

ANÁLISE COMPARATIVA DE GERAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE COM UM INVERSOR E COM MICROINVERSORES

Thiago Meneses Lopes¹, Ramohn Caetano da Silva², Aparecido Eduardo Borges², Jean Carlos de Araújo Lima², Cícero Cesário Neto², Augusto Cesar dos Santos³

¹Estudante do curso de engenharia elétrica do *campus* Palmas – IFTO. e-mail: <thiagomeneseslopes@gmail.com>

²Estudantes do curso técnico subsequente em eletrotécnica do *campus* Palmas - IFTO. e-mail: <silvacetanoramohn@gmail.com>; <aparecidoeduardoborges@gmail.com>; <jeancarlos0604@gmail.com>; <cicero.cn123@hotmail.com>

³Docente da Área Indústria do *campus* Palmas - IFTO. e-mail: <augusto@ifto.edu.br>

Resumo: O presente artigo tem por objetivo apresentar uma análise comparativa no quesito geração de energia elétrica por sistemas fotovoltaicos conectados à rede. Foi utilizado um sistema conectado a um inversor de 3kW e outro conectado a dois microinversores de 500W cada, ambos instalados no Instituto Federal do Tocantins – *Campus* Palmas. A fim de se observar e concluir qual dos sistemas obtém maior desempenho em perspectiva da geração solar, resultados são apresentados considerando a utilização do inversor e do microinversor nos sistemas em questão nas condições particulares que estão submetidos no período de trinta dias.

Palavras-chave: Sistemas fotovoltaicos conectados à rede, geração solar, inversor, microinversor.

1 INTRODUÇÃO

Com o surgimento de novas tecnologias, cada vez mais é preciso descobrir novas fontes de energia, de preferência as chamadas energias renováveis. É nesse contexto que a energia solar surgiu e tem se desenvolvido no mundo. Diferentemente das fontes convencionais de energia utilizadas, a energia solar é temporalmente intermitente e apresenta uma variabilidade espacial elevada em razão de sua forte relação com condições meteorológicas locais (cobertura de nuvens, concentrações de gases atmosféricos, entre outros) e fatores astronômicos associados aos movimentos orbitais e de rotação da terra (Atlas brasileiro de energia solar, 2017, 2^aed).

Mesmo o Brasil tendo sua matriz energética esmagadora encontrada nas hidrelétricas e termoelétricas (ANEEL, 2017), os sistemas fotovoltaicos estão cada vez mais garantindo seus espaços em leilões federais ou em outras concessões. Não almeja uma troca de matriz energética de imediato, mas sim buscar e se amparar nos sistemas fotovoltaicos, uma forma de segurança energética, desafogando assim as hidrelétricas e termoelétricas no cenário nacional. A perspectiva atual está voltada para o valor energético advindo dos sistemas simples e seu caráter ecológico em longo prazo. Nesse sentido, muitos países desenvolvidos tem buscado essa matriz renovável diante das novas políticas de preservação do meio ambiente.

Embasado na normatização atual da legislação brasileira, os sistemas mais utilizados no Brasil são os Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica (SFCR). A Resolução Normativa 482/2012, publicada pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, permitiu aos brasileiros gerar a sua própria energia utilizando fontes renováveis (solar, eólica, biomassa, hidráulica). Sistemas que

consistem basicamente na ideia da transformação de corrente contínua, que vem dos módulos fotovoltaicos, para corrente alternada por meio de inversores interativos ligados aos sistemas também conhecidos como sistemas *on-grid*. Os sistemas *on-grid* injetam essa corrente alternada na rede elétrica, sendo computada pelo relógio da concessionária de energia local, configurando assim em um *modus operandis* já estabelecido de sistema de crédito energético.

Tendo em vista um panorama de milhares destes SFCR conectados à rede elétrica brasileira, há então a necessidade constante do aprimoramento destas instalações, buscando a melhoria na eficiência dos mesmos. Aqui então entra a atuação do meio acadêmico para estas melhorias. As instituições de pesquisa, em geral, devem ter esse caráter de aprimoramento das tecnologias usadas na sociedade, para a melhora e eficácia da administração dos recursos esgotáveis.

Alguns trabalhos científicos foram publicados comparando geração de energia elétrica a partir de energia solar utilizando inversores e microinversores. Mais recentemente (FREITAS et al., 2018) verificou que mesmo os microinversores obtendo resultados abaixo do prometido pelo fabricante, ainda assim obteve uma pequena vantagem nas condições do sistema estudado, quando comparado com os inversores. Outro trabalho comparando sistemas no qual são arranjados com inversores e microinversores foi publicado por (MARTINS, 2012). O autor analisa dados experimentais de 20 dias de sistemas com a mesma proposta deste presente artigo, comparando sistemas com inversores e com microinversores. Evidencia que a maioria dos microinversores, de marcas diferentes, obtiveram resultados no quesito geração de energia um pouco acima em comparação com inversor *string*. O autor ratifica, também, que o tempo mínimo ideal seria 30 dias para coleta de dados.

A Figura 1 mostra os arranjos fotovoltaicos analisados neste artigo. O primeiro arranjo consta de quatro módulos, situado à direita, sendo o conjunto ou *string* que estão conectadas no inversor de 3kW, e a outra *string* situada à esquerda, conectado em dois microinversores totalizando 1kW.



Figura 1 - Imagem dos sistemas no telhado instalado no IFTO - *campus* Palmas.

Este artigo apresenta uma comparação de SFCR que está instalada no Instituto Federal do Tocantins – *campus* Palmas, utilizando módulos de placas solares conectados a um inversor e módulos

conectados a microinversores. Após um período de trinta dias de obtenção dos dados, é apresentado qual sistema obteve o melhor desempenho no quesito geração.

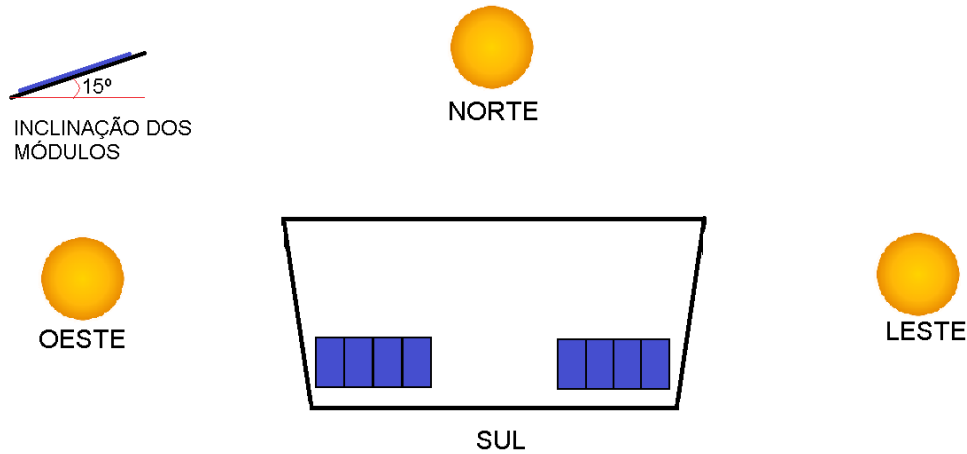


Figura 2 – Desenho do telhado com os sistemas visto de cima.

A motivação se deu diante da ainda escassez deste tipo de comparação no cenário brasileiro e da real necessidade deste tipo de análise de dados. Esta comparação entre inversores e microinversores será de grande utilidade para dimensionamento de futuros SFCR. Com os resultados deste projeto e a análise da eficiência destes sistemas utilizando inversor e microinversores, é possível afirmar qual configuração obtém melhor eficiência, e até onde um é mais viável que o outro.

2 METODOLOGIA/MATERIAIS E MÉTODOS

Através de uma prática interdisciplinar foi possível obter os dados da comparação de um SFCR do próprio *campus* Palmas do IFTO, onde já se tem instalados sistemas dos quais os dados para essa análise foram obtidos. Em um telhado recentemente estruturado para um procedimento do projeto social “anjo da guarda” – PSID do *campus* Palmas, na qual foi instalado um SFCR em direção ao norte geográfico e com angulação no eixo das placas, referente à angulação do telhado, com latitude ideal (próximo a 15 graus partindo do eixo 0x) e com disposição de módulos favorável a obtenção dos dados requeridos. Estruturados em um arranjo de módulos chamado *strings* com quatro módulos de 270W cada, totalizando 1080W, com dimensões de [163,8x98,2x1,0]cm da marca *canadian*, ligados a um inversor da marca *php* de 3kW (*string* localizada na parte superior direita na Figura 1), e outra *string* de quatro módulos, com mesmas especificações dos módulos anteriores, ligados a dois microinversores da marca *Apsystems* de 500 W cada, totalizando 1kW (*string* localizada na parte superior esquerda na Figura 1).

Foram desconsideradas mudanças de sombreamento nas *strings* analisadas, pois estão submetidas às mesmas condições por estarem instaladas no mesmo local. Observou-se com a

comparação de geração dos SFCR, que a partir das 17h já se tem sombreamento considerável nos módulos, conseqüentemente uma geração quase desprezível.

As informações analisadas são a potência que todos os sistemas geraram no dia, no qual é mostrado no display do inversor e do microinversor, e obtenção de uma média de irradiação solar no período analisado por meio de um *site* que mostra os dados de irradiância de uma estação meteorológica de Palmas. O procedimento para a obtenção dos dados destes sistemas foi manual e computado em uma planilha do Excel. Os dados foram obtidos por trinta dias corridos, no período de 20/06/2018 à 19/07/2018, quando foram computados os dados do inversor e dos microinversores. Após as 17h o SFCR praticamente parou sua geração por conta do sombreamento do período.

Depois de computado os dados de trinta dias, cada *string* foi analisada separadamente, com inversor e com microinversores de onde se podem obter algumas conclusões. A principal conclusão diz respeito ao sistema com maior eficiência em geração colocando em perspectiva as situações em que os mesmos estão submetidos, analisados sobre as perspectivas destes sistemas já instalados, e mostrar com uma maior clareza a discrepância de gerações nestes dois sistemas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Primeiramente apresentam-se os dados dos sistemas utilizados. Ambos estão submetidos a um estágio máximo de geração de energia, pois tanto o sistema com inversor, quanto o com microinversores, estão funcionando com 4 módulos solares de 270Wp totalizando 1080Wp. Os microinversores utilizados possuem potência nominal de 500W cada, totalizando 1kW. No caso dos microinversores a capacidade de geração dos módulos fotovoltaicos poderá ser um pouco acima da potência máxima dos microinversores, mas está dentro da tolerância admitida pelo fabricante. O cenário do sistema com inversor, com potência nominal de 3kW, atende perfeitamente a geração nominal das placas. Pode-se considerar, neste caso, que o inversor está sobredimensionado, pois se conferirmos um fator chamado FDI - fator de dimensionamento de inversor, no qual se calcula o desempenho de um sistema para mitigar as perdas de potência em dimensionamentos, calculado pela razão entre a potência nominal do inversor (P_{INV}^0) e a potência nominal dos módulos fotovoltaicos (P_{FV}^0) (MACÊDO, 2006). Neste caso, o sistema analisado com inversor possui o FDI 2,77 em módulo, sendo que o recomendável é que fique entre 0,8 e 1,0, faixa onde terão o maior rendimento. Nesse exemplo, com o inversor de 3kW seria possível utilizar 11 módulos de 270W, podendo-se aproveitar o máximo da geração, conseqüentemente maior rendimento.

Em todo caso, em ambos os SFCR o dimensionamento não afeta o quesito geração no qual a proposta consiste em analisar, mas perde muito na questão da ineficiência do sistema, reduzindo o custo-benefício, inviabilizando uma comparação dos preços dos sistemas analisados.

Os painéis fotovoltaicos estão em “condições padrão de teste” [STC - *Standard Testing Conditions*], que são padrões estabelecidos em laboratórios. Para que haja a comparação real de módulos fotovoltaicos de um sistema, impõe-se que em todo o módulo fotovoltaico, independentemente de sua potência nominal, deve atender a condição de estar sujeito a 1000 W/m² de irradiância solar e 25°C para que haja a máxima geração do sistema. No caso da comparação dos sistemas que estão instalados em Palmas, é muito difícil se manter nessas condições, pois em alguns períodos do dia este valor de irradiância é facilmente ultrapassado. No caso da temperatura, este critério se torna mais difícil de ser atingido, uma vez que no período de análise dos dados a temperatura ambiente foi bem superior ao que deveria ser estabelecido nos testes. A temperatura estabelecida para os testes em laboratório se refere à temperatura nos módulos e não temperatura ambiente, sendo assim o valor das temperaturas que os módulos estão submetidos é bem superior à temperatura ambiente, pois os mesmos estão recebendo a temperatura do sol o dia todo provocando um aquecimento acima do recomendável em laboratório. Na Tabela 1, os resultados da medição durante trinta dias da geração dos sistemas analisados são apresentados.

Tabela 1- Medição nos sistemas de geração com inversor e com microinversores.

	Microinversores	Inversor		Microinversores	Inversor
	kWh/dia	kWh/dia		kWh/dia	kWh/dia
Dia 1	5,9	5,7	Dia 16	5,7	5,5
Dia 2	6	5,8	Dia 17	4,1	3,8
Dia 3	5,9	5,7	Dia 18	5,6	5,4
Dia 4	5,9	5,7	Dia 19	5,7	5,4
Dia 5	5,9	5,7	Dia 20	5,8	5,5
Dia 6	5,9	5,7	Dia 21	5,7	5,5
Dia 7	5,6	5,4	Dia 22	5,6	5,2
Dia 8	5,7	5,5	Dia 23	5,5	5,2
Dia 9	5,9	5,7	Dia 24	5,6	5,4
Dia 10	5,9	5,7	Dia 25	5,7	5,4
Dia 11	5,8	5,5	Dia 26	5,7	5,5
Dia 12	5,1	4,9	Dia 27	5,7	5,4
Dia 13	5,8	5,5	Dia 28	5,9	5,6
Dia 14	5,6	5,4	Dia 29	5,8	5,5
Dia 15	5,8	5,5	Dia 30	5,7	5,5

Ao analisarmos os dados que estão disponíveis no *site* do INMET-Instituto Nacional de Meteorologia, onde se obtém os dados de uma estação meteorológica instalada em Palmas, observamos que no período de maior produção de energia solar nos sistemas fotovoltaicos, a temperatura ambiente se encontrava acima de 38°C. Importante salientar que a temperatura referente às células fotovoltaicas que estão nos módulos é superior a este valor da temperatura ambiente. Ponderamos também que de acordo com o *site* do INMET o índice pluviométrico de Palmas no mês da medição foi de 00 mm.

Após trinta dias de medição, compreendido o período de 20/06/2018 a 19/07/2018, a média de geração foi de 5,7kWh/dia para os microinversores e de 5,4kWh/dia para o inversor.

A análise dos sistemas foi realizada considerando apenas o critério da geração. É possível realizar uma comparação entre os sistemas considerando que estão submetidos às condições ideais, ou seja, em condições em que as perdas são nulas. Nesse sentido, os cálculos foram realizados em condições em que se estima o potencial máximo de geração. Primeiramente, foi calculado o que a literatura chama de horas de sol pleno. Esta grandeza reflete o número de horas em que a radiação solar deve permanecer constante e igual a 1kW/m² (CEPEL-CRESESB, 1999), dado pela fórmula:

$$SP = \frac{\text{Energia Diária Acumulada} [W/m^2]}{1000 [W/m^2]}$$

Através dos dados do *site* da CRESESB – Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito, foi possível obter dados referentes à irradiação solar de uma estação meteorológica que dista 1.8 km da cidade de Palmas-TO. Os dados apresentados dizem respeito a irradiação solar no plano inclinado, ou seja os raios solares chegam perpendicular (ângulo de 90° graus com o plano horizontal dos módulos) aos módulos já que os mesmos estão ajustados em valores próximos da inclinação da latitude de Palmas. A média de irradiação solar diária em Palmas considerando os meses de junho e julho de 2018 foi entre 5560W/m².dia e 6320W/m².dia. Por média ponderada, chegou-se a um valor de 5940 W/m².dia no mês analisado. De acordo com os dados solarimétricos baseados no atlas brasileiro de energia solar 2ª edição de 2017, os dados do *site* do INMET também estão em valores de irradiância próximos.

Através do cálculo de horas de Sol Pleno (HSP), obteve-se 5,9 horas de sol na irradiância ideal acumulada. A estimativa da geração máxima que os sistemas estão submetidos dar-se-á pela multiplicação do HSP pela potência máxima dos módulos no qual os dois sistemas estão ligados a 1080Wp. Se justifica a multiplicação pelo fato destes 1080 Wp, que os módulos conseguem gerar, serem obtidos a partir de uma hora de sol pleno. Logo, pela multiplicação do total de horas de sol pleno tem-se:

Tabela 2 – Geração média do sistema ideal e dos sistemas reais

Geração no sistema ideal (calculado)	Geração no sistema com inversor (medido)	Geração no sistema com microinversores (medido)
6,4 kWh/dia	5,4 kWh/dia	5,7 kWh/dia
191160 Wh/mês	163200 Wh/mês	170500 Wh/mês

Através de uma simples análise percentual do que os sistemas poderiam produzir, considerando as horas de sol pleno, obtém-se que um sistema com 100% de aproveitamento de geração teria a média de 6,4kWh/dia neste período. Destaca-se que o sistema com inversor de 3kW gerou 5,4kWh/dia em média, atingindo um percentual de 84,36% de aproveitamento, porém ficando cerca de 1kWh/dia abaixo do esperado de uma geração ideal. Já no sistema com dois microinversores totalizando 1kW foi medido cerca de 5,7kWh/dia em média no período analisado obtendo um aproveitamento de 89,06% no comparado com a geração ideal calculada.

4 CONCLUSÃO OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo dados referentes à medição em dois sistemas fotovoltaicos conectados à rede do IFTO – *Campus* Palmas foram apresentados. As medições ocorreram no período de trinta dias, de 20 de junho à 19 de julho de 2018. Um sistema consta de quatro módulos de placas com capacidade de geração de 1080Wp e um inversor de 3kW. O outro sistema consta também de quatro módulos de placas com capacidade de geração de 1080Wp e dois microinversores de 500W cada.

Considerando o caso dos painéis fotovoltaicos instalados no Instituto Federal do Tocantins, *campus* Palmas, nos meses de junho e julho, pode-se concluir que o sistema conectado aos microinversores, obteve um maior rendimento quando comparado com o sistema conectado ao inversor. Enquanto o sistema com microinversores obteve 170,5kWh/mês, o sistema com inversor obteve 163,2kWh/mês, ou seja, um aumento de aproximadamente 4,5% (7,3kWh/mês) na energia gerada no período de trinta dias.

Essa diferença mensal de geração ao longo de alguns anos traria uma diferença significativa para a economia geral do sistema de geração. Mesmo considerando que o custo dos microinversores

seja superior ao custo do inversor, é viável investir na aquisição de microinversores e num pequeno período de tempo haverá o retorno financeiro em termos de geração.

REFERÊNCIAS

ANEEL-Agência Nacional de Energia Elétrica. **Capacidade de Geração no Brasil.BIG – Banco de Informações de Geração.2017**. Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidade_brasil/capacidadebrasil.cfm>. Acesso em 10 de agosto de 2018.

ANEEL-Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa N.482/2012**. Disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em 10 de agosto de 2018.

FELIPE, Aleinilder. **Entenda o que é fator de dimensionamento do inversor**. Disponível em: <<https://projotofotovolt.com.br/blog/entenda-o-que-e-fator-de-dimensionamento-de-inversor/>>. Acesso em 06 de agosto de 2018.

GODOI, R. R.; MELO, C. F.; FREITAS, G. C. L.; JUNIOR, D. P.; FARIAS, J. V. **Análise Comparativa de Desempenho de Inversor String e Microinversor Instalados no Sistema Fotovoltaico FEELT-NUPEP-UFU**. VII Cong. Brasileiro de Energia Solar. Rio Grande do Sul, 2018.

GONÇALVES, A.; PEREIRA, E. LIMA, F.; MARTINS, F.; TIEPOLO, G.; SOUZA, J.; RÜTHER, R.; COSTA, R.; ABREU, S.; PEREIRA, S. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2ªed. São José dos Campos: INPE, 2017.

GRUPO DE TRABALHO DE ENERGIA SOLAR. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro. CRESCESB, 1999.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Estações Automáticas**. 2018.Dispoível em <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>.Acesso em 14/08/2018.

MACÊDO, Wilson Negrão. **Análise do Fator de Dimensionamento do Inversor aplicado a Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede**. 2004. 183f. Tese (Doutorado em Energia)-Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo.

MARTINS, Nuno. **Incorporação de Micro Inversor em Módulos Fotovoltaicos**. 2012. 115f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Electrónica e Telecomunicações)-Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática, Universidade de Aveiro.

PORTAL SOLAR LTDA . Folha de Dados do Pannel Solar – O Que Você Precisa Saber.

Disponível em: < <https://www.portalsolar.com.br/folha-de-dados-do-pannel-solar---o-que-voce-precisa-saber.html>>. Acesso em 15/08/2018.

ROSA, Rodrigo. Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede- SFCR / ON-GRID; CSR energia solar.

Disponível em <http://www.csrenergiasolar.com.br/blog/sistema-fotovoltaico-conectado-a-rede---sfcron-grid>. Acesso em 25 de junho de 2018.