

SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE UFPE-III

Elielza Moura de Souza Barbosa – elimsb@hotmail.com.br

Fernando de Andrade Lima – falima@cnen.gov.br

Rinaldo Melo – rinaldooom@hotmail.com

Diego Oliveira – diegoliveirasilva@gmail.com

Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Energia Nuclear- Grupo de Fontes Alternativas de Energia
Av Prof. Luiz Freire, 1000- CDU Recife PE Brasil CEP 50.740.540

Resumo. O trabalho apresenta um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica de um dos laboratórios do Grupo de Pesquisa de Pesquisa em Fontes Alternativas de Energia da Universidade Federal de Pernambuco, localizado no NE do Brasil (UFPE-FAE). O sistema (1,28 kWp; p-Si) opera com um fator de dimensionamento de inversor (FDI) de 0,86 e sem acumulação de energia. Os resultados são expressos em termos de valores médios, diários e diários mensais e analisados mediante os índices de produtividades de referência, do arranjo e final do sistema e pelo Fator de Desempenho (PR). Valores médios diários mensais de 12%, 86% e 9,6 % respectivamente para as eficiências do gerador, do inversor e do sistema foram obtidos. A energia produzida, cerca de 120 kWh/mês, atende em média 66% do consumo mensal apresentado pela carga. Valores de (PR) na faixa de 0,54 a 0,78, média mensal de 0,70 atestam o funcionamento do sistema dentro de parâmetros compatíveis a um bom desempenho para sistemas fotovoltaico de pequeno porte conectado à rede elétrica.

Palavras-chave: Energia Solar, Sistemas fotovoltaicos conectados à rede, Geração solar fotovoltaica, Avaliação do desempenho de sistemas solares.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, as iniciativas e estudos utilizando o conceito de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCR) de abastecimento elétrico datam do ano de 1980. No entanto, só no final da década de 90 ocorreu uma fase de aceleração com o desenvolvimento de diversos projetos de pesquisa (P&D) nas universidades e centros de pesquisas nacionais. As iniciativas, quase todas de pequeno porte, apresentam diversificações tanto ao tipo da célula fotovoltaica (n-Si, p-Si, a-Si, filme finos) quanto ao tipo de configuração gerador/inversor. Dados do final de 2007 acusam cerca de 81,5 kWp de SFCR com capacidades nominais entre 0,85 a 11 kWp instalados e em funcionamento no Brasil.

Objetivando pesquisar, difundir e introduzir a tecnologia de sistemas fotovoltaicos conectados à rede na região Nordeste do Brasil, o Grupo de Pesquisa de Fonte Alternativas da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE-FAE) iniciou os primeiros estudos no ano 2000. Atualmente, conta com três sistemas com diferentes configurações instalados em regiões com características climatológicas diferenciadas: *Sistema São Lucas* localizado na Ilha de Fernando de Noronha/Mar Atlântico de clima tropical úmido, *Sistema Lampião* na região Xingó, semi-árido do Nordeste de clima tropical seco e o *Sistema UFPE* localizado na área de testes do Grupo FAE-UFPE na cidade do Recife com clima tropical úmido.

O *SFCR São Lucas*, com 2,4 kWp de módulos de silício poli cristalino (p-Si), foi instalado em Nov/2000. Primeiro SFCR do Nordeste se encontra localizado no telhado do Hospital Público São Lucas do Arquipélago de Fernando de Noronha. Opera com um inversor de 4 kVA e um sistema de armazenagem de energia de 700Ah, exclusivamente abastecido com energia fotovoltaica, que na ausência de energia na rede elétrica convencional deve garantir por 1,5 hora o abastecimento elétrico para iluminação de determinados espaços do hospital -salas de cirurgia, enfermarias e berçários. Os resultados apresentados são relativamente promissores, valor típico de 6 kWh/d de energia produzida, prejudicados por muitas interrupções decorrentes da oxidação dos componentes do quadro de controle pelo alto grau de salinidade do meio ambiente do Arquipélago de F. Noronha, (Barbosa, et al., 2004).

O *SFCR Lampião* com 1,5 kWp (p-Si), recentemente instalado (set/07), foi projetado para suprir 50% do consumo elétrico de um pequeno restaurante situado às margens do Rio São Francisco. Apresenta-se em um formato visual muito interessante, na forma de um peixe fixado em um flutuante no meio do Rio São Francisco. Resultados recentes acusam eficiências nas faixas de 11,7 a 12,6 % , 57,8 a 79,8% e 6,7 a 9,9% para o gerador fotovoltaico, inversor e total do sistema respectivamente e com Fator de Desempenho (PR) na faixa de 0,46 a 0,67, durante os quatro primeiros meses de operação, (Barbosa et al., 2008).

O *SFCR-UFPE* encontra-se na sua terceira versão de configuração. No início (UFPE I) foi instalado com 1,6 kWp (p-Si) e um inversor de 1,0 KVA. Posteriormente passou a operar com armazenamento de energia em um banco de baterias (405 Ah) e um inversor de 4 kVA, tendo sido apelidado de UFPE II, (Barbosa et al., 2006). Devido a danos físicos o arranjo fotovoltaico foi configurado para 1,28 kWp, resultando um FDI (relação entre as capacidades do inversor e gerador fotovoltaico) de 3,1 e aumentada sua capacidade de armazenamento para 700 Ah. Com essa configuração o *SFCR-UFPE II* operava para uma situação onde interrupções no fornecimento de energia não eram

permitidas. O sistema de armazenagem, abastecido pelo gerador fotovoltaico ou pela rede elétrica, deveria garantir essa segurança, de sempre ter disponível energia para situações emergenciais (backup). Nessas condições de operação o desempenho do sistema deixou a desejar. Praticamente não ocorreu injeção de energia solar na rede elétrica convencional nem diminuição no consumo de energia do usuário. O inversor apresentou um nível de radiação crítica e um auto-consumo de energia (~200W/m²; ~2,4 kWh/dia) relativamente altos. Ocorrências decorrentes, principalmente, de um FDI desfavorável junto à modalidade operacional do sistema com backup sempre pronto para atuar, (Barbosa et al., 2007).

Atualmente, na sua terceira versão (UFPE-III) o sistema encontra-se operando com o mesmo gerador fotovoltaico (1,28 kWp; p-Si), sem acumulação de energia e com um FDI de 0,9, valor dentro da faixa considerada ideal para SFCR localizados em Recife, (Macedo e Zilles, 2006).

O presente trabalho apresenta uma discussão sobre os dados experimentais provenientes do monitoramento do desempenho do SFCR UFPE-III. Estabelece uma rotina de cálculo para que o desempenho do sistema possa ser acompanhado, principalmente pelos alunos estagiários no Grupo FAE-UFPE. Os tradicionais parâmetros que vêm sendo monitorados são: recurso solar, tensão e corrente no gerador fotovoltaico e potências elétricas: solar total produzida, consumida pela carga e injetada na rede. Os resultados obtidos expressos em médias diárias e mensais: energia solar total produzida, consumo elétrico total, contribuição solar no consumo e a energia solar injetada na rede, mostram índices operacionais bastante promissores, tais como: 0,7 como Fator de Desempenho, 4,55, 3,91 e 3,20 h/d como produtividades de referência, do arranjo e final do sistema, medias mensais, respectivamente.

2. DESCRIÇÃO E OPERAÇÃO DO SFCR-UFPE III

O SFCR UFPE-III está instalado na área de Testes do Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia (8° S; 35° W; 1 m de altitude acima do nível do mar) da Universidade Federal de Pernambuco localizada na cidade de Recife, Nordeste do Brasil.

Basicamente, o sistema é constituído pelo gerador e o inversor. O gerador FV é composto por 16 módulos, 80 kWp, (p-Si), posicionado a 23° N e 23° W, ocupando uma área de cerca de 10 m² e com 128 kg. O inversor de 1,1 KVA possui seguidor do ponto de máxima potência do gerador FV na faixa de 139 a 400 volts, corrente máxima de entrada admitida de 10 A, saída de 60 Hz, 1000 W e 110 VAC. A energia produzida supre parte do consumo do laboratório, via uma das três fases da rede elétrica local, correspondente à iluminação e computadores. Na Fig. 1 constam uma vista do arranjo fotovoltaico e as especificações técnicas dos componentes do sistema.

Um sistema de aquisição de dados monitora os parâmetros elétricos e meteorológicos desde a captação do recurso solar, passando pela geração até a produção de energia útil e as energias fornecida pela rede local e consumida pela carga. Cada variável envolvida é medida individualmente. As ocorrências são registradas a cada minuto e armazenadas para posterior tratamento em termos de médias: horárias, diária e mensal. Na Tab. 1 apresenta os parâmetros monitorados, os compatíveis sensores, simbologia e unidades utilizadas. Uma estação climatológica central monitora separadamente a temperatura e umidade do ar, velocidade e direção do vento e irradiação solar no plano horizontal – total, difusa e direta.

Tabela 1- SFCR UFPE III: Relação dos parâmetros monitorados.

Parâmetro/grandeza	Símbolo	Unidade	Sensor
Irradiação nos planos (horizontal; gerador FV)	I_h, I_{fv}	W/m ²	Li-cor 200SA
Temperatura no arranjo fotovoltaico	T_{fv}	°C	LM-35
Corrente de saída no arranjo fotovoltaico	i_{fv}	A	Resistência shunt (50 A - 50 mV) com transdutor de tensão (0 a 50mV; 0,25%)
Tensão de saída no arranjo fotovoltaico	U_{fv}	V	Transdutor de tensão (0 a 100 Vcc; +/- 0,25%)
Potência ativa na saída do inversor	P_{inv}	W	Diferença entre ($P_{c,tot} - P_{rede}$)
Potência total consumida	$P_{c,tot}$	W	Transdutor de potencia ativa (220 V 5 A; 0 a 4000 W; 1%)
Potência fornecida pela rede elétrica local	P_{rede}	W	Transdutor de potencia ativa (220V 5 A; - 4000 a 4000 W)

3. PROCEDIMENTOS PARA A AVALIAÇÃO

Nos procedimentos metodológicos, estabelecidos ou recomendados mundialmente, os resultados são expressos como valores totais ou médios dos dados experimentais instantâneos coletados com determinada taxa de aquisição, no caso, de 1min. Assim, são obtidos os valores:

- Radiação no plano do arranjo fotovoltaico (H_{fv}), diária (d), diária mensal (m) e mensal anual (a), em valores totais como ($H_{fv,d}, H_{fv,m}, H_{fv,a}$) ou em valores médios como: ($\overline{H}_{fv,d}, \overline{H}_{fv,m}, \overline{H}_{fv,a}$);

- Energia solar coletada no plano do arranjo (E_{col}), como ($E_{col,d}, E_{col,m}, E_{col,a}$) para valores totais ou em valores médios como: ($\bar{E}_{col,d}, \bar{E}_{col,m}, \bar{E}_{col,a}$);

Os valores médios diários para a radiação no plano do gerador e a energia coletada em (kWh/d) podem ser expressos como:

$$\bar{H}_{fv,d} = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^{t=t} h_{fv,t} \cdot \Delta t \quad (1)$$

$$\bar{E}_{col,d} = A \times \bar{H}_{fv,d} \quad (2)$$

($h_{fv,t}$) corresponde aos valores instantâneos da irradiação solar no plano FV no período (t) da taxa de aquisição de dados, (N) é o número de ocorrências no dia (d) e (A) é a área do gerador fotovoltaico. Seguindo o mesmo simbolismo para:

- Energia solar gerada como (E_{fv});
- Energia elétrica solar produzida, energia útil ativa como (E_a);
- Energia solar injetada na rede elétrica local (E_{inj});
- Energias consumidas: total ($E_{c,tot}$), consumida proveniente do sistema solar ou da rede elétrica ($E_{c,sol}; E_{c,red}$).

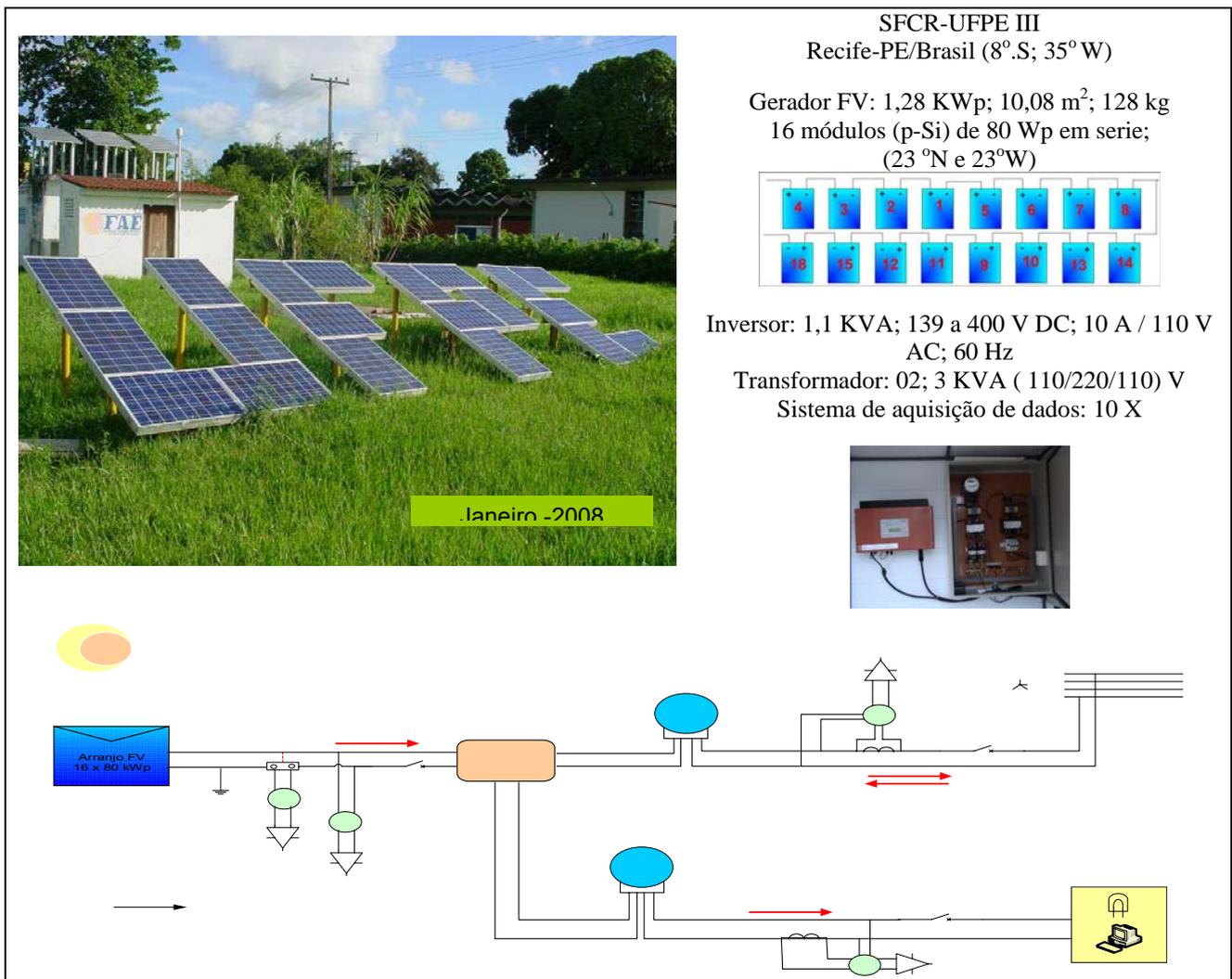


Figura 1- SFCR UFPE III: Vista do gerador FV e componentes, configuração do arranjo, diagrama do fluxo/medidas.

A parti desses valores, os tradicionais parâmetros de avaliação: eficiências, índices de produtividade e perdas são determinados e utilizados para analisar o desempenho global do sistema em termos de médias diárias (d), mensais (m) ou anuais (a), (FSEC-GP-70-01, 2002, apnud, Mondol et al.,2006) como:

- Eficiências médias do: gerador fotovoltaico ($\overline{\eta}_{fv}$), inversor ($\overline{\eta}_{inv}$) e global do sistema ($\overline{\eta}_s$);
- Índices de produtividades médios: de referência (\overline{Y}_r), do arranjo fotovoltaico (\overline{Y}_a) e final do sistema (\overline{Y}_f);
- Fatores de desempenho médios (\overline{PR});
- Perdas no sistema (\overline{L}_s), relativas as perdas durante a conversão de CC/CA e perdas na coleção da radiação (\overline{L}_c), relativas as perdas na captação da irradiação pelo aumento da temperatura dos módulos, problemas na orientação do gerador e outros fatores que contribuem para diminuir a quantidade de energia coletada/gerada pelo arranjo FV.

Esses parâmetros podem ser determinados utilizando-se as expressões 3 a 9 constantes na Tab.2. Enquanto as eficiências expressam rendimentos, os índices de produtividades indicam o comportamento do sistema sob condições específicas permitindo que sistemas de diferentes capacidades e/ou localizações possam ser comparados;

- *Índice de Referência* (Y_r) - relação entre a irradiação diária incidente no plano do gerador fotovoltaico e a irradiação na condição STC (1kW/m²; 25^o.C; 1,5 AM). Indica a energia teórica disponível por dia por kWp instalado (kWh/kWp) ou, quanto tempo seria necessário para que o sistema tenha a mesma produção quando submetido à condição de radiação de 1 kW, em (h/d);
- *Índice do Arranjo Fotovoltaico* (Y_a) - relação entre a energia fotovoltaica gerada e sua potência nominal na condição (STC), expresso em (kWh/kWp). Indica quanto tempo de operação o arranjo fotovoltaico necessita operar, com a potência nominal, para gerar a mesma quantidade de energia, (h/d);
- *Índice Final do Sistema* (Y_f) - relação entre a energia efetivamente útil e a potência nominal na condição (STC). Indica a produtividade do sistema em relação a sua potência nominal. Representa a energia injetada ou consumida pelo usuário durante certo intervalo de tempo, (kWh/kWp) ou o número de horas que o sistema necessita operar, na potência nominal, para fornecer a mesma quantidade de energia produzida, (h/d).
- *Fator de Desempenho ou Rendimento Global* (PR)- representa a eficiência da instalação em reais condições de operação e considera todos os fatores que influem na eficiência global: tipo de células, dependência da eficiência de gerador e inversor com a temperatura, perdas por descasamento entre módulos e perdas ôhmicas, eficiência energética do inversor, relação entre as capacidades nominais do inversor e do gerador entre outras.

Tabela 3 - Expressões para a determinação dos parâmetros de avaliação do desempenho de SFCR.

$\overline{\eta}_{fv,d} = \frac{\overline{E}_{fv,d}}{\overline{E}_{col,d}} \quad (3a)$	$\overline{\eta}_{fv,m} = \frac{1}{N} \left(\sum_{d=1}^N \overline{\eta}_{fv,d} \right) \quad (3b)$
$\overline{\eta}_{inv,d} = \frac{\overline{E}_{ac,d}}{\overline{E}_{fv,d}} \quad (3c)$	$\overline{\eta}_{s,d} = \frac{\overline{E}_{ac,d}}{\overline{E}_{col,d}} \quad (3d)$
$\overline{Y}_{r,d} = \frac{\overline{H}_{fv,d}}{G_o} \quad (4a)$	$P_{o,fv} = \text{potência nominal do arranjo FV}$ $G_o = 1 \text{ kW/m}^2, \text{ radiação condições STC}$
$\overline{Y}_{a,d} = \frac{\overline{E}_{fv,d}}{P_{o,fv}} \quad (4b)$	$\overline{Y}_{a,m} = \frac{1}{N} \sum_{d=1}^N \overline{Y}_{a,d} \quad (4c)$
$\overline{Y}_{f,d} = \frac{\overline{E}_{a,d}}{P_{o,fv}} \quad (4d)$	$\overline{Y}_{f,m} = \frac{1}{N} \sum_{d=1}^N \overline{Y}_{f,d} \quad (4f)$
$\overline{PR}_{a,d} = \frac{1}{N} \sum_{d=1}^N PR_{a,d} \quad (5a)$	$\overline{PR}_{a,m} = \frac{1}{N} \sum_{d=1}^N \overline{PR}_{a,d} \quad (5b)$

4. RESULTADOS

Os principais resultados, obtidos para o período de janeiro a março e maio/08 são mostrados nas Figs 2 e 3. O mês de Abril não foi considerado. A análise foi realizada em 90% dos dias observados, dias que apresentaram dados consistentes.

4.1 Radiação Solar e geração fotovoltaica (DC)

Os resultados obtidos como médias diárias mensais da radiação incidente no plano do gerador ($\overline{H}_{fv,m}$) são mostrados na Fig 2a. Valores de 4,03, 4,70, 4,79 e 4,68 kWh/m², para Janeiro a Março e Maio respectivamente.

O excelente potencial solar para a região da cidade do Recife, caracterizado não só pelo nível quantitativo, mas também pela uniformidade ao longo dos meses, pode ser observado na frequência de distribuição normalizada dos valores médios diários ($\overline{H}_{fv,d}$) sobre todo o período observado, Fig.2b. Para 80,7% do total de dias os resultados são maiores que 4,0 kWh/m²; com 32% na faixa de 5,1 to 6,0 kWh/m².d. Valores menores que 2,9 kWh/m².d representam apenas 10,2 %.

Comparativamente, a Fig.2a mostra os valores médios diários mensais das energias coletadas ($\overline{E}_{col,m}$), geradas ($\overline{E}_{fv,m}$) e da eficiência do gerador ($\overline{\eta}_{fv,m}$). Os valores para ($\overline{E}_{col,m}$) são de 41,0, 48,40, 48,80 e 47,65 kWh/d e para ($\overline{E}_{fv,m}$) de 4,45, 6,79, 6,76 e 3,92 kWh/d para o período observado.

Esses resultados implicam em valores de ($\overline{\eta}_{fv,m}$) de 10,69, 12,00, 11,83 e 8,42 para janeiro a março e maio/08. Resultados dentro da faixa esperada para módulos de (p-Si), com exceção do valor do mês de maio, em localidades onde os módulos atingem temperaturas de 25 a 30 °C acima da temperatura ambiente. Valor clássico de 50 °C a 1 kW/m², com T_{amb} de 27 a 30 °C, (Barbosa et al., 2007).

A frequência de distribuição normalizada dos valores médios diários da energia gerada ($\overline{E}_{fv,m}$) é mostrada também na Fig. 2b. Os valores em 80% dos dias, são maiores que 4,0 kWh/dia com 40% acima de 5,5 kWh/d. Apenas, cerca de 11% dos dias apresentam valores menores que 3,5 kWh/d.

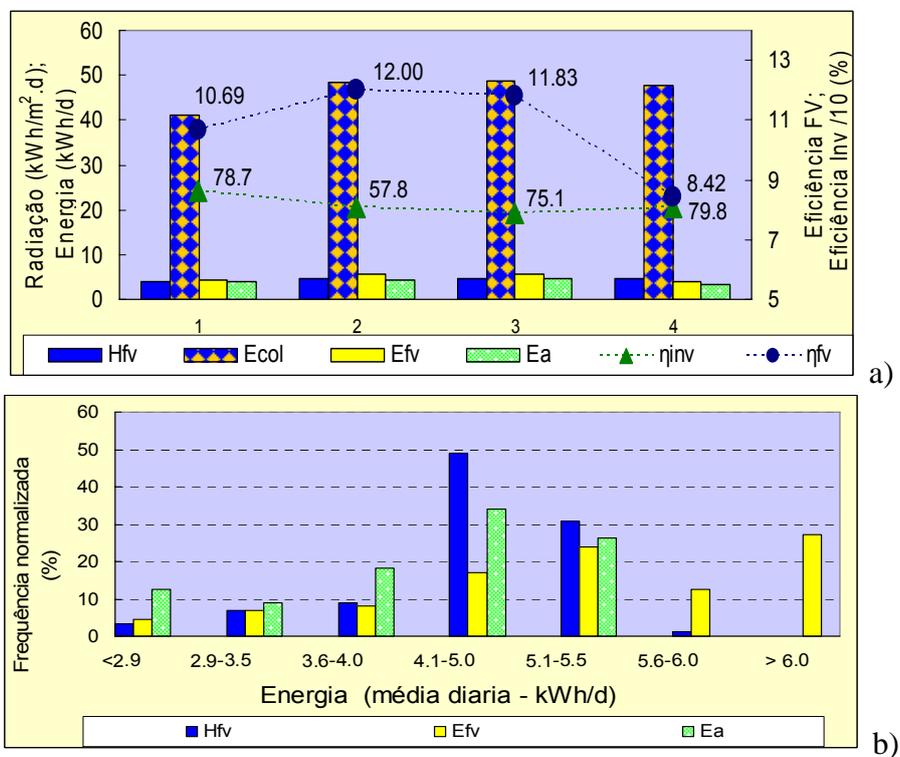


Figura 2 – SFCCR UFPE III: Energias: radiação incidente no FV, gerada, coletada e produzida e eficiências para Jan a Março e Maio/08; a) Médias diárias mensais; b) Frequências normalizadas dos valores das médias diárias das energias.

4.2 Geração fotovoltaica e produção de energia (AC)

Os resultados obtidos referentes à energia produzida ($\bar{E}_{ac,m}$) e à eficiência do inversor ($\bar{\eta}_{inv,m}$) são comparativamente também mostrados na Fig. 2a.

Os resultados para a eficiência do inversor resultaram, em valores de médias diárias: 78,7, 57,8, 75,1 e 79,8% respectivamente para Janeiro a Março e Maio. Resultados menores que os valores informados pelo fabricante (95%). Os resultados experimentais mostram também que o inversor em operação apresenta um nível crítico de irradiação de cerca de 50 W/m² e um auto-consumo de energia menor que 0,5 kWh/d, valores bem menores que os apresentados pelo inversor do sistema UFPE II (200 W/m²), (Barbosa, et al., 2007).

A produção de energia útil resultou nos valores de 3,90, 4,40, 4,60 e 3,30 kWh/d. Aparentemente, esses resultados para a produção de energia, não são satisfatórios para atender o consumo elétrico da carga estabelecida. O SFCR UFPE III encontra-se conectado em uma das fases da rede elétrica local que tem um baixo consumo na faixa de 2,0 a 15 kWh/d, com valor típico médio de 6,0 kWh/d, função do ritmo de atividades no laboratório, predominantemente diurnas.

A energia produzida corresponde à quantidade de energia de origem solar consumida ($E_{c,sol}$) por essa demanda (suprimento solar) mais a energia injetada na rede elétrica local (E_{inj}) em caso de saldo positivo.

Verifica-se que em 46 % dos dias analisados o SFCR-UFPE-III supre 100% a demanda e injeta o saldo na rede elétrica local, em caso de crédito. Em caso de déficit a rede local complementa as necessidades do consumo.

A frequência normalizada mostra que em 60% dos dias os valores de ($\bar{E}_{ac,d}$) situam-se entre 4,1 a 5,5 kWh/d, Fig. 2b.

Os eventos (consumo e produção) nem sempre ocorrem ao mesmo tempo. O saldo ou déficit de energia solar é contabilizado no final de um determinado período. A Fig 3 ilustra as ocorrências para dois dias, Julianos 9 e 16, e o balanço energético final para o mês de Janeiro/2008.

O dia 09/01/08, apresentou-se como um dia bom, céu claro e com 5,13 kWh/d, média diária, incidente sobre o gerador FV entre o nascer e o pôr do sol (cerca de 06:00 às 17:00 h, local), produzindo um total de 5,40 kWh, Fig. 3a. Durante, o período diurno o sistema foi capaz de suprir a demanda e injetar, a cada instante, o saldo de energia produzida na rede local, responsável pelo abastecimento durante a madrugada e no período noturno, evidentemente. O balanço final do dia, 24 horas, acusou um consumo total de 2,60 kWh. Em termos contábeis, nesse dia, todo o consumo foi atendido pelo sistema que ademais injetou na rede 2,80 kWh, não ocorrendo consumo de energia proveniente da rede elétrica.

No dia 16/01/08 ocorreu um baixíssimo nível de radiação, 2,60 kWh/d, média diária, produzindo apenas, 1,77 kWh. Valor insuficiente para abastecer o consumo diurno que foi complementado pela rede local. Nesse dia, o “usuário” não vendeu energia, teve que comprar cerca de 2,32 kWh ao longo das 24 horas do dia para atender o consumo total de 4,08 kWh.

O balanço final para o mês de Jan/08 é mostrado na Fig. 3c, Nesse mês a conta de energia importaria em cerca de 89 kWh/mês. Em termos das médias diárias (kWh/d) os resultados acusam que: o gerador FV recebeu uma radiação de 4,03 gerando 4,46 que resultou em 3,85 de energia útil ativa: 73,5% foram direcionados ao atendimento do consumo e o saldo, 26,5 %, injetado na rede local. Ou seja, no mês foram produzidos cerca de 121 kWh de energia solar: 89 kWh foram consumidos pela carga e o saldo, 32 kWh, foram injetados na rede, correspondendo a créditos para o novo mês.

O mês de janeiro/08 foi um mês muito particular, verão e férias, com altos índices de radiação e baixíssimo consumo. Os balanços dos demais meses apresentam resultados diferentes: em fevereiro 76% do consumo foi atendido pelo SFCR-UFPE III; 70% para março e 52% para maio.

Em 42% do total dos dias a participação de energia solar foi de 100% no consumo total de energia elétrica do laboratório.

4.3 Índices operacionais

Os resultados das produtividades de referência (\bar{Y}_r), do arranjo (\bar{Y}_a), final do sistema (\bar{Y}_f) e o Fator de Desempenho (\bar{PR}_e) foram calculados segundo as expressões constantes na Tab.2. Os resultados médios mensais das produtividades e das eficiências constam na Tab.3 e os valores das frequências de distribuição normalizadas das produtividades e do Fator de Desempenho nas Figs 3a e 3b.

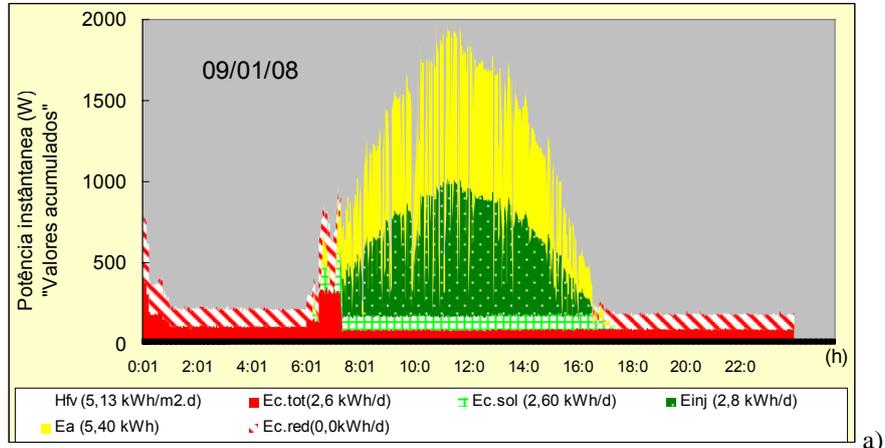
Considerando o total dos dias monitorados, nenhum dos índices atingiu mais que 6h/d. Aproximadamente em 78% dos dias a produtividade de referência situa-se dentro da faixa de 4,1 a 6,0 h/d, com 27 % entre 5.1 a 6 h/d. Para cerca de 22% os valores são menores que 4,1 h/d.

Quando a produtividade do arranjo em 52% dos dias foi maior que 4.0 h/dia e 48% igual ou menor que 4 h/d. Em 18% dos dias os valores são menores que 3 h/d.

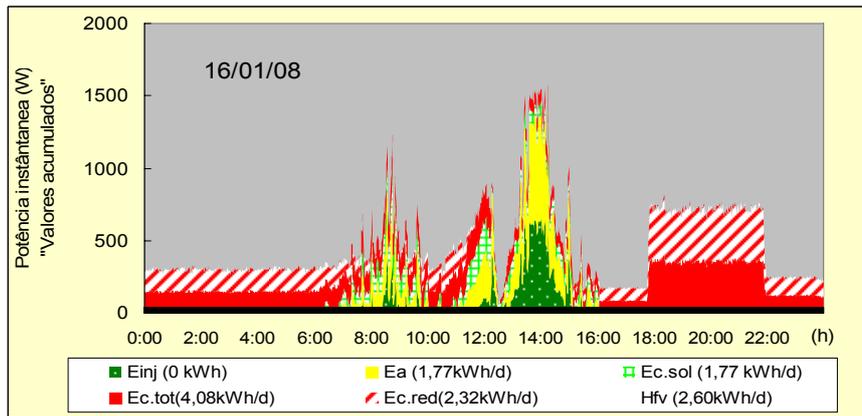
A produtividade final do sistema excedeu 4.1 h/d em 12,5 % dos dias. Para 87,5% os valores foram menores que 4,1h/dia. Ou seja, em 87,5% dos dias observados o sistema de 1,28 Wp necessitaria no máximo de 4 h/d com 1 kW/m²

para produzir a mesma quantidade de energia entregue a carga nas condições reais de operação.

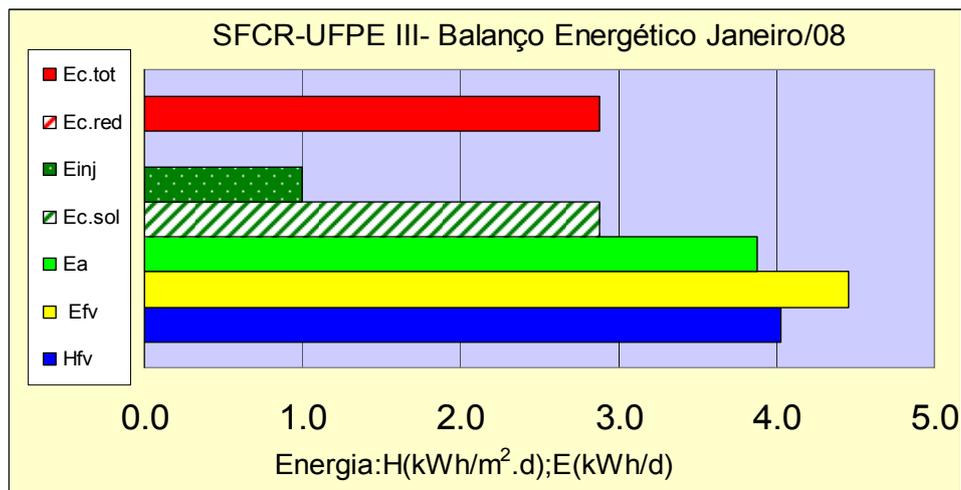
Como rendimento global, o Fator de Desempenho (PR) resultou em 0,73 para o mês de Janeiro e 0,78, 0,74 e 0,54 para Fevereiro, Março e Maio respectivamente.



a)



b)



c)

Figura 3- SFCR UFPE III: Balanços energéticos: a) dia Juliano 9; b) dia Juliano 16 e c) mês de Janeiro/2008.

Tabela 3- SFCR-UFPE III- Energias e índices operacionais (médias diárias mensais)

Mês	$\bar{H}_{pv,m}$	$\bar{E}_{fv,m}$	$\bar{E}_{ac,m}$	$\bar{Y}_{r,m}$	$\bar{Y}_{a,m}$	$\bar{Y}_{f,m}$	$\overline{PR}_{a,m}$	$\bar{\eta}_{pv,m}$	$\bar{\eta}_{inv,m}$	$\bar{\eta}_{f,m}$
Jan.	4,03	4,46	3,88	4,03	3,48	3,01	0,73	10,69	78,70	9,23
Fev.	4,70	5,79	4,36	4,70	4,53	3,66	0,78	12,00	57,80	9,70
Mar.	4,79	5,76	4,57	4,79	4,50	3,57	0,74	11,83	75,10	9,37
Mai	4,68	3,92	3,28	4,68	3,15	2,56	0,54	8,42	79,80	6,82
Media	4,55	4,98	4,02	4,55	3,91	3,20	0,70	10,7	81,78	8,78

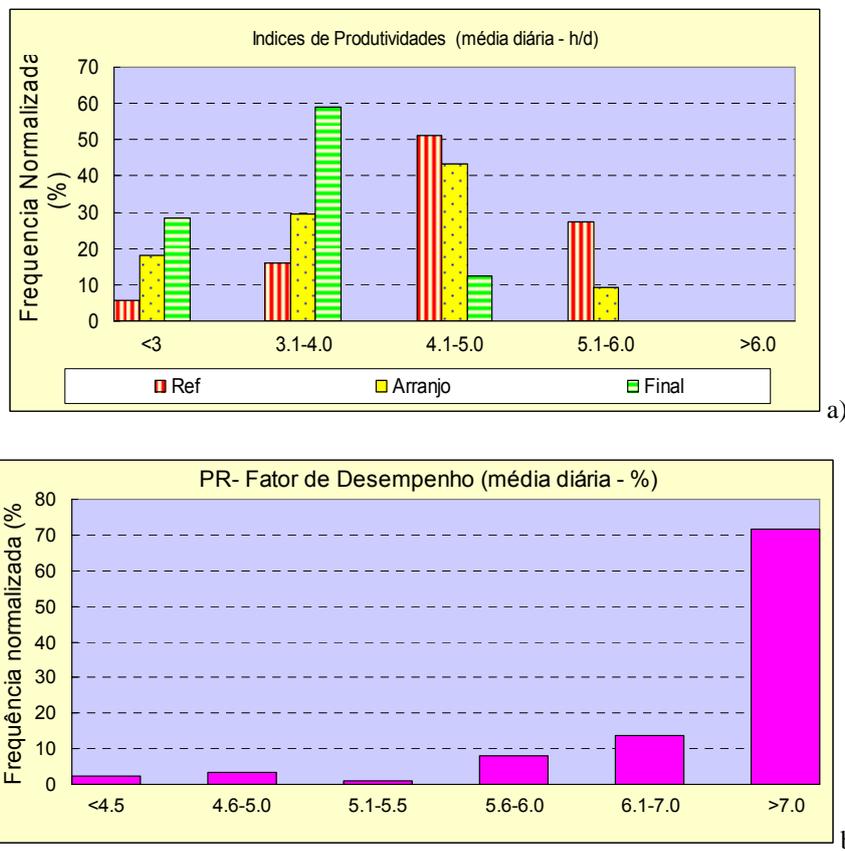


Figura 3- SFCR UFPE III: Frequência normalizada dos valores médios diários a) Produtividades de referência, do arranjo e final do sistema; b) PR- Fator de Desempenho.

Os valores de (PR) obtidos são compatíveis com os citados na literatura para SFCR de pequeno porte. Por exemplo, por Jahn et al.,(2000) na avaliação de 174 sistemas da base de dados PVSP-TASK 2 que acusam (PR) na faixa de 0,25 a 0,9 com valor médio de 0,66. Os autores alertaram que a tendência dos valores de (PR) seria de aumentar com manutenção adequada e equipamentos de melhor qualidade tecnológica. O que realmente tem ocorrido, conforme mostram os resultados de novas avaliações que acusam (PR) na faixa de 0,73 a 0,76 com valor médio anual de 0,74, (Jahn et al.,2004), (Nordmann et al.,2007). Valores de (PR) na faixa de 0,68 a 0,75 e médio de 0,71 em 12 meses de monitoramento são também apresentados por Macedo e Zilles, (2007).

5. CONCLUSÕES E DISCUSSÃO

A metodologia aplicada é adequada e mais representativa quando a análise é realizada por períodos maiores (anuais).

No entanto, a região do Nordeste do Brasil não apresenta grandes alterações nos níveis de irradiação e temperatura ambiente durante o ano, o que favorece a aplicação da metodologia.

- O SFCR-UFPE II tem funcionado muito bem não apresentando sérios problemas técnicos;
- Em 42% dos dias analisados o SFCR UFPE III atendeu em 100% o consumo de energia elétrica da carga prevista;
- Cerca de 120 kWh/mês são produzidos pelo sistema UFPE III que podem ser consumidos ou injetado na rede reduzindo a taxa de consumo elétrico da rede local;
- Os resultados para o Fator de desempenho na faixa de 54% a 78%, médio de 70% obtidos são compatíveis com valores encontrados na literatura especializada para SFCR com PR muito satisfatório.

Como exercício, considerando que no período observado o consumo médio mensal foi de 6 kWh/d e os valores médios constantes na Tab.3, o SFCR UFPE atende em média cerca de 67% do consumo elétrico do laboratório. Ou seja, a “conta de luz” mensal importaria em cerca de 33% do valor relativo à situação sem a existência do SFCR UFPE III.

REFERÊNCIAS

- Barbosa, E. M de S., Vilaça, E., Melo, J. de C., Tiba, C., Lima, F. de A. 2008. Grid-connected system of Lampião Restaurant – NE/Brazil. X WREC- World Renewable Energy. Glasgow, Scotland-UK, julho. (aceito)
- Barbosa, E. M de S., Silva, D.O., Melo, R. de O. 2007. Sistema fotovoltaico conectado à rede com baterias- Sistema UFPE-BRASIL. Revista AVERNA. XXX Reunião da Asociación Argentina de Energias Renovables y Ambiente, São Luiz, AR, novembro.
- Barbosa, E. M de S., Melo, R. de O., Tiba, C. 2006. The First grid-connected photovoltaic system in Federal University of Pernambuco-Brazil. World Renewable Energy Congress – WREC-2006, nº PV95, Florença Itália, Agosto
- Barbosa, E. M. de S., Lopes, L. G. C., Tiba, C. 2004. Sistema fotovoltaico interligado à rede Arquipélago Fernando de Noronha. XII Congresso Ibérico e VII Iberoamericano de Energia Solar –CIES. Vigo, Espanha, Setembro
- DIFUSIÓN IDAE. 2002. Pliego de condiciones técnicas de instalaciones conectadas a red. Depósito Legal: M-47488-2002, Madrid, Octubre.
- FSEC-GP-70-01. 2002. Grid-connected photovoltaic system design review and approval- operation and procedures. Procedure #7003, version 4.
- Jahn, U., Nasse, W., Clavadetscher, L., Mayer, D. 2004. Achievements of TASK 2 of IEA PPSP: final results on PV system performance. 19th European Photovoltaic Solar Energy and Exhibition, Paris, França.
- Jahn, U., Mayer, D., Heidenreich, M., Dahl, R., Castello, S., Clavadetscher, L., Frolich, A., Grimming, B., Nasse, W., Sakuta, K., Sugiura, T., Borg, Van Der N., Otterdijk, Van K. 2002. International Energy Agency PVPS TASK 2: Analysis of the operation performance of the IEA data base PV systems. 16th European Photovoltaic Solar Energy and Exhibition, Glasgow, United Kingdom, maio,
- Macêdo, W.N. 2006 Análise do fator de dimensionamento do inversor aplicado a sistemas fotovoltaicos conectados à rede. Tese de Doutorado. Orientador Dr.Zilles, R. Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo, 2006.
- Nordmann, T., Clavadetscher, L., Jahn, U. 2007. PV system performance and cost analysis, A report by IEA PVPS TASK 2. 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Milan, Italy, 3-7 September.
- Mondol, J. D., Yohanis, Y., Smyty, Norton, B. 2006. Long term performance analysis of grid connected photovoltaic system in Northern Ireland. Energy Conversion & Management, 47, 2925-2947.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos técnicos do Grupo FAE/UFPE: Marcelo Rodrigues, Eric Lopes e José Aguiar. O projeto contou com financiamento da FINEP- Ministério de Ciências e Tecnologia – BR (CT-INFRA 2003).

Abstract. This work presents the grid-connected PV system UFPE III (1.28 kWp; p-Si) in the Group FAE experimental area in the Federal University of Pernambuco. It describes the system, the methodology utilized and results obtained. The system was installed in Jan/08 and the preliminary results obtained are very promising with: monthly average Performance Ratio (PR) values in the range of 0.54 to 0.78, average of 0.70 and around 66 % of solar contribution in the FAE laboratory electric consumption.