

EXPERIÊNCIAS COM O PRIMEIRO SISTEMA FOTOVOLTAICO INTEGRADO A EDIFICAÇÃO E CONECTADO À REDE NA REGIÃO AMAZÔNICA BRASILEIRA

Wilson Negrão Macedo – wnmacedo@pq.cnpq.br

Gilberto Figueiredo Pinto Filho – gfilho@ufpa.br

João Tavares Pinho – jtpinho@ufpa.br

Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas – GEDAE, Faculdade de Engenharia Elétrica,
Universidade Federal do Pará

Roberto Zilles – zilles@iee.usp.br

Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo

Resumo. O principal objetivo deste trabalho é descrever e analisar o desempenho do primeiro sistema fotovoltaico integrado a edificação e conectado à rede (SFCR) instalado na Região Amazônica Brasileira. Esse sistema, implantado em Belém, Pará, está em operação desde dezembro de 2007 e foi instalado no novo laboratório do Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas (GEDAE). A construção do prédio foi projetada usando conceitos da arquitetura bioclimática, eficiência energética e geração com fontes renováveis de energia. O sistema fotovoltaico instalado possui como componentes principais um inversor de 2,5 kW e um arranjo fotovoltaico de 1,575 kW_p. O trabalho mostra alguns resultados de produção de eletricidade obtidos a partir da operação do sistema, que servem para suprir uma lacuna de informações operacionais sobre SFCR na Região, já que todos os outros sistemas desse tipo instalados no Brasil estão localizados nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste.

Palavras-chave: Energia Solar, Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede

1. INTRODUÇÃO

A aplicação de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCRs) no Brasil é extremamente interessante do ponto de vista estratégico, uma vez que permite a produção de eletricidade de forma distribuída e próxima ao consumo. Atualmente, quase que a totalidade dos sistemas fotovoltaicos interligados à rede instalados no Brasil encontra-se em centros de pesquisa, com raras exceções de algumas aplicações particulares. Isso se deve basicamente a questões econômicas e regulatórias, que aos poucos vêm sendo superadas.

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica são mais eficientes, econômicos, em média 40 % mais baratos que os sistemas fotovoltaicos autônomos, pois não necessitam de sistemas de armazenamento. Atualmente, os sistemas de fornecimento de eletricidade isolados vêm se tornando cada vez mais padronizados e flexíveis. Isso se deve, basicamente, à semelhança cada vez maior entre as características elétricas de atendimento dos sistemas convencionais (rede elétrica) e as características de atendimento dos sistemas destinados a localidades isoladas. Um exemplo prático desse desenvolvimento está na utilização de sistemas fotovoltaicos interligados a minirredes isoladas para o atendimento de pequenas comunidades, tal como mostra a Fig. 1, fornecendo energia diretamente no barramento CA, semelhante como acontece nos grandes centros urbanos.

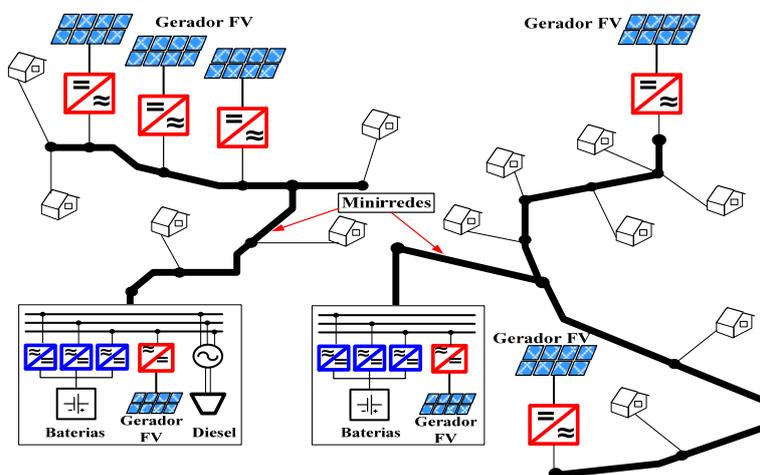


Figura 1 – Exemplo de sistemas fotovoltaicos interligados a minirredes isoladas.

No caso particular da Região Norte, onde existe uma grande quantidade de comunidades isoladas da rede elétrica, há também um grande interesse na utilização de SFCR em minirredes de sistemas isolados, uma vez que estes sistemas podem ser muito úteis no processo de universalização do atendimento de energia elétrica.

A possibilidade de utilização de equipamentos usados na rede elétrica convencional em minirredes isoladas vem tornando esses sistemas cada vez mais similares. Esta característica oferece vantagens significativas em sistemas de fornecimento de energia elétrica remotos, diminuindo significativamente as interrupções. Outro benefício é que os inversores empregados nesses sistemas possuem um grau de amadurecimento muito elevado, conseqüência do grande número de aplicações em redes elétricas de baixa tensão em países desenvolvidos, o que tornou esses dispositivos elementos importantes para o controle estável da rede. Além do mais, existe uma grande variedade de inversores passíveis de serem utilizados em minirredes isoladas, com um custo bastante atrativo. A Fig. 2 mostra uma série desses inversores, que vêm sendo avaliados pelo Institut für Solare Energieversorgungstechnik (ISET).



Figura 2 – Inversores comercialmente disponíveis mercado.

Outra vantagem dos sistemas fotovoltaicos com respeito a outros sistemas de produção de eletricidade é que eles não ocupam necessariamente espaço adicional ao já ocupado pelas edificações, como propôs Serrasolles *et al.* (2004). Adaptáveis para pequenas residências, grandes edifícios, fábricas, fazendas ou sistemas independentes, o gerador fotovoltaico pode integrar-se a superfícies construídas e até exercer a função de elemento de construção, como mostra a Fig. 3.

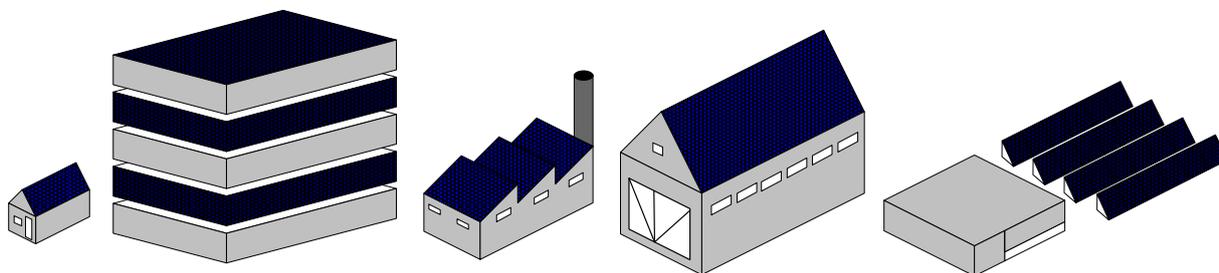


Figura 3 – Áreas passíveis de serem ocupadas por sistemas fotovoltaicos.

A possibilidade de se utilizar superfícies disponíveis nas edificações muitas vezes é penalizada por elas não estarem na orientação mais adequada. O desvio do plano de captação solar com relação ao norte resulta em uma redução na energia que incide diariamente sobre esse plano, sendo essa redução tanto maior quanto maior for esse desvio.

Com base nessa linha de raciocínio, há tempos o Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas (GEDAE) vem desenvolvendo trabalhos visando à execução de projetos e ao desenvolvimento de estudos na área de energias renováveis, o que constitui um tema importante para o desenvolvimento de muitas localidades isoladas na Amazônia.

Nesse sentido, o trabalho apresenta a descrição, etapas de montagem e alguns dados operacionais de um SFCR nas condições de Belém, visando a avaliar o funcionamento e à possibilidade de integração desse tipo de sistema, seja conectando-o à rede elétrica convencional ou como um elemento constituinte de um sistema em minirrede, tal como acontece nos sistemas híbridos de produção de eletricidade.

2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA

O SFCR do GEDAE é composto por um inversor de 2,5 kW e um gerador fotovoltaico de 1,575 kWp. Este último é constituído de 21 módulos de 75 Wp conectados em série, orientado a 19° noroeste e inclinado de 14° com relação a horizontal. A Fig. 4 mostra o gerador fotovoltaico instalado na fachada da primeira ala já construída do laboratório e a Fig. 5 mostra o diagrama unifilar das conexões do sistema.



Figura 4 - Vista do 1º SFCR da região amazônica, integrado à edificação do GEDAE.

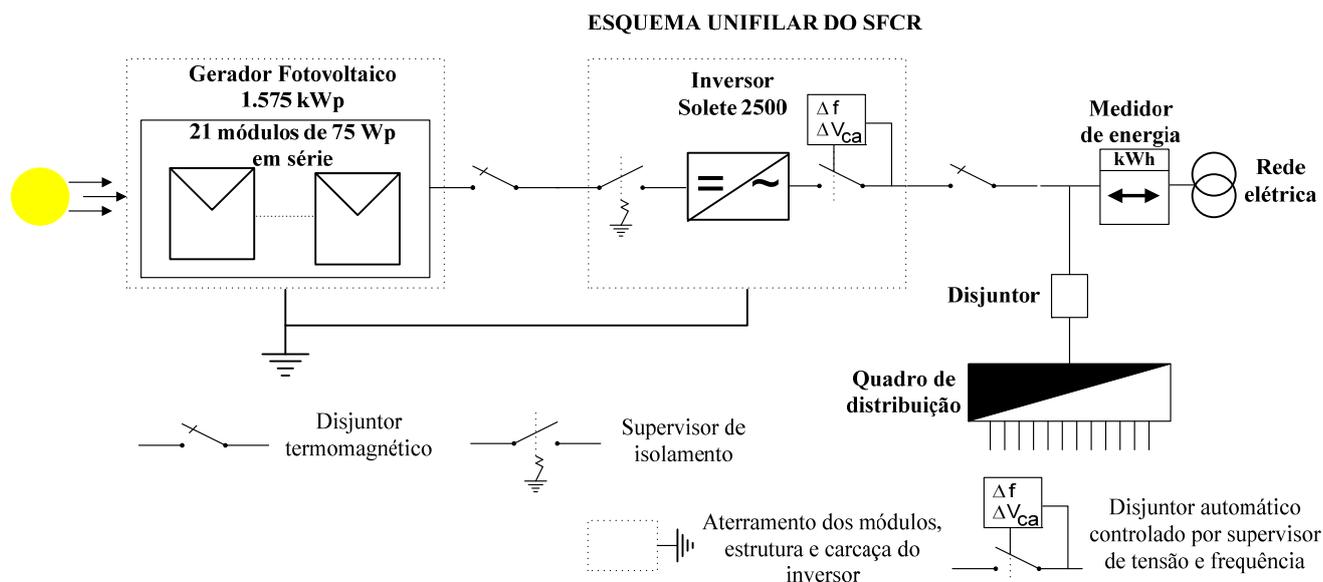


Figura 5 – Diagrama unifilar de conexões do SFCR.

3. ETAPAS DA INSTALAÇÃO

A instalação do SFCR foi precedida pelo projeto, pré-montagem e instalação da estrutura metálica que fixa o gerador FV ao telhado da edificação. Essa estrutura é composta de pés que moldam as telhas e perfis em L, ambos metálicos. Os pés, fixados nas pernas-mancas do telhado, foram produzidos especificamente para este projeto e possuem forma e tamanhos particulares, de acordo com a posição de cada telha onde os pés foram colocados, como mostra a Fig. 6.



Figura 6 - Detalhe de fixação dos pés e da estrutura inferior.

Essa primeira parte da estrutura de sustentação serve de base para aquelas em que são fixados os módulos (perfis superiores). Para facilitar a manutenção e o acesso à caixa de conexão dos módulos, a estrutura inferior conecta-se com a superior por meio de dobradiças, sendo que esta última é seccionada em grupos de três módulos, facilitando a montagem em blocos. A Fig. 7 mostra detalhes de como é constituída a estrutura e de como está fixada no telhado.

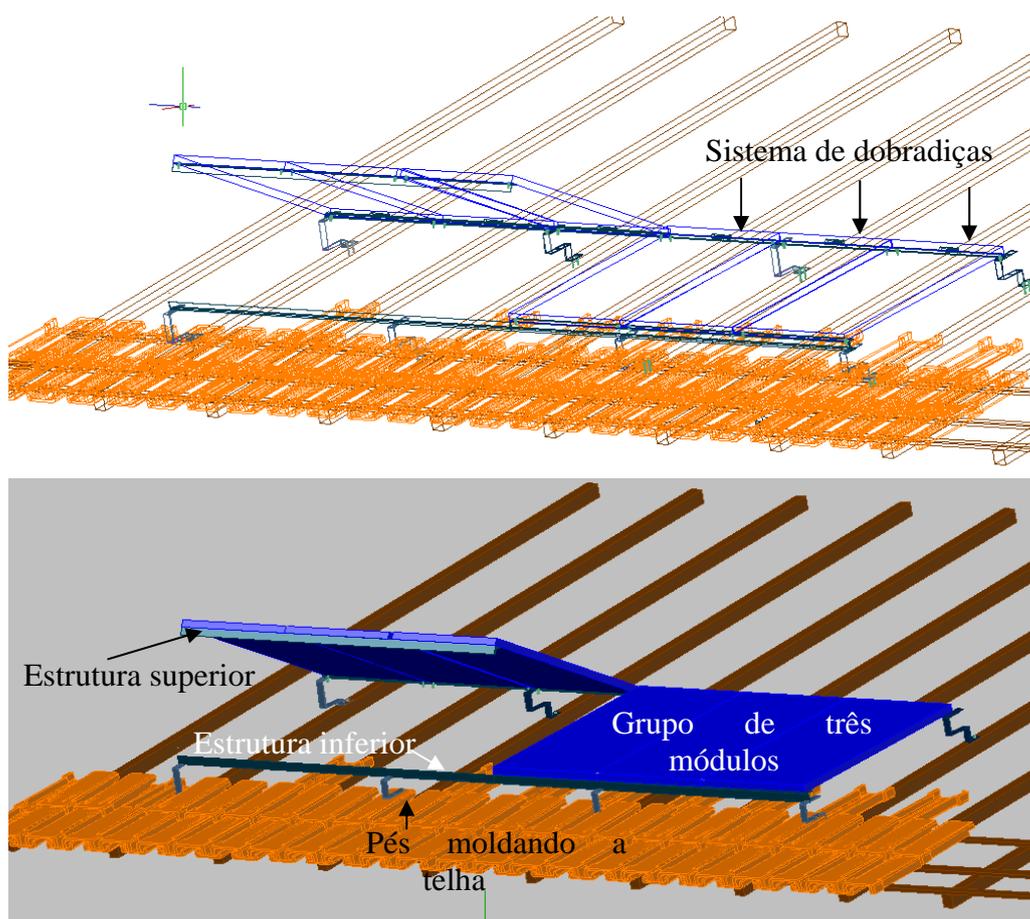


Figura 7 – Ilustração do telhado contendo parte da estrutura de fixação dos módulos fotovoltaicos.

Como os módulos fotovoltaicos foram distribuídos na estrutura em grupos de 3, ou seja, cada seção superior comporta um total de 3 módulos, que podem ser montados inicialmente no solo, a instalação e a manutenção do sistema são consideravelmente facilitadas. A Fig. 8 mostra um grupo de três módulos inclinados facilitando o acesso às caixas de conexão.



Figura 8 – Vista inferior de um dos grupos contendo 3 módulos.

Cada grupo de módulos é conectado eletricamente ao grupo subsequente através de um “conector de microfone” (3 pinos tipo macho-fêmea). A Fig. 9 mostra detalhes de uma conexão entre dois grupos que constituem o gerador fotovoltaico. Esse tipo de conector facilita a conexão ou desconexão, no caso de uma eventual manutenção. A Fig. 10 mostra o gerador em processo de instalação, a qual ocorreu entre os meses de novembro e dezembro de 2007. Vale ressaltar que a montagem de toda a estrutura foi realizada pelos próprios pesquisadores, bolsistas e funcionários do GEDAE.

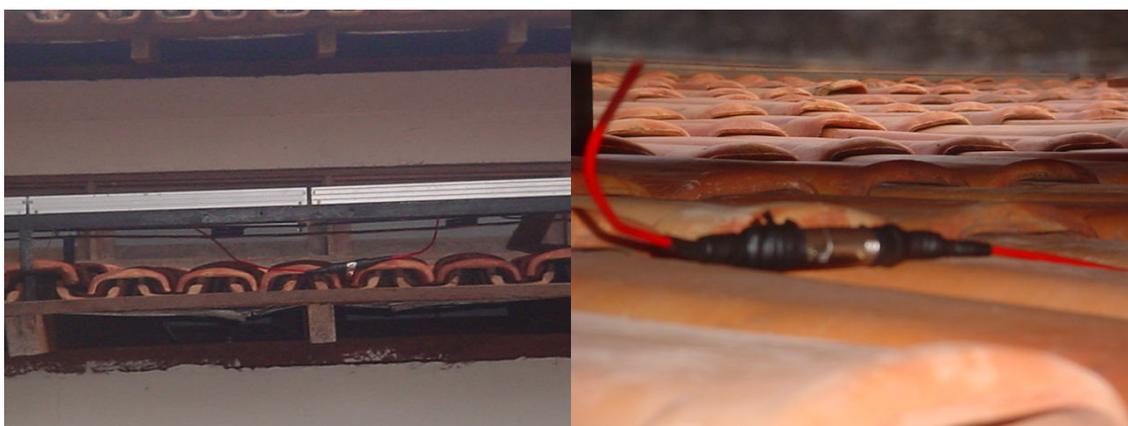


Figura 9 – Detalhe do conector que interliga cada grupo de módulos.



Figura 10 - Instalação do gerador fotovoltaico.

4. DESCRIÇÃO DO INVERSOR

Para fazer a interconexão entre o gerador fotovoltaico e a rede elétrica, foi utilizado o inversor *Solete 2500*, da Enertron, cujas especificações podem ser vistas na Tab. 1. A Fig. 11 mostra o detalhe do *display* informativo do inversor, no momento em que operava com uma tensão de entrada de 300 V e potência de saída igual a 794 W.

Tabela 1. Especificações do inversor Solete 2500

Tensão Máxima de Circuito Aberto	650 V
Tensão de entrada para funcionamento em MPP	300-525 V
Tensão de Saída	220 V
Frequência de Saída	60 Hz
Potência Nominal em Regime Permanente	2.500 W
Potência de Pico do Sistema	3.100 W _p
Rendimento Máximo	94%
Forma de Onda	Senoidal
Distorção a plena carga	< 3%
Fator de Potência	1
Faixa de Temperaturas	0 – 40°
Proteção	IP65



Figura 11 – Detalhe do *display* do inversor.

Um ponto importante a ser ressaltado é a tensão de saída do inversor. Como esse valor é de 220 V e a tensão fase-neutro em Belém é de 127 V, o inversor deve ser conectado fase-fase. A Fig. 12(a) mostra o inversor, assim como os equipamentos de medição e aquisição de dados, sendo instalados no sistema fotovoltaico. A Fig. 12(b) mostra o inversor já instalado, interligado à rede elétrica e em funcionamento.



(a) Instalação do inversor

(b) Inversor em operação

Figura 12 – Inversor instalado no sistema.

5. DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO E VISUALIZAÇÃO DE DADOS

O processo de aquisição e visualização dos dados pertinentes ao sistema é feito por um medidor monofásico eletrônico da série SMT 1510 com sua unidade gerenciadora SMT 4000. Esses equipamentos já foram utilizados com sucesso no primeiro sistema de pré-pagamento de eletricidade no Brasil, instalado em uma localidade isolada na Região Amazônica, como foi proposto recentemente em Barbosa (2004) e Barbosa *et al*, (2004).

As informações (funções e grandezas elétricas) são apresentadas no visor de forma cíclica, isto é, com rolagem automática com 6 segundos de exibição para cada valor, ou por acionamento dos botões do painel frontal: Seleciona (negro) e Confirma (vermelho), como mostra a Fig. 13(a).

O gerenciador de energia SMT 4000, mostrado na Fig. 13(b), é uma unidade de gerenciamento simples, podendo ser instalado em lugares de fácil acesso dentro da unidade consumidora, e também mostra outros parâmetros do sistema, como a potência instantânea em Watts e a leitura do medidor em kWh.



(a) Medidor SMT 1510

(b) Unidade de gerenciamento SMT 4000

Figura 13 – Equipamentos de medição e aquisição de dados.

6. DADOS OPERACIONAIS

Com base nas informações coletadas até então, foi possível constatar, desde o início de sua operação, uma produção acumulada de aproximadamente 673 kWh. A Fig. 14 mostra a variação da produção ao longo de seis meses de operação do sistema, bem como a produção estimada para cada um desses meses e para os demais meses do ano de 2008.

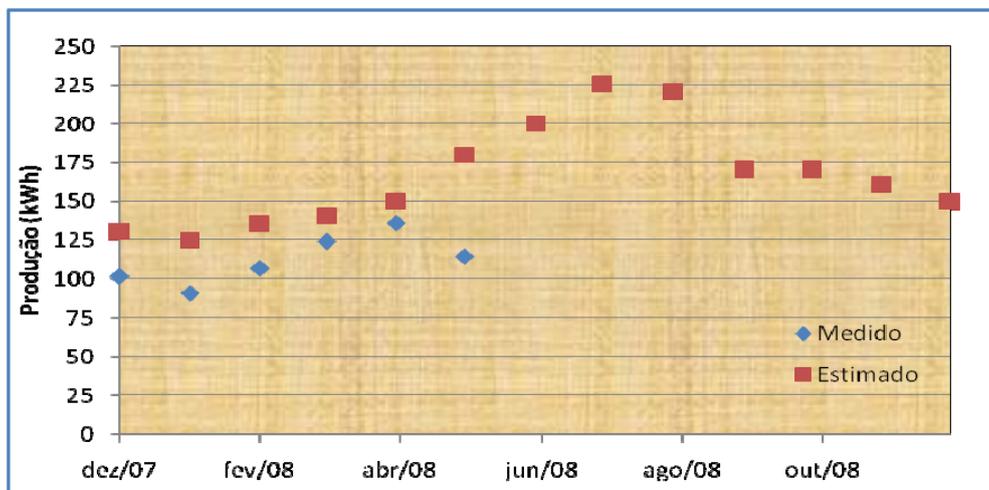


Figura 14 – Produção fotovoltaica medida e estimada.

Nota-se uma diferença significativa entre os valores medidos e estimados nos dois primeiros meses de funcionamento do sistema e no mês de maio de 2008. Isso pode estar associado ao fato de que os dados estimados foram obtidos a partir de dados correspondentes a anos anteriores a 2008, além de perdas não previstas no processo de cálculo, como o desvio do gerador da posição ótima. Outro fator que está influenciando o funcionamento do sistema é a forma de conexão com a rede elétrica, que está sendo feita de forma provisória a partir da subestação mais próxima. A Fig. 15 mostra detalhes dos cabos de alimentação do prédio até a subestação que alimenta o bloco vizinho.



Figura 15 – Rede de alimentação provisória do prédio, com comprimento de aproximadamente 100 metros da subestação.

Essa conexão provisória apresenta freqüentemente níveis de tensão inferiores a 200 V, uma vez que a subestação alimenta cargas, como grandes compressores, que podem causar afundamentos de tensão que, aliados ao grande comprimento dos cabos, podem interferir no funcionamento do sistema. É provável que essas questões expliquem as freqüentes desconexões do sistema e a dificuldade de reconexão do inversor em algumas ocasiões. Esses problemas provavelmente serão eliminados quando a nova linha com um transformador dedicada ao prédio for concluída. A Fig. 16 mostra detalhes da nova linha já instalada no local.



Figura 16 – Rede dedicada a ser utilizada para alimentação do prédio.

Apesar da produtividade média mensal do sistema estar relativamente baixa (70,4 kWh/kWp), estima-se que até o final do ano de 2008, esse valor tenha superado os 108 kWh/kWp, que corresponderá, em termos anuais, a uma produtividade de 1,296 kWh/kWp. Vale ressaltar que o fato do tamanho do gerador fotovoltaico ser inferior ao tamanho do inversor pode também influenciar no desempenho do sistema, principalmente em dias nublados, onde ambas as eficiências de conversão e de seguimento de ponto de máxima potência são menores. A Fig. 17 mostra um exemplo do que acontece com a eficiência do sistema para dois pontos com diferentes níveis de potência. Além disso, a diferença entre a potência nominal de placa e a potência real do gerador fotovoltaico pode indicar valores de produtividade menores do que realmente são. Uma abordagem mais detalhada, envolvendo o tamanho relativo inversor-gerador e a diferença entre dados nominais fornecidos pelos fabricantes e dados medidos, encontra-se em Macêdo e Zilles (2007).

Como se pode observar, para baixos valores de potência a eficiência de conversão e a eficiência do seguidor de máxima potência tendem a diminuir. Isso significa que geradores menores, como é o caso do gerador apresentado aqui, obrigam o inversor a trabalhar mais horas em valores baixos de potência, diminuindo a eficiência global do sistema.

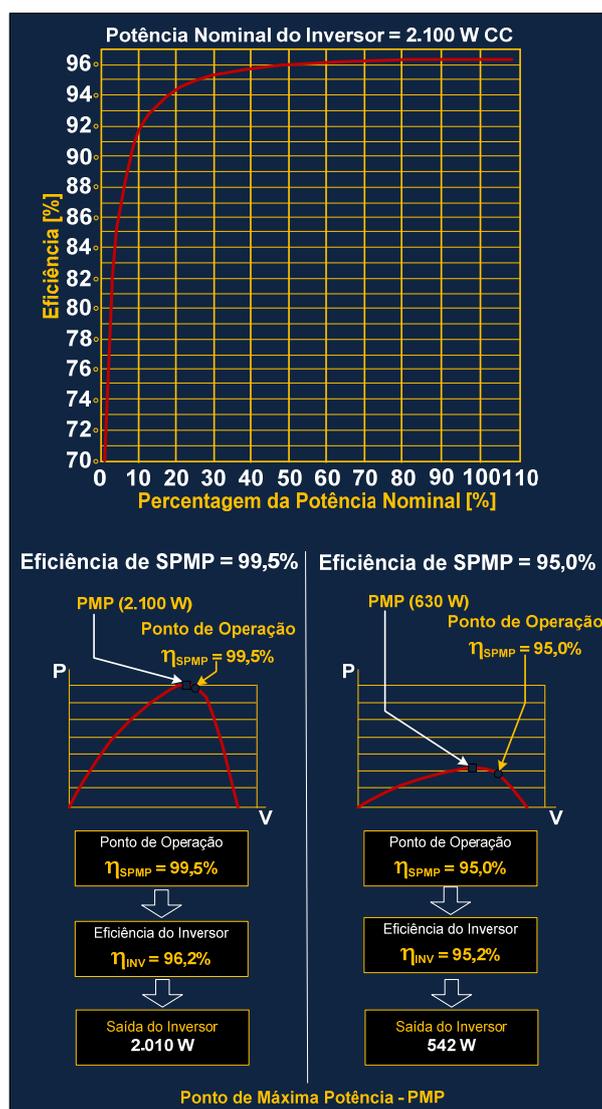


Figura 17 – Eficiência de um sistema fotovoltaico conectado à rede, duas situações com diferentes pontos de operação

7. CONCLUSÕES

Neste trabalho exemplos práticos sobre a importância da qualidade do ponto de conexão na operação de SFCR são apresentados. Alguns resultados operacionais sobre esses sistemas ajudam no entendimento do seu funcionamento em regiões quentes e úmidas, como é o caso da Região Amazônica. Apesar da existência de um número significativo de dias nublados, estima-se que os valores de produtividades anuais são superiores a alguns estados brasileiros do sul e sudeste.

Agradecimentos

Este trabalho foi desenvolvido com apoio parcial do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq - Brasil.

REFERÊNCIAS

- BARBOSA, C. F. de O., PINHO, J. T., CRUZ, D. P., GALHARDO, M. A. B., ARAÚJO, R. G., Implantação e Operação do Primeiro Sistema de Pré-Pagamento de Eletricidade no Brasil, Instalado em uma Localidade Isolada na Região Amazônica, IEEE-PES T&D Latin America, São Paulo, nov. 2004.
- BARBOSA, C. F. de O., Montagem, Comissionamento e Telesupervisão de um Sistema Híbrido Solar-Eólico-Diesel para Geração de Eletricidade, Trabalho de Conclusão de Curso, UFPA, Belém, 2004.
- MACEDO, W. N., ZILLES, R., 2007. Operational Results of Grid-Connected PV System with different Inverter's Sizing Factors (ISF), Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 2007.
- SERRASOLLES, J., DE CASTELLET L., ANCOECHA M., ROMEU J., Tejados Fotovoltaicos: Energía solar conectada a la red eléctrica, PROGNSA, Sevilha, Espanha, 2004.

EXPERIENCES WITH THE FIRST BUILD-INTEGRATED, GRID-CONNECTED PV SYSTEM IN THE BRAZILIAN AMAZON REGION

Abstract. *The main goal of this paper is to describe and analyze the performance of the first build-integrated, grid-connected PV system installed in the Brazilian Amazon Region. This system is working since December 2007 and is located in the city of Belém, State of Pará-Brazil. The system analyzed here was installed at GEDAE's new laboratory for renewable energy and energy efficiency, which was developed using concepts of bioclimatic architecture, energy efficiency and renewable energy generation. The building is in the second part of its construction phase. The system is composed of a 2.5 kW inverter and a 1.575 kWp PV generator. The paper presents some electricity production results obtained from the operation of this system. These results contribute to minimize the lack of operational information on grid connected PV systems in this region, since all other grid-connected systems in Brazil are located in the southern, southeastern, or northeastern region.*

Key words: Solar Energy, Grid-Connected PV Systems