiação e a geração são maiores, atingindo seu ápice no mês de setembro e estabilizando-se em dezembro.

É importante ressaltar que, embora fosse esperado em novembro geração mais elevada, devido aos maiores índices de irradiação neste período, isso não foi observado. Isso poderia ser devido a desligamentos temporários do sistema, causados por problemas na rede ou interrupções prolongadas de internet no Campus, que prejudicaria a coleta de dados de geração. Esses fatores podem ter subestimado a média de geração durante esse período, embora a causa exata não possa ser determinada neste momento.

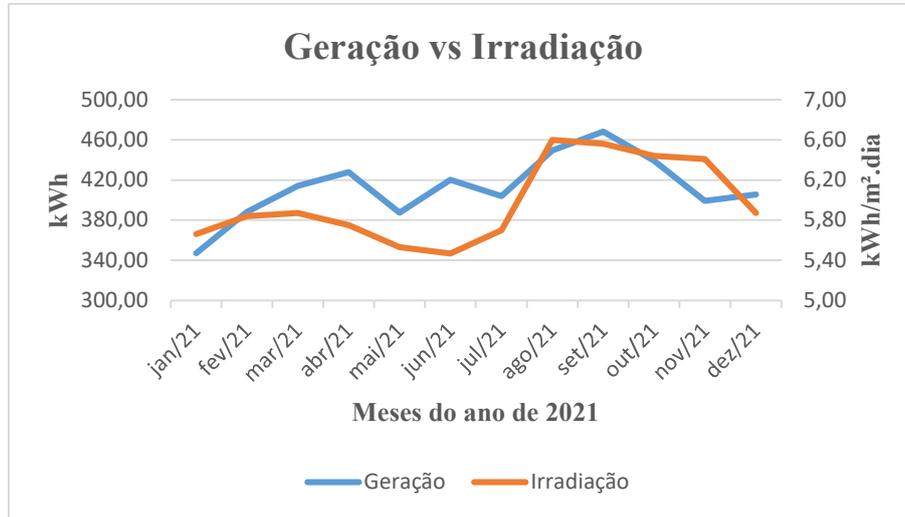


Figura 6 – Representação gráfica da geração vs irradiação.

3.3 Dados da Yield do SFCR

A Fig. 7 mostra a Yield, com base na potência instalada dos módulos FV (P_{cc}), que é de 92 kWp. Demonstrando que agosto e setembro se destacam como os meses de maior produtividade, registrando 151 kWh/kWp e 152 kWh/kWp, respectivamente. Observa-se, por outro lado, que janeiro e fevereiro apresentaram os índices mais baixos de produtividade, com apenas 116 kWh/kWp e 118 kWh/kWp. Além disso, a média anual de produtividade ficou em 138 kWh/kWp.

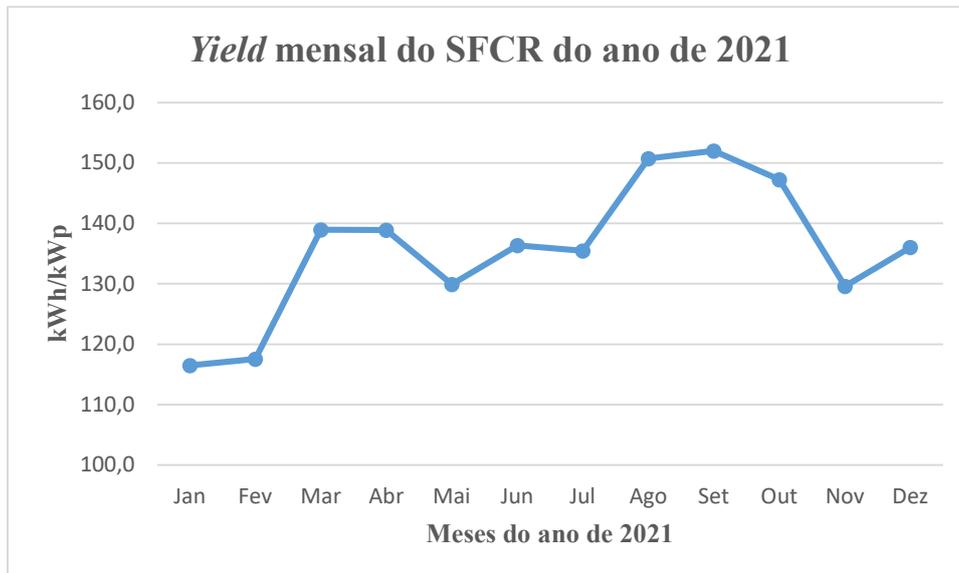


Figura 7 – Representação gráfica dos Dados mensais da Yield no ano de 2021.

3.4 Dados da Performance Ratio do SFCR

A Fig. 8 apresenta os dados mensais da PR. A análise dos dados revela que a PR do SFCR atinge seu pico em junho, alcançando 83,1%, enquanto atinge seu ponto mais baixo em janeiro, com 66,4%. A média anual da PR é de 74,8%,

indicando que a relação entre a produtividade (kWh/kWp) e a quantidade de horas de Sol com 1.000 W/m² incidentes no módulo FV permanece elevada na maior parte do ano.

Notavelmente, novembro apresenta uma queda abrupta na PR, o que é inesperado, dado o alto nível de incidência solar durante este mês. Existem algumas possíveis causas para esse fenômeno. Uma delas poderia ser o aumento da temperatura durante este período, o que poderia resultar em perdas no sistema. Além disso, a subdimensionamento do inversor pode influenciar a extração de energia dos módulos, especialmente em momentos de alta irradiação, pois a potência instalada dos módulos é 17,4 kW maior que a potência que o inversor consegue entregar à rede de energia elétrica, ou seja, um valor relativo à 23,2% da potência máxima que os inversores conseguem entregar à rede está sendo cortada por limitações técnicas na escolha do inversor.

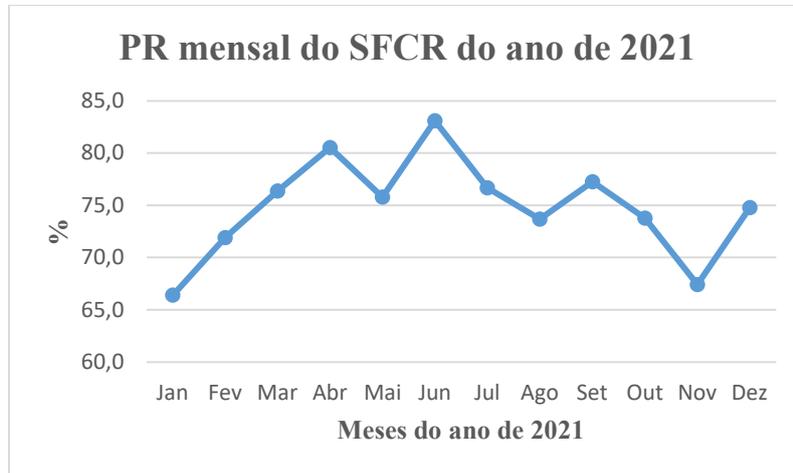


Figura 8 – Representação gráfica dos Dados da Performance Ratio.

3.5 Dados do FC do SFCR

O mês de setembro tem a melhor média diária de geração de energia elétrica, refletindo diretamente no FC deste mês que também é o maior do ano, com de 21,1%. Na Fig. 9 é mostrado que de julho a setembro o FC cresce e após setembro o FC tem um decaimento, estabilizando-se em dezembro, sendo o menor valor do FC de 15,7% no mês de janeiro, mês em que o período chuvoso começa. O FC médio no ano de 2021 foi de 18,6%.

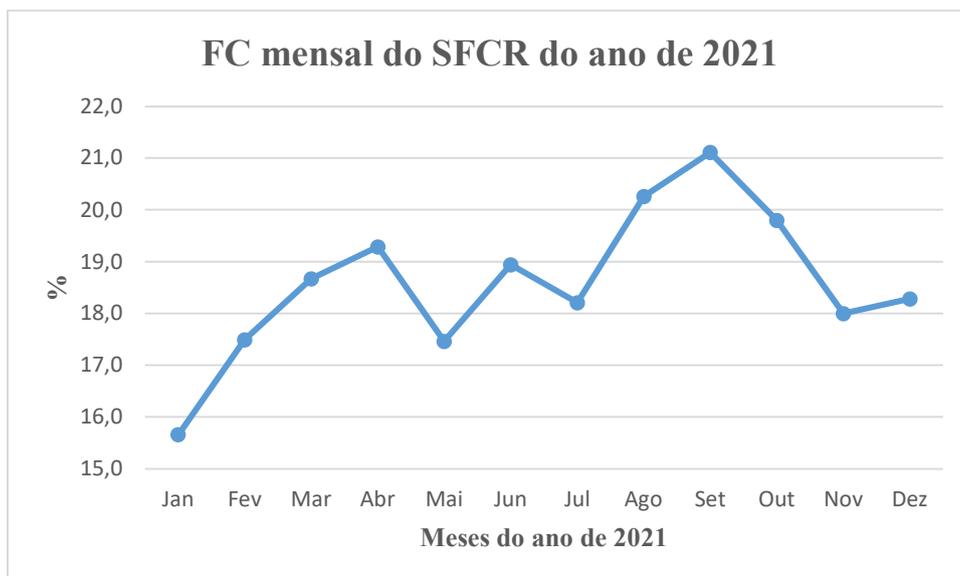


Figura 9 – Dados mensais da irradiação solar do local.

4 CONCLUSÃO

Neste artigo foram avaliados dados coletados durante um ano de um SFCR do IFCE Campus do Cedro, sendo estes dados trabalhados através de parâmetros como geração média diária mensal, irradiação média mensal do local, Yield, PR

e FC, a fim de se fazer uma melhor análise do potencial de geração do SFCR. O SFCR instalado no IFCE *Campus Cedro* teve uma geração média diária anual de 413 kWh no ano de 2021. O FC deste ano atingiu o maior valor em setembro, 21,11%, e o menor valor em janeiro, 15,66%, com FC médio de 18,60%, sendo estes valores considerados satisfatórios para um SFCR.

A *Yield* teve seu maior valor no mês de setembro com 152 kWh/kWp e seu menor valor no mês de janeiro com 116 kWh/kWp, enquanto o PR obteve seu maior valor no mês de junho com 83% e seu menor valor em novembro com 67%. Observa-se, no entanto, uma característica específica do SFCR do estudo em questão, relacionado ao aumento do desempenho nos meses de agosto e setembro estabilizando-se em dezembro, pelo fato de que tradicionalmente na região do estudo, nesses meses a incidência de irradiação solar é mais intensa e há poucas chuvas, verificando-se $I_{mês}$ em setembro de 6,5 kWh/m².dia. Em contrapartida, o mês de janeiro representa o ponto mais baixo do desempenho do SFCR, pois se trata de um período chuvoso, com $I_{mês}$ de 5,5 kWh/m².dia.

Sob essa perspectiva, surge um questionamento acerca da queda de desempenho no mês de novembro, o qual apresentam alta irradiação solar. Existem diversos motivos que podem ter ocasionado esse fenômeno, como por exemplo: o fato de que a temperatura mais elevada pode ter acarretado maiores perdas no sistema, a possibilidade de ter tido falta de internet no *Campus* por um período longo, que pode ter prejudicado a coleta dos dados de geração. Estes motivos podem ter causado que a média de geração neste período tenha sido subavaliada, porém não é possível precisar o motivo neste momento.

A partir dos dados coletados e dos índices calculados, pode-se concluir que durante o ano de 2021 o SFCR do IFCE-*Campus Cedro*, no geral, obteve um desempenho adequado para suprir parcialmente as necessidades de energia elétrica do *Campus*, com *Yield* médio de 138 kWh/kWp e PR médio de 75%, confirmando ser um sistema em que a geração de energia elétrica está na maior parte do tempo em conformidade com os valores esperados, além de operar de forma limpa, silenciosa e sem a necessidade de área adicional, visto que os módulos FV foram instalados sobre o telhado do *Campus*. Estas características mostram que SFCR é a forma de geração distribuída mais adequada para o ambiente de um *Campus* com atividades letivas.

REFERÊNCIAS

- Abreu, J. P. F. de et al. 2023. Estudo da viabilidade técnica e econômica da integração fotovoltaica e de sistemas de armazenamento de energia em baterias em campi universitários. Departamento de Engenharia Elétrica e Eletrônica da Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC. Florianópolis.
- Absolar. 2023. Brasil atinge 32 GW de capacidade instalada em energia solar fotovoltaica. Associação brasileira de energia solar fotovoltaica, Site: <<https://www.absolar.org.br/brasil-atinge-32-gw-de-capacidade-instalada-em-energiasolarfotovoltaica/#:~:text=No%20segmento%20de%20geração%20distribuída,pelas%20cinco%20regiões%20do%20Brasil>>. Acessado em: 01/2024.
- Absolar. 2022. Desmistificando o custo da energia solar para casas e empresas. Associação brasileira de energia solar fotovoltaica, Site: <<https://www.absolar.org.br/noticia/desmistificando-o-custo-da-energia-solar-para-casas-e-empresas/>>. Acessado em: 05/2022.
- Absolar. 2021. Energia solar fotovoltaica no Brasil infográfico ABSOLAR. Associação brasileira de energia solar fotovoltaica, Site: <<https://www.absolar.org.br/wp-content/uploads/2021/02/2021.01.08%20Infogr%C3%A1fico%20ABSOLAR%20n%C2%B0%2027.pdf>>. Acessado em: 05/2022
- Aneel. 2021. Proposta de metodologia para definição de quantidade de grupos geradores de pequenas centrais hidrelétricas. Agência Nacional de Energia Elétrica. Site: <https://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876412/Disserta%C3%A7%C3%A3o+Thiago+Abreu+2015.pdf/7d05c97f-4e45-054c-33c6-020884240fef>. Acessado: 01/2022>. Acessado: 02/2022.
- Brasil. 2022. Lei nº 14.300, de 06 de janeiro de 2022. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 133, n. 5, p. 1-6, 06 jan.
- Costa. 2017, D. A. C., Carvalho, P. C. M de; Cavalcante, A. P. de H., Soares, F. S., Vieira, O. L., Silva, F. J. R. da; Barroso, G. C. Performance de Uma Geração Distribuída Fotovoltaica Instalada na Zona Urbana de Fortaleza. II Congresso Brasileiro de Geração Distribuída. Fortaleza.
- Costa, 2019. D. A. C., Carvalho, P. C. M., Menezes, B. F., Silva, F. J. R., Vieira, O. L., Soares, F. S., Carvalho, P. R. Photovoltaic Distributed Generation Connecting to the Grid: Analysis of Solar Incident Irradiation and Electricity Generation in the Federal University of Ceara. IEA SHC International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry. Fortaleza.
- EPE. 2017. Balanço Energético Nacional 2018: ano base. Empresa de Pesquisa Energética, 2020. Site: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2018>>. Acessado: 03/2022.
- EPE. 2019. Plano decenal de expansão de energia 2029. Empresa de Pesquisa Energética, Site: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2029>>. Acessado em: 05/2022.

- EPE. 2021. Balanço Energético Nacional 2021: ano base 2020. Empresa de Pesquisa Energética, Site: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>>. Acessado em: 04/2022.
- EPE. 2023. Balanço Energético Nacional 2023: ano base 2022. Empresa de Pesquisa Energética, 2020. Site: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2023>>. Acessado em: 01/2024.
- Fusano, R. H. 2013. Análise dos índices de mérito do sistema fotovoltaico conectado à rede do escritório verde da UTFPR. (Trabalho de conclusão de curso). Departamento Acadêmico de Eletrotécnica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR. Curitiba.
- Goetze, F. 2017. Projeto de microgeração fotovoltaica residencial: estudo de caso. (Trabalho de conclusão de curso). Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRS. Porto Alegre.
- Gómez, 2018. J.M. Rodríguez; Carlesso, F.; Vieira, L. E; Da Silva, L. Solar Irradiance: basic concepts. Revista Brasileira de Ensino de Física, [s. l.], v. 40, n. 3. DOI <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2017-0342>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/DfZGpdWH53yHvvj9kwjMqqt/?lang=pt#>. Acesso em: 15 jun. 2023.
- Google Maps. 2023. Disponível em: <<https://www.google.com/maps/place/6%C2%B036>>. Acesso em: 30 out. 2023.
- Lopes Filho, 2018. Gilberto., Franco, R. A. P., Vieira, F. H. T. Estimativa de parâmetros de painéis fotovoltaicos utilizando o algoritmo firefly com atualização em função da irradiância e temperatura. VII congresso brasileiro de energia solar. Gramado.
- Maczulak, A. E. Renewable Energy: Sources and Methods. 2009. 1. ed. [S. l.]: Green Technology, 208 p.
- Nóbrega, B. S. da; Lima, W. G., Melo, R. H. F. De; Gonçalves, M. C. P., Wanderley Neto A. da; C. 2019. Desempenho de um sistema solar fotovoltaico com diferentes inclinações e orientações azimutais em cidades da Paraíba. Revista principia. Divulgação científica e tecnológica do IFPB n° 43. Sousa. PB.
- Pereira, E. B., Martins, F. R., Gonçalves, A. R., Costa, R. S., Lima, F. J. L., Rütther, R., Abreu, S. L., Tiepolo, G. M., Pereira, S. V. and Souza, J. G. 2017. Atlas Brasileiro de Energia Solar. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2nd ed. São José dos Campos.
- PSolar. 2022. Energia solar: como calcular. Portal Solar 2022. Site: <<https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-como-calcular>>. Acessado em: 02/2023.
- Siqueira, L. M. de; 2015. Estudo do dimensionamento e da viabilidade econômica de microgerador solar fotovoltaico conectado à rede elétrica. Trabalho de conclusão de curso, UFJF. Juiz de fora.
- Urbanetz jr, J. 2010. Sistemas fotovoltaicos conectados a redes de distribuição urbanas: Sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade. Tese de Doutorado, UFSC. Florianópolis.
- Urbanetz jr, J., Casagrande JR, E. F., Tiepolo, G. M. 2014. Acompanhamento do desempenho do sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica da UTFPR. IX Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. Florianópolis.
- Vasiliev, M.; nur-e-alam. M.; Alameh, 2019. K. Recent Developments in Solar Energy-Harvesting Technologies for Building Integration and Distributed Energy Generation. **Energies**. 6° ed, Vol. 12, p 1-23, doi:10.3390/en12061080. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en12061080>. Acesso em: 04/2023
- Viana, T. S. 2010. Potencial de geração de energia elétrica com sistemas fotovoltaicos com concentrador no Brasil. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC. Florianópolis.

PERFORMANCE ANALYSIS OF A GRID-CONNECTED PHOTOVOLTAIC SYSTEM AND INSTALLED AT IFCE CAMPUS CEDRO

Abstract. *The Sun is considered one of the main sources of energy for planet earth, being two of its main means of harnessing its energy aimed at heating and generating electricity, in which its use as a source for generating electricity makes up a small plot in the matrix. Electricity generation in Brazil is heavily dependent on hydroelectricity, which accounts for 61,9% of domestic supply. Solar irradiation is abundant in Brazil and with the aim of decentralizing and diversifying the country's electricity matrix, in recent years the number of industrial/commercial points with photovoltaic (PV) systems connected to the grid (SFCR) has increased. However, in order to obtain a system with good results, in addition to good sizing, it is important to carry out a performance analysis after a certain period of use, in order to obtain knowledge of factors such as: productivity, also known as yield (Y), the performance ratio, better known as the performance ratio (PR), and the capacity factor (FC). By obtaining these parameters, it is possible to analyze an SFCR without the geographic location, generator positioning and nominal power interfering. In this study, a performance analysis of the SFCR system of the IFCE, Campus Cedro, was carried out in relation to the year 2021, an installation belonging to group A, with an average local irradiation of 6 kWh/m². dia at the angle equal to the latitude of 7° and reference to the north pole, the SFCR has an average monthly generation for the year of 12.550 kWh, with a total generation in 2021 of 150.600 kWh.*

Keywords: *Performance analysis. Photovoltaic system. Irradiation.*