

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE UM MICROINVERSOR CONECTADO À REDE ELÉTRICA

Wilson Negrão Macêdo – wnmacedo@ufpa.br

Pedro Ferreira Torres – pedro.ftorres@itec.ufpa.br

Symar Salgado Neto Pontes – symar.pontes@itec.ufpa.br

Wilson Braga Júnior – wbj99@yahoo.com.br

Renato Luz Cavalcante – renatolc@ufpa.br

Marcos André Barros Galhardo – galhardo@ufpa.br

João Tavares Pinho – jtpinho@ufpa.br

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Elétrica, GEDAE

Resumo. Neste trabalho apresentam-se alguns resultados da aplicação de um microinversor em um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica de baixa tensão. O sistema está instalado no campo de testes do Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas (GEDAE) da Universidade Federal do Pará (UFPA), na cidade de Belém, Estado do Pará, e é constituído basicamente por um módulo fotovoltaico de 245 Wp e um microinversor com 215 W de potência nominal. Inicialmente descrevem-se os detalhes de montagem do sistema de geração e de monitoração e posteriormente apresentam-se as análises de eficiência do gerador fotovoltaico e do microinversor, além dos dados da produção de energia elétrica sob diferentes perfis diários de irradiância.

Palavras-chave: Microgeração, Microinversor, Geração Distribuída, Conexão à Rede, Sistemas Fotovoltaicos

1. INTRODUÇÃO

A geração distribuída com sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica vem ocupando cada vez mais espaço nas discussões sobre a inserção das energias renováveis na matriz elétrica nacional. O crescimento dessa aplicação em diversos países possibilitou uma redução significativa no custo de produção da energia elétrica, tornando a geração distribuída com pequenos geradores fotovoltaicos (FV) uma alternativa energética competitiva, confiável e segura para o fornecimento de energia elétrica em regiões urbanas, por meio dos denominados Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCR's) (Macêdo, 2006, Cavalcante, 2011).

Uma das principais barreiras ao emprego da tecnologia no país era, até pouco tempo, o seu elevado custo. Essa barreira vem sendo superada, tendo em vista a redução dos custos dos vários dispositivos que compõem o sistema. Em um futuro não muito distante será comum que as edificações brasileiras usem um sistema FV interligado à rede, em um cenário em que as edificações, além de consumidoras de energia elétrica, passem a produzir parte da energia requerida, podendo, em algumas situações, injetar o excedente na rede de distribuição, sendo este excedente compensado no consumo de energia elétrica ativa da edificação, tal como determina a Resolução Normativa ANEEL N° 482 de 2012.

A configuração básica de um SFCR consiste de um gerador FV, com um ou mais módulos, e um inversor. A função principal do inversor é coletar a energia elétrica em corrente contínua (c.c.) do gerador FV, convertê-la em energia em corrente alternada (c.a.) compatível com as características da rede elétrica local, e injetar essa energia em um barramento c.a. (ponto de conexão). Inversores para SFCR's são uma pequena, porém crítica, parte de um investimento maior em um sistema de geração de energia elétrica composto de módulos FV, estruturas de sustentação, inversor(es), componentes de interconexão, e outros equipamentos.

Dentre as diversas topologias, a integração de um módulo e um microinversor, como se fossem um único dispositivo, vem se destacando no mercado. Nessa configuração, como há um único módulo FV para gerenciar, significa que não haverá problemas de dispersão de parâmetros e deve-se esperar uma melhor atuação do Seguidor do Ponto de Máxima Potência (Valentini et. al., 2008). Além disso, o sistema torna-se ainda mais modular e adequado para produção em escala, o que potencialmente pode conduzir a baixos custos de fabricação e de venda no varejo. Esta tecnologia é frequentemente vendida usando-se o argumento de ser muito apropriada para residências com baixa demanda de energia elétrica e onde o sombreamento parcial é um aspecto crítico (Dolara et. al., 2009, Paraskevadaki, 2011, Ramaprabha & Mathur, 2009, Mäki & Valkealahti, 2012). Projetado com a característica *plug and play*, o sistema não requer grandes conhecimentos de eletricidade para sua instalação. Porém, quando aplicado em grandes quantidades, devido à sua característica distribuída, os requisitos de manutenção podem tornar os custos elevados, desencorajando seu uso.

No presente trabalho são fornecidas informações sobre a operação de um SFCR com um microinversor, sendo analisados os seus aspectos produtivos e de eficiência, relacionados ao sistema de geração e conversão c.c. – c.a. Inicialmente, faz-se uma descrição detalhada do microsistema e posteriormente apresentam-se alguns resultados obtidos com a sua operação.

2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA

O sistema estudado é constituído por um gerador FV de 245 Wp constituído de um único módulo de 60 células em série, e um microinversor de 215 W interligado em um barramento da rede elétrica de 220 V c.a. O gerador FV está instalado em uma estrutura no solo, com uma inclinação de aproximadamente 12° e orientado para o norte geográfico. A seguir são fornecidas mais informações sobre os vários componentes do sistema, incluindo estrutura, microinversor e monitoração.

2.1 Estrutura

Para compor o gerador FV foi utilizado um módulo modelo *Aleo S19G245*, com potência de 245 Wp. As características elétricas nominais do módulo são apresentadas na Tab. 1, onde P é a potência nominal, I_{sc} é a corrente de curto-circuito, V_{oc} é a tensão de circuito aberto, η é a eficiência, I_{mp} e V_{mp} são a corrente e a tensão no ponto de máxima potência, α é o coeficiente da variação da corrente de curto circuito com a temperatura, β é o coeficiente da variação da tensão de circuito aberto com a temperatura e γ é o coeficiente de variação da potência com a temperatura.

Tabela 1 - Características elétricas do módulo FV utilizado.

P = 245 Wp	$\eta = 14,60 \%$	$\alpha = + 0,04 \%/^\circ\text{C}$
$I_{sc} = 8,1 \text{ A}$	$I_{mp} = 8,66 \text{ A}$	$\beta = - 0,31 \%/^\circ\text{C}$
$V_{oc} = 30,2 \text{ V}$	$V_{mp} = 37,7 \text{ V}$	$\gamma = + 0,44 \%/^\circ\text{C}$

A estrutura de sustentação para o gerador FV utiliza perfis de alumínio de $1.1/2'' \times 3/16''$, fixados a um bloco de concreto, e foi projetada para permitir a variação angular, cuja regulação é feita por duas barras chatas de alumínio de $1'' \times 1/4''$. Para a inclinação do gerador, deve-se levar em conta a latitude do local de instalação. A cidade de Belém está a uma latitude de $1^\circ 27'$, e a inclinação escolhida para o gerador foi aproximadamente 12° orientada para o Norte, visando também minimizar o acúmulo de sujeira na parte superior do gerador FV.

Para melhor ilustrar o projeto da estrutura, a o lado direito da Fig. 1 foi dividida em quatro partes, onde a primeira mostra uma visão geral da estrutura. Em “A” está detalhada a forma de fixação da estrutura na base de concreto (parafusos do tipo rosca soberba e buchas). Em “B” está apresentada a cantoneira em alumínio utilizada para fixar o módulo na estrutura, confeccionada de tal forma que possa deslizar sobre o perfil, permitindo que sejam testados diversos tipos de módulos com diferentes dimensões. Em “C” mostra-se o mecanismo de variação angular do suporte do módulo. O projeto completo da estrutura, já mostrando o módulo FV é apresentado na Fig. 1 (D).

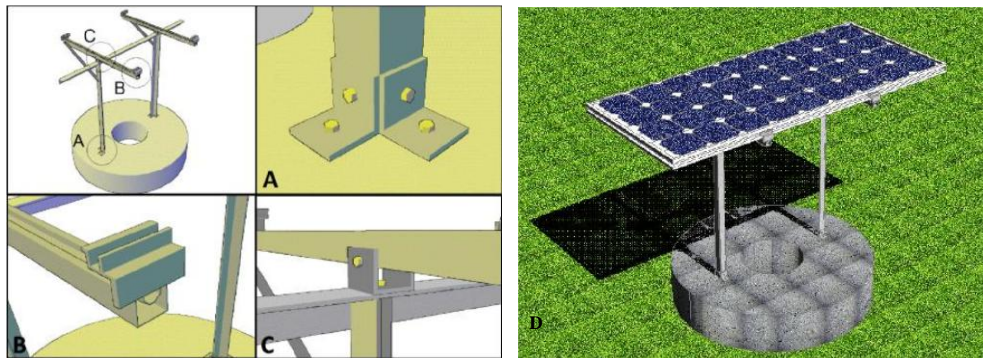


Figura 1 - Detalhes de fixação da base (A), suporte do módulo (B), variação angular do mesmo (C) e renderização do projeto da estrutura (D).

2.2 Microinversor e medidores

Para conversão de energia c.c. para c.a. utiliza-se um microinversor modelo *Enphase M215* (Fig. 2), cuja potência de entrada é compatível com a fornecida pelo gerador FV. As principais características técnicas são: potência nominal de 215 W, tensão de saída entre 211 a 264 V, frequência entre 59,3 a 60,5 Hz, fator de potência maior que 0,95, e eficiência de pico da ordem de 96% a uma temperatura ambiente de 25°C .

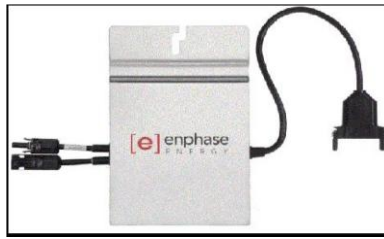


Figura 2 - Microinversor Enphase M215.

2.3 Diagrama Unifilar do sistema

Duas lâmpadas incandescentes de 100 W foram instaladas na interface entre a saída do microinversor e a rede elétrica, objetivando simular o consumo de energia ativa em uma residência, além de medidores eletrônicos unidirecionais modelo *Mecaf SMT1015* para medir a energia produzida diariamente pelo microsistema, bem como a demandada da rede elétrica local quando há o acionamento das lâmpadas. O diagrama unifilar do circuito está representado na Fig. 3, onde as setas indicam o sentido do fluxo de energia que é medido por cada medidor.

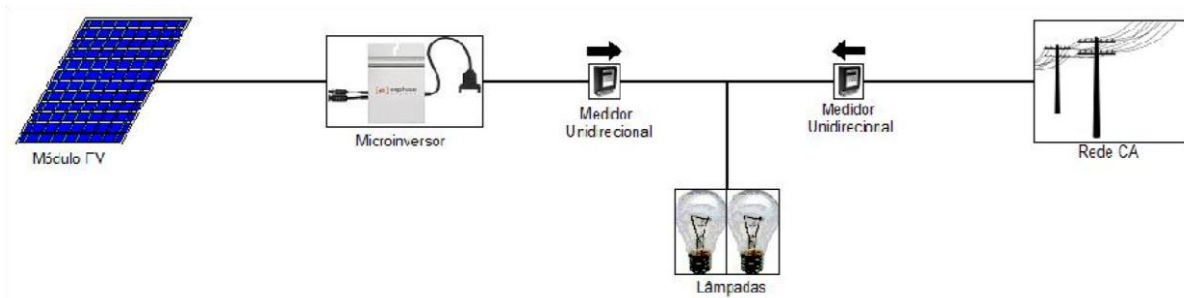


Figura 3 - Diagrama unifilar do sistema.

2.4 Sistema de monitoração

Em virtude dos medidores eletrônicos fornecerem somente o valor da energia acumulada, houve a necessidade de se monitorar outros parâmetros, tais como tensão, corrente e potência para que fosse possível analisar a eficiência do microinversor e do gerador FV. A seguir são apresentados os métodos utilizados para monitoração da irradiância e dos parâmetros elétricos.

Irradiância. Para medição dessa grandeza foi usada uma célula de referência de silício monocristalino do fabricante *Fronius* (Fig. 4), com calibração de 74,2 mV a 1.000 W/m², cujo sinal de saída é totalmente compatível com o *datalogger* (equipamento utilizado para aquisição das variáveis pertinentes ao sistema de monitoração, ver tópico *Coletor de dados*) que foi utilizado no processo de monitoração.

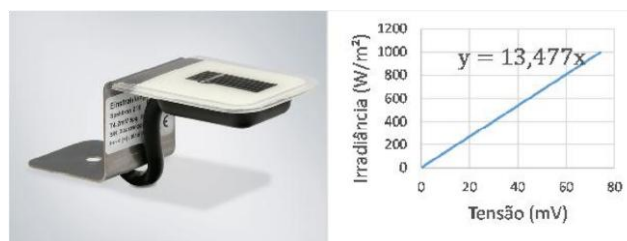


Figura 4 - Célula de referência Fronius.

A Fig. 4 mostra a célula e a sua curva de calibração. A equação mostrada é a que foi programada na memória do *datalogger*. Vale ressaltar ainda que os valores de irradiância obtidos pela célula foram comparados com os valores pontuais obtidos por um piranômetro *Licor LI200*, obtendo-se resultados com diferença máxima de 10 W/m², ou seja um erro de aproximadamente 1% para irradiância de 1000 W/m².

Tensão do gerador FV. Para medir a tensão do gerador foi utilizado o transdutor modelo *50V010VDC-127VAC* do fabricante *SECON*, cuja faixa de medição é de 0 a 50 V em corrente contínua, e possui alimentação de 127 V em corrente alternada (60 Hz). O sinal de saída é de 0 a 10V c.c., proporcional à entrada. A Fig. 5 mostra o transdutor utilizado e a sua curva de calibração levantada em laboratório.

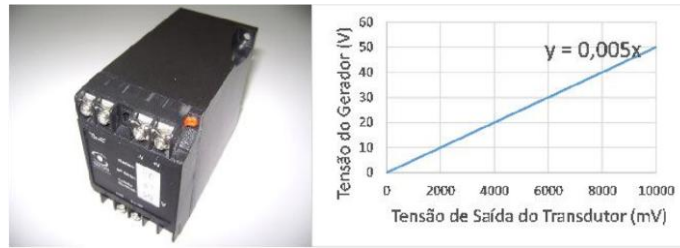


Figura 5 - Transdutor 50V010VDC-127VAC SECON.

Tensão de saída do microinversor. Como o *datalogger* utilizado não aceita na sua entrada sinais de tensão alternada, a tensão na saída do microinversor é feita pelo transdutor modelo 250V010VLF-127VAC da SECON, cuja faixa de medida é de 0 a 250V, com alimentação de 127V, ambas em corrente alternada. O transdutor possui saída de 0 a 10V em corrente contínua proporcional ao valor *RMS* da tensão c.a. de entrada. A Fig. 6 mostra o transdutor utilizado e a sua curva de calibração.

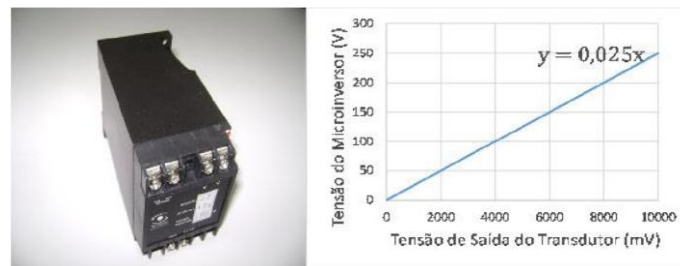


Figura 6 - Transdutor 250V010VLF-127VAC SECON.

Corrente elétrica. Os transdutores modelo DHR100C10 da LEM (Fig. 7) são utilizados para medir a corrente do gerador FV e a corrente de saída do microinversor. Esses transdutores funcionam por *Efeito Hall*, e podem medir formas de onda não senoidais, fornecendo um sinal de saída *True RMS* de 0 a 10V. Além disso, podem ser alimentados de 20 a 40Vcc. O maior problema encontrado na utilização desses transdutores foi a pouca precisão em medições de baixas correntes, já que a corrente nominal é da ordem de 100 A. A solução encontrada foi dar um maior número de voltas no cabo que conduz a corrente elétrica através do transdutor, para que a corrente seja aumentada e o coloque em uma faixa de operação mais compatível.



Figura 7 - Transdutor DHR 100 C10 da LEM.

A medição de todos os parâmetros elétricos foi realizada com o osciloscópio digital Fluke 199C Scopemeter, que possui exatidão de $\pm 0,5\%$ para tensão c.c. A medição de corrente foi realizada com o mesmo instrumento utilizando uma ponteira de corrente com exatidão menor que 4%. A curva de calibração da corrente c.a. de saída do microinversor, e a equação obtida a partir do osciloscópio estão mostradas na Fig. 8.

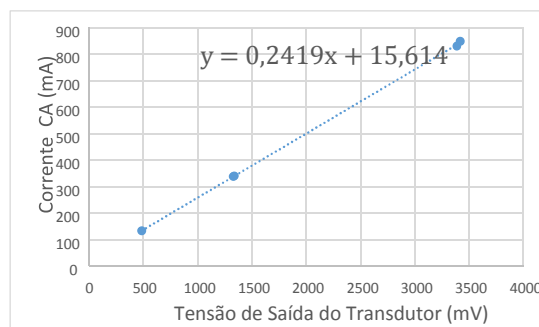


Figura 8 - Curva de calibração da corrente c.a.

Coletor de dados (datalogger). Para aquisição e registro de dados é utilizado um *datalogger* DT85 Series 2 do fabricante *DataTaker*, que mede sinais de tensão em c.c., resistência e frequência e, a partir destes, pode-se calcular outros parâmetros, como corrente e temperatura.

O DT85 (Fig. 9) possui 16 canais analógicos, cada um com quatro terminais. Isso permite a medição de até três sinais no mesmo canal, totalizando 48 medições simultâneas. A inserção das equações obtidas pela calibragem dos transdutores foi feita por meio do *software dEX*, instalado no *datalogger*, que fornece uma interface web gráfica que dispensa o uso da linguagem de programação do *datalogger* e permite a visualização em tempo real dos dados em um computador, através de gráficos, tabelas e mostradores virtuais. A comunicação com o computador é feita através de cabo USB.



Figura 9 - Datalogger DT85.

Instalação elétrica. A Fig. 10 ilustra como é realizada a monitoração da tensão e da corrente do gerador e da irradiância. Observa-se que no transdutor de corrente foram dadas duas voltas no cabo, para que a corrente seja multiplicada por dois.

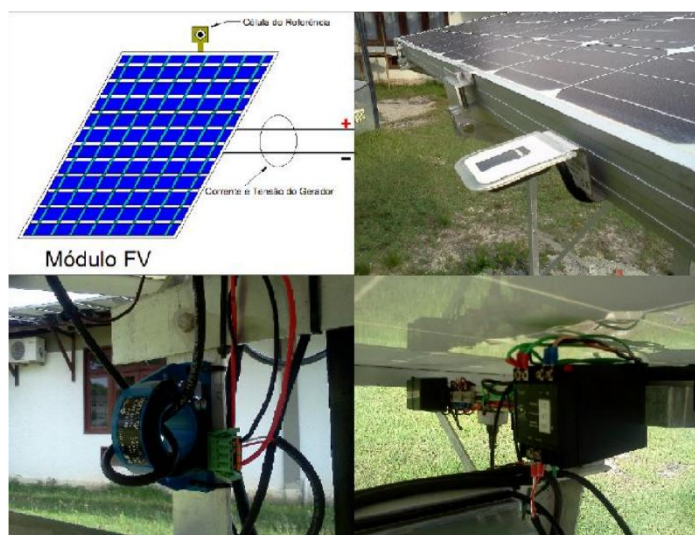


Figura 10 - Monitoração no lado do gerador.

A célula de referência foi instalada com a mesma inclinação do módulo FV. A própria estrutura de sustentação do gerador foi utilizada para fixação de todos os transdutores. O aterramento foi feito por meio de uma haste de cobre de 3/4" e 3 m de comprimento. Os cabos de alimentação, de sinal de entrada e de saída dos transdutores são todos de 1,5 mm², para facilitar a conexão com os terminais.

O esquema de medição da tensão e da corrente c.a. é mostrado na Fig. 11. Como a corrente máxima esperada é de 1 A, foram dadas 42 voltas de cabo no interior do transdutor, para evitar que este trabalhe em uma faixa de operação com baixa precisão e alta distorção. Na Fig. 11 é mostrada também a fonte de tensão c.c. de 40 V, utilizada para alimentar cada transdutor de corrente, cuja conexão foi feita através de conectores múltiplos, colocados ao lado da fonte.

Os sinais de saída de todos os transdutores foram conectados aos pares em uma outra borneira (conector tipo "barra") e levados até o *datalogger* por meio de um cabo de par trançado pelo interior de um eletroduto enterrado no solo. Por dentro deste também passam o cabo de conexão à rede elétrica c.a. e o cabo levando uma tensão de 127 V c.a. para alimentação dos transdutores de tensão e da fonte c.c. O programa foi configurado para obter uma amostra de sinal em cada dez segundos, e armazenar na memória a média em cinco minutos. O arquivamento dos dados é feito entre 06h00 e 18h00 diariamente.

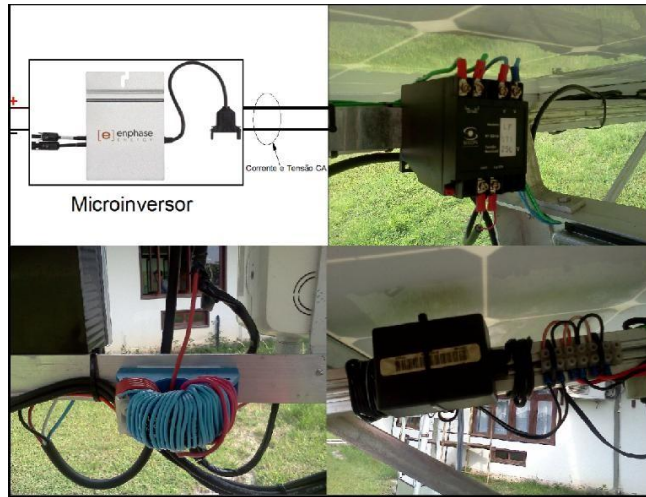


Figura 11 - Monitoração na saída do microinversor.

Na Fig. 12 é mostrado o borne de conexão com o cabo de sinal dos transdutores, o eletroduto e o *datalogger* abrigado em uma sala a 4 m de distância do microsistema, que está em funcionamento desde o dia 12/09/2013, com o sistema de monitoração operando desde 17/10/2013.



Figura 12 - Conexão com o *Datalogger*.

É possível observar na Fig. 12 os dois medidores eletrônicos unidirecionais abrigados abaixo do módulo FV. O sistema possui ainda um pequeno quadro contendo dois disjuntores, um conectado às cargas e outro à conexão do microinversor à rede.

3. RESULTADOS

3.1 Eficiência do módulo

O cálculo da eficiência média diária do módulo FV foi realizado de acordo com a Eq. (1).

$$\eta_{med\ inv} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} P_{saidaFV} dt}{\int_{t_1}^{t_2} H_{t,\beta} dt} \quad (1)$$

O numerador da Eq. (1) representa a energia elétrica total gerada pelo módulo FV, obtida da integração da potência c.c. durante o intervalo de operação considerado. O denominador é o valor da energia solar incidente sobre o gerador FV, que é calculado integrando-se a irradiância incidente sobre a área do módulo (área útil = 1,41 m² e área total = 1,64 m²) no mesmo período. O gráfico com as eficiências médias diárias das células (área útil) e do módulo (área total) no período de 17/10/2013 a 30/10/2013 é apresentado na Fig. 13. É possível observar que os valores da eficiência média diária das

células do módulo estão entre 14,6 % e 15,9 %, com médias de 15,1 %, enquanto esses valores para a área total do módulo está entre 12,6 % e 13,7 %, com valor médio de 13,0 %.

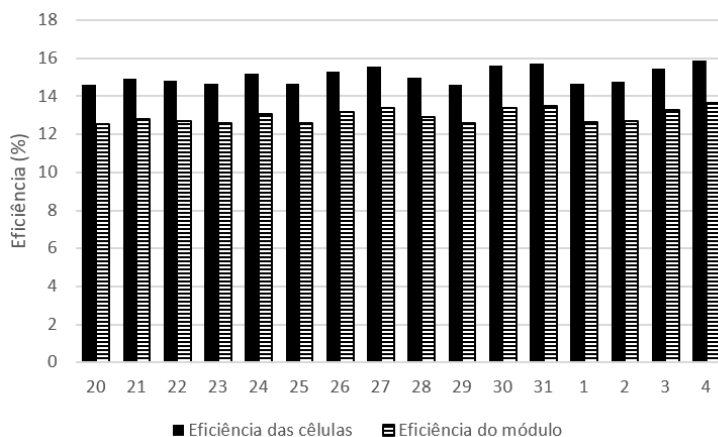


Figura 13 - Eficiência média diária considerando a área das células e total do módulo.

Vale ressaltar que nos resultados apresentados não constam os valores de temperatura de costa do módulo, uma vez que o sensor que mede este parâmetro está sendo adquirido, com sua instalação prevista para o segundo semestre de 2014.

3.2 Eficiência do microinversor

Uma característica importante de ser analisada em sistemas conectados à rede é a eficiência do inversor. O cálculo da eficiência instantânea desse equipamento é definido como sendo a relação entre a potência ativa c.a. e a potência c.c., como mostra a Eq. (2).

$$\eta_{inv} = \frac{P_{saidainv}}{P_{saidaFV}} \quad (2)$$

A eficiência desse equipamento está relacionada basicamente com duas variáveis: o seu carregamento e a sua temperatura de operação. O carregamento é definido como a relação entre a potência ativa c.a. ($I_{ca} \cdot V_{ca}$) e a sua potência nominal (P_{inv}) como mostrado na Eq. (3).

$$C_{inv} = \frac{I_{ca} \cdot V_{cc}}{P_{inv}^0} \quad (3)$$

Como exemplo de monitoração, a curva de eficiência do microinversor e seu carregamento ao longo do dia 30/10/2013 são mostrados no gráfico da Fig. 14.

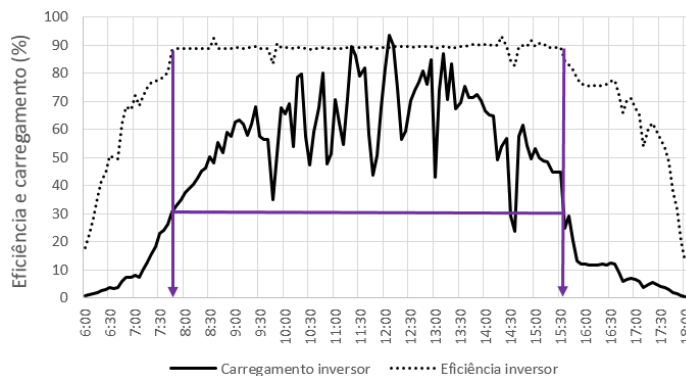


Figura 15 - Eficiência instantânea do microinversor e seu carregamento.

Na Fig. 14 é possível observar que a eficiência do microinversor é praticamente constante com valores próximos a 90 % entre 07h50 e 15h30, com apenas algumas variações pontuais. Esse gráfico mostra como a eficiência cai consideravelmente para baixos carregamentos, no início da manhã e no final da tarde. É interessante também notar a simetria na queda de eficiência na manhã e na tarde além do limite indicado pelas retas na cor roxa, que coincidem com o carregamento de 30% do microinversor. A eficiência média para a operação entre 08h00 e 16h00 foi de 89 %. Uma

outra forma de se representar as informações contidas na Fig. 14 é representada na Fig. 15, onde se permite a análise do desempenho do microinversor por meio da sua curva de eficiência em função do carregamento.

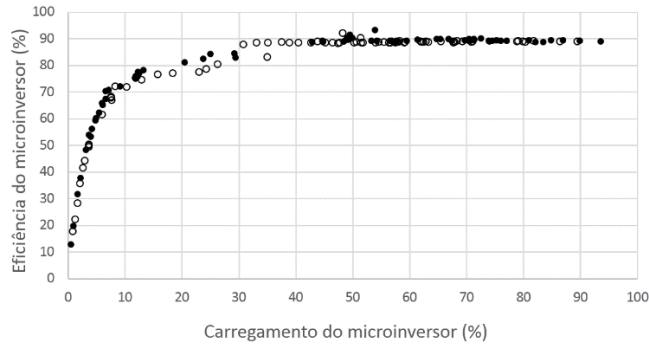


Figura 15 - Eficiência do microinversor em função de seu carregamento.

Na Fig.15 os círculos negros representam os valores medidos entre 06h00 e 12h00, enquanto os círculos brancos são valores entre 12h00 e 18h00. Nesse gráfico fica claro as duas regiões de operação do microinversor, com carregamentos até 30 %, que as eficiências possuem níveis variados, e acima de 30 % ela é praticamente constante.

A eficiência média diária do microinversor pode ser calculada pela Eq. (4):

$$\eta_{med\ inv} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} P_{saida\ inv} dt}{\int_{t_1}^{t_2} P_{saida\ FV} dt} \quad (4)$$

onde $P_{saida\ INV}$ e $P_{saida\ FV}$ representam as potências entregues à rede pelo microinversor e produzida pelo gerador FV, respectivamente. A Fig. 16 apresenta os valores de eficiência média para os dias analisados no período de 20/10/2013 a 04/11/2013.

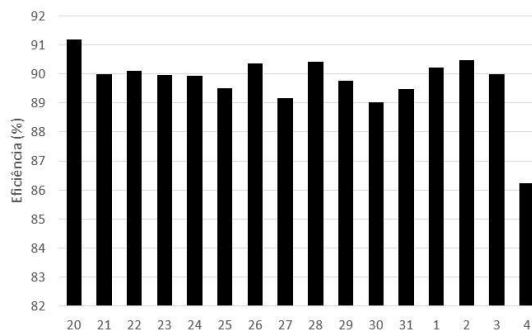


Figura 16 - Eficiência média diária do microinversor.

Nota-se que o dia 04/11 apresentou uma eficiência média consideravelmente abaixo das outras. Esse fato é explicado pela irradiância baixa distribuída ao longo do dia, fazendo com que o inversor operasse com baixo carregamento por um período considerável de tempo. O valor médio de eficiência média diária para os dias em questão foi de 89,7 %. Além dos valores globais de eficiência, é importante analisar o comportamento da eficiência instantânea ao longo do dia. Essa análise pontual foi feita para o dia 02/11/13, no intervalo entre 08h00 às 16h00, conforme mostrado na Fig. 17.

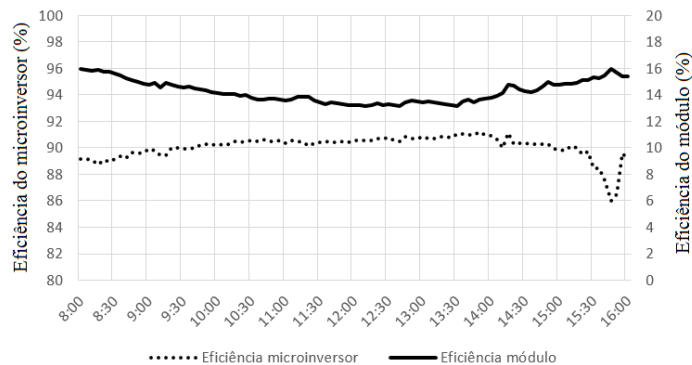


Figura 17 – Eficiências instantâneas do módulo FV e do microinversor.

Nota-se que a eficiência do microinversor praticamente se mantém constante em torno de 90 % ao longo do dia, com apenas uma queda. No caso do módulo FV, sua eficiência começa com valores próximos a 16 % e se reduz com o passar do tempo até as 13h30, com valor mínimo próximo de 13,2 %. Em seguida, sua eficiência volta a subir até as 16 horas. Com esse comportamento pode-se deduzir a dependência da temperatura para a eficiência do módulo, enquanto o microinversor, nas condições de operação observadas, possui eficiência dependendo basicamente do seu carregamento.

3.3 Energia gerada

Para se avaliar o desempenho de todo o sistema é necessário avaliar a quantidade de energia gerada a partir da energia disponibilizada pelo recurso solar. Durante o intervalo de medição, de 12/09/2013 a 30/10/2013, foram produzidos 56,126 kWh, valor obtido pelos medidores unidirecionais instalados. A partir do dia 20/10/2013 o sistema de monitoração já estava em operação e, no período de 20/10/2013 a 04/11/2013, os valores obtidos a partir dos medidores e pelo sistema de monitoração foram de 17,45 kWh e 17,99 kWh, respectivamente. Essa diferença pode ser justificada pela falta de exatidão dos transdutores em baixos níveis de corrente.

A Fig. 18 apresenta a produção de energia elétrica do gerador FV e do sistema como um todo, bem como as horas de sol pleno de cada um dos dias monitorados.

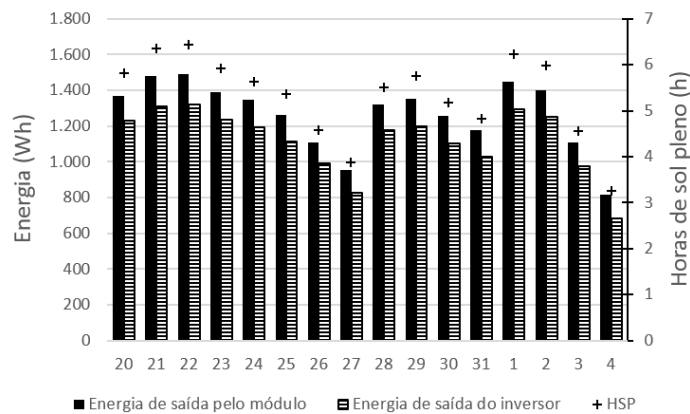


Figura 18 – Geração de Energia.

O dia 04/11 foi o de menor produção energética, com 682 Wh injetados na rede elétrica e 4,56 horas de sol pleno, enquanto o maior foi o dia 01, com a produção energética alcançando 1.291 Wh e 6,23 horas de sol pleno. A produção média de energia no intervalo monitorado foi de 1.121 Wh. A correlação entre as horas de sol pleno e a produção energética diária é apresentada na Fig. 19.

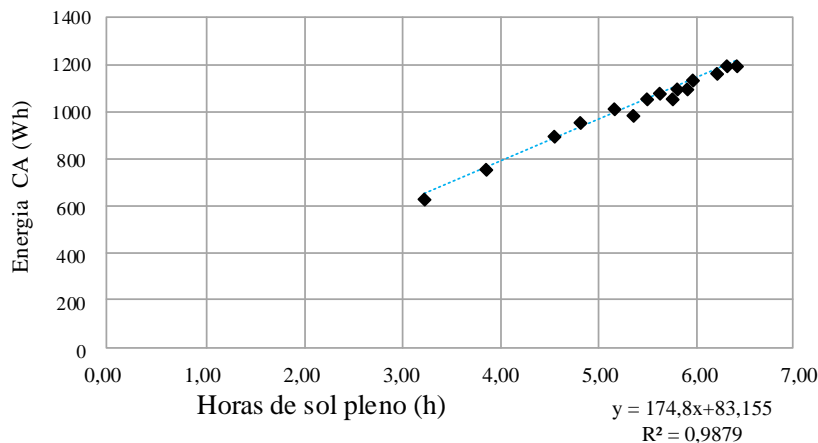


Figura 19 - Correlação entre as horas de sol pleno e a energia gerada.

É possível observar que a energia produzida é praticamente proporcional ao número de horas de sol pleno, com um coeficiente de correlação de 98,79 %. A reta que representa essa relação é mostrada na Fig. 19, podendo ser aplicada para uma estimativa da geração FV para um número de horas de sol pleno não inferior a 3.

4. CONCLUSÃO

O artigo apresenta os principais procedimentos adotados na montagem de um sistema de geração FV conectado à rede através de um microinversor, bem como o monitoramento de suas variáveis, que podem ser úteis na implementação de pesquisas similares. O trabalho possibilita uma avaliação preliminar do desempenho de um microinversor nas condições climáticas de Belém do Pará, demonstrando um bom desempenho nestas condições. O microinversor utilizado apresentou eficiência média diária de 89,7 % para carregamentos acima de 30 %. Apesar dos dados serem considerados preliminares, tendo em vista o curto período de análise, o sistema se mostrou promissor e que pode ser considerado um alternativa para o atendimento de pequenas demandas de energia elétrica, se comparado aos SFCR's tradicionais, para a implementação de deste tipo de sistema em residências convencionais.

Autorizações e reconhecimentos

Autorizamos a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudos e pesquisa, desde que citada a fonte.

Agradecimentos

O projeto foi desenvolvido com apoio do CNPq e da Vale S.A. (Chamada CNPq/VALE S.A. Nº 05/2012 – FormaEngenharia), do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Energias Renováveis e Eficiência Energética da Amazônia (INCT-EREEA), do Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas da Universidade Federal do Pará (GEDAE/UFGA), na forma dos recursos necessários para aquisição dos equipamentos e a disponibilização de infraestrutura adequada para o seu desenvolvimento.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012.
- Cavalcante, R. L.. Análise de dois Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica do Campus Universitário da UFGA, na Cidade de Belém/PA, Trabalho de Conclusão de Curso, FEE, ITEC, UFGA, Belém, 2011.
- Dolara, A.; Lazaroiu, G. C.; Leva, S.; Manzolini, G.. Experimental investigation of partial shading scenarios on PV (photovoltaic) modules. *Energy* (2013), <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2013.04.009>.
- Macêdo, W. N.. Análise do Fator de Dimensionamento do Inversor Aplicado a Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede, Tese de Doutorado, PIPGE, USP, São Paulo, 2006.
- Macêdo, W. N.; Cavalcante, R. L.; Junior, W. B.; Galhardo, M.; Pinho, J. T.. Contribuição Energética e Análise de Perdas de Conversão cc-ca em uma Aplicação Fotovoltaica Conectada à Rede Elétrica na UFGA. IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferencia Latino-Americana da ISES – São Paulo, 18 a 21 de setembro de 2012.
- Mäki A, Valkealahti S. Power losses in long string and parallel-connected short strings of series-connected siliconbased photovoltaic modules due to partial shading conditions. *IEEE Transactions on Energy Conversion* 2012;27(1):173e83.
- Paraskevadaki, E.V.; Papathanassiou, S.A.. Evaluation of MPP voltage and power of mc-Si PV modules in partial shading conditions. *IEEE Transactions on Energy Conversion* 2011; 26(3):923e32.
- Ramaprabha R.; Mathur B.L.. Impact of partial shading on solar PV module containing series connected cells. *International Journal of Recent Trends in Engineering* 2009;2(7):56 e 60.
- Valentini, M.; Raducu, A.; Sera, D.; Teodorescu, R.. PV Inverter Test Setup for European Efficiency, Static and Dynamic MPPT Efficiency Evaluation. 11th International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment, pp. 433-438 , 2008.
- Wang, F. Flexible Operation of Grid-Interfacing Converters in Distribution Networks: Bottom-up Solutions to Voltage Quality Enhancement, PhD Thesis, Eindhoven University of Technology, 2010.

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF A GRID-CONNECTED MICROINVERTER

Abstract. *This paper presents some results of the application of a microinverter in a grid-connected photovoltaic system on the low voltage distribution network. The photovoltaic system is installed at the test field of the Group of Studies and Development of Energy Alternatives (GEDAE) of the Federal University of Pará (UFGA), in the city of Belém, in the northern part of Brazil. The system consists of a 245 Wp photovoltaic module and a 215 W nominal power inverter. Initially the details of mounting the generation and monitoring system are described, and, subsequently, the analyses of the efficiencies of the PV generator and microinverter are presented, besides the data of electric power production in different daily profiles of solar irradiance.*

Key words: *Microgeneration, Microinverter, Distributed Generation, Grid Connection, Photovoltaic Systems*