



CORRELAÇÃO DE POTÊNCIA PARA ESTIMAR A PERFORMANCE ENERGÉTICA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE

J.B. Dias, P.E. Alves, A. Krenzinger

Laboratório de Energia Solar - PROMEC, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rua Sarmiento Leite, 425, Porto Alegre, 90050-170, Rio Grande do Sul, Brasil.

jbdias@mecanica.ufrgs.br, pealves@gmail.com, arno@mecanica.ufrgs.br

Tel. 051-3316-6841, Fax. 051-3316-6841

RESUMO Este trabalho apresenta um estudo dos índices de mérito que avaliam a performance energética de uma instalação fotovoltaica conectada à rede. A instalação na qual o estudo foi desenvolvido é de 4800 W_p , dividida em três arranjos de módulos interligados a inversores de 1100 W cada um, resultando em diferentes fatores de dimensionamento. Uma unidade central de aquisição de dados, conectada a um computador, foi empregada para fazer as medições de potência elétrica, irradiância e temperatura de módulo. Com as medições e com as equações que determinam os índices de mérito foi possível quantificá-los. Tais índices também foram estimados com o auxílio de uma correlação geral substituindo o valor da potência estimada por esta correlação. Os resultados foram comparados e se verifica que existe uma boa concordância quando a instalação analisada é bem dimensionada.

Palavras-chave: Performance energética, Índices de mérito, Sistema fotovoltaico conectado à rede.

INTRODUÇÃO

A redução da emissão de CO_2 e de outras emissões nocivas ao meio ambiente durante a transformação de energia é um tema cada vez mais discutido entre os pesquisadores e considerado como de extrema importância. As fontes renováveis de energia podem contribuir em grande parte na solução deste problema. A transformação direta da radiação solar em eletricidade, obtida pelos sistemas fotovoltaicos, aparece como uma opção importante neste cenário. Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, objeto de estudo deste trabalho, funcionam em paralelo com a mesma e são importantes fontes de apoio, pois toda energia elétrica obtida na saída do inversor é injetada na rede. Estes sistemas são comumente avaliados e qualificados através de um conjunto de índices de mérito que avaliam a performance energética e que relacionam valores quantitativos para comparação. Determinar estes índices é uma forma de avaliar e também de redimensionar os inversores e os arranjos de módulos instalados.

No Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (*UFRGS*) foi montado um sistema fotovoltaico conectado à rede o qual encontra-se em operação gerando energia elétrica e também uma base de dados para futuros estudos. A análise do comportamento desta instalação está fundamentada por meio de dados experimentais e de observações pertinentes ao seu funcionamento, obtidos a partir de junho de 2004.

INSTALAÇÃO FOTOVOLTAICA

A instalação fotovoltaica analisada é de 4800 W_p e foi dividida em três subsistemas, a qual utiliza inversores *SMA* monofásicos com potência nominal de 1000 W cada um. Estes inversores operam com arranjos formados por módulos de 100 W_p , *ISOFOTON*, com células de silício monocristalino. Cada inversor entrega à rede de distribuição uma potência máxima de 1100 W (*SMA Technologie AG*, 2003). As saídas desses inversores foram conectadas em triângulo, de forma a distribuir simetricamente entre as três fases a energia entregue à rede (Krenzinger et al., 2004).

A metodologia de instalação consiste, em primeiro momento, no ensaio individual dos módulos fotovoltaicos pela equipe do Laboratório de Energia Solar da *UFRGS* para uma melhor classificação. Em seguida foram ensaiados todos os módulos, com irradiância próxima de 1000 W/m^2 e com a temperatura dos módulos estabilizada nas condições de operação. Este procedimento permitiu uma maior agilidade na determinação das curvas características dos módulos, inclusive garantindo uma maior aproximação dos dados levantados às condições normais de operação dos mesmos. Todas as curvas medidas foram trasladadas à condição de irradiância e temperatura de módulo, respectivamente de 1000 W/m^2 e 55 °C. A temperatura de 55 °C foi escolhida pelo fato de ser esta condição mais significativa que a temperatura na condição padrão. Para a análise subsequente os subsistemas 1, 2 e 3 foram configurados com 16, 14 e 12 módulos respectivamente, resultando em fatores de dimensionamento (*FDI*), respectivamente 0,65, 0,73 e 0,86, definidos pela Equação (1)

$$FDI = \frac{P_{CAnom}}{P_{STD}} \quad (1)$$

onde P_{CAnom} é a potência elétrica nominal do inversor e P_{STD} a potência elétrica real instalada na condição padrão ($G=1000 \text{ W/m}^2$ e $25 \text{ }^\circ\text{C}$, AM1,5). As potências reais instaladas referentes aos subsistemas 1, 2 e 3 são respectivamente 1530, 1360 e 1160 W .

As conexões entre os painéis são efetuadas em um quadro, abrigado em um gabinete metálico como mostra a Figura (1a), na qual também estão instalados os disjuntores, resistores *shunts*, circuitos de proteção contra sobre-tensões, etc. Ao lado do gabinete de conexões, na mesma figura, encontra-se o sistema de aquisição de dados, o qual tem com base uma unidade central *Agilent 34970A* e um computador para gerenciar a aquisição. A Figura (1b) ilustra o prédio do Laboratório de Energia Solar da UFRGS onde a instalação fotovoltaica encontra-se em operação. Os módulos fotovoltaicos foram montados em dois planos a 30° com o plano horizontal e orientados para o norte geográfico.

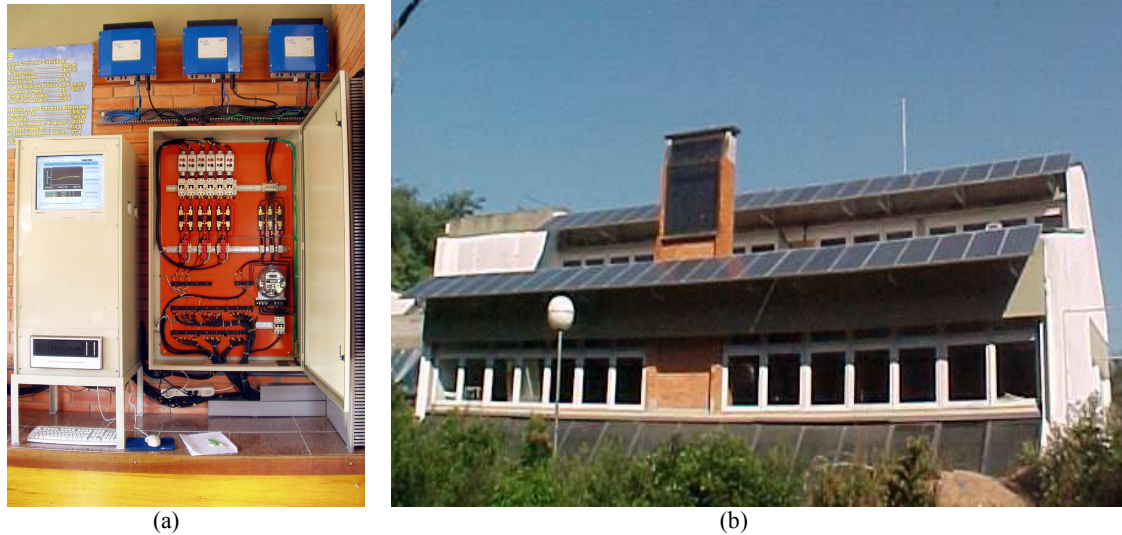


Figura 1: (a) Gabinete de conexões e sistema de aquisição de dados e (b) Laboratório de Energia Solar da UFRGS.

EQUAÇÕES DA PERFORMANCE ENERGÉTICA

Uma quantificação da performance energética de um sistema fotovoltaico pode ser obtida com os índices de mérito utilizados pelo programa de avaliação energética da Comunidade Econômica Européia em sistemas fotovoltaicos conectados à rede (Oliveira, 2002), os quais avaliam o comportamento energético entre as diversas e diferentes instalações. Para calcular estes índices são utilizadas as equações que seguem. Este trabalho propõe a substituição da potência medida, utilizada nas equações que determinam os índices de mérito, pela potência estimada com a correlação apresentada na Equação (12).

Em um sistema fotovoltaico a potência nominal do gerador P_{nom} , dada em $[kW_p]$, é determinada na condição padrão de medida, com irradiância de 1 kW/m^2 , temperatura de célula de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ e distribuição espectral AM 1.5. Neste trabalho foi determinada e empregada a potência real instalada P_{STD} na condição padrão, em $[kW_p]$, com auxílio do programa *CREARRAY* (Krenzinger e Adams, 1999).

A Equação (2) determina a irradiação média diária no plano do gerador $H(\gamma, \beta)$, em $[kWh/m^2.d]$, para o desvio azimutal local $\gamma=0$ e inclinação em relação ao plano horizontal $\beta=30^\circ$, onde G representa a irradiância no plano do gerador, em $[kW/m^2]$ e Γ representa o período de operação do sistema, em dia $[d]$.

$$H(\gamma, \beta) = \frac{1}{\Gamma} \int_{\Gamma} G(t) dt \quad (2)$$

A Eficiência Global do Sistema η_s é determinada pela Equação (3)

$$\eta_s = \frac{E_{CA}}{E_{ger}} = \frac{\int_{\Gamma} P_{CA}(t) dt}{A_{ger} \int_{\Gamma} G(t) dt} \quad (3)$$

onde,

E_{CA} é a energia elétrica entregue à rede, em $[kWh]$;

E_{ger} representa a energia solar disponível no gerador para a conversão, em $[kWh]$;

P_{CA} é a potência elétrica medida entregue à rede, em $[kW]$;

A_{ger} representa a área do gerador fotovoltaico, em $[m^2]$.

A Eficiência do Inversor η_{inv} é determinada pela Equação (4), onde P_{CC} representa a potência elétrica medida na entrada do inversor, em $[kW]$ e E_{CC} a energia elétrica na entrada do inversor, em $[kWh]$

$$\eta_{inv} = \frac{E_{CA}}{E_{CC}} = \frac{\int_{\Gamma} P_{CA}(t)dt}{\int_{\Gamma} P_{CC}(t)dt} \quad (4)$$

O Fator de Capacidade CF é determinado pela Equação (5), onde E_{STD} é a energia elétrica real na condição padrão, em $[kWh]$

$$CF = \frac{E_{CA}}{E_{STD}} = \frac{\int_{\Gamma} P_{CA}(t)dt}{\int_{\Gamma} P_{STD}dt} \quad (5)$$

A Produtividade Y $[kWh/kW_p.d]$ pode ser determinada tanto para o gerador fotovoltaico quanto para o sistema. Esta representa a quantidade de energia elétrica gerada por cada kW_p instalado. Pode ser expressa em $[h/d]$, e representa o número de horas no qual o sistema deveria operar diariamente em sua potência real instalada na condição padrão para converter a mesma quantidade de energia gerada no período considerado. A Produtividade do Gerador Y_A $[h/d]$ é determinada pela Equação (6) e a do Sistema Y_F $[h/d]$ pela Equação (7)

$$Y_A = \frac{1}{P_{STD}} \left[\frac{1}{\Gamma} \int_{\Gamma} P_{CC}(t)dt \right] \quad (6)$$

$$Y_F = \frac{1}{P_{STD}} \left[\frac{1}{\Gamma} \int_{\Gamma} P_{CA}(t)dt \right] \quad (7)$$

O Desempenho Global do Sistema PR é determinado pela Equação (8) por meio da razão entre a produtividade do sistema Y_F e a produtividade de referência Y_R (Mayer,1999; Mayer e Camez, 2001; Drif, 2004)

$$PR = \frac{Y_F}{Y_R} \quad (8)$$

onde, $Y_R = \frac{H(\gamma, \beta)}{G_{ce}}$ é a produtividade de referência, em $[h/d]$ e G_{ce} é a irradiância de $1 kW/m^2$.

As perdas de captura L_C $[h/d]$ e de sistema L_S $[h/d]$ são utilizadas em análise comparativa de sistemas fotovoltaicos, e estas foram determinadas com auxílio das Equações (9) e (10) (Mayer, 1999; Drif et al., 2004), onde, L_C representa a soma de duas perdas de captura, L_{CT} de origem térmica e L_{CM} de várias origens

$$L_C = Y_R - Y_A \quad (9)$$

$$L_S = Y_A - Y_F \quad (10)$$

A Energia Elétrica Média Diária Produzida E_F $[kWh/d]$ é estimada utilizando-se a Equação (11)

$$E_F = \left(\frac{H(\gamma, \beta)PR}{G_{ce}} \right) P_{STD} \quad (11)$$

CORRELAÇÃO EMPREGADA PARA ESTIMAR A PERFORMANCE ENERGÉTICA

A correlação de potência empregada para estimar a performance energética foi obtida a partir da análise do comportamento energético de uma instalação fotovoltaica conectada à rede (Dias, 2006; Dias e Krenzinger, 2006). A Equação (12) permite obter a potência no ponto de máxima potência (P_{PMP}) de um arranjo fotovoltaico, em relação a um determinado número de módulos Nm , em função da temperatura de módulo e da irradiância no plano do gerador fotovoltaico.

Para estimar a performance energética utilizando a Equação (12) foram levadas em conta:

- as medidas da temperatura de um dos módulos do gerador fotovoltaico e a irradiância no plano do gerador;
- que o inversor polariza o arranjo, ao longo do tempo, no seu ponto de máxima potência;
- que a P_{PMP} do arranjo tem o seu limite na máxima potência de entrada do inversor.

$$P_{PMP}(Tm, G)_{ARR} = \frac{Nm}{4} \left\{ \begin{aligned} & \frac{1}{8} [(1,79 - 6,9 \times 10^{-3} Tm)G + 0,62Tm - 50] + \\ & + \frac{1}{7} [(1,61 - 6,2 \times 10^{-3} Tm)G + 0,14Tm - 60] \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Considerando que a potência média máxima P_{CCmax} , medida nas entradas dos inversores é de 1230 W e que as eficiências médias dos mesmos inversores η_{inv} obtidas experimentalmente, são de 0,91, 0,92 e 0,93, respectivamente para os subsistemas 1, 2 e 3, e que cada inversor injeta na rede uma potência máxima de 1100 W, as Equações (13a) e (13b) estimam a potência injetada na rede pelos três subsistemas P_{SUB} , empregando-se o seguinte algoritmo:

Se, $0 \leq P_{PMP}(Tm, G)_{ARR} \leq P_{CCmax}$, então

$$P_{SUB}(Tm, G) = \eta_{inv} P_{PMP}(Tm, G)_{ARR} \quad (13a)$$

$$\text{Senão, } P_{SUB} = \eta_{inv} P_{CCmax} \quad (13b)$$

Os cálculos dos índices de performance energética utilizando a correlação de potência são realizados por meio das Equações (3), (5), (6) (7) e (11) modificadas, conforme mostra a Tabela (1): Os índices de mérito que não aparecem na referida tabela são oriundos das equações modificadas que constam na tabela ou então são aqueles que não sofreram alterações, como a produtividade de referência e a irradiação média diária.

| | |
|---------------------------------------|---|
| Eficiência do sistema | $\eta_s = \frac{E_{CA}}{E_{ger}} = \frac{\int_{\Gamma} P_{SUB}(Tm, G) dt}{A_{ger} \int_{\Gamma} G(t) dt}$ |
| Fator de capacidade | $CF = \frac{E_{CA}}{E_{STD}} = \frac{\int_{\Gamma} P_{SUB}(Tm, G) dt}{\int_{\Gamma} P_{STD} dt}$ |
| Produtividade do arranjo fotovoltaico | $Y_A = \frac{1}{P_{STD}} \left[\frac{1}{\Gamma} \int_{\Gamma} P_{PMP}(Tm, G)_{ARR} dt \right]$ |
| Produtividade do sistema | $Y_F = \frac{1}{P_{STD}} \left[\frac{1}{\Gamma} \int_{\Gamma} P_{SUB}(Tm, G) dt \right]$ |
| Energia média diária entregue à rede | $E_F = \frac{1}{\Gamma} \left[\int_{\Gamma} P_{SUB}(Tm, G) dt \right]$ |

Tabela 1: Equações da performance energética empregando a correlação de potência.

RESULTADOS

As Tabelas (2) e (3) apresentam os índices de mérito (medido) e (estimado). A indicação (medido) significa que os mesmos foram determinados com as equações da performance empregando a potência oriunda das medições de corrente e tensão, da temperatura de módulo e irradiância, referentes aos meses de dezembro até junho de 2005. Já a indicação (estimado) significa que os índices foram determinados com auxílio da correlação de potência substituída nas equações originais convenientes, empregando como dados de entrada somente a temperatura de módulo e a irradiância.

Observando os resultados nas tabelas, medidos e estimados, constata-se que os mesmos apresentam uma concordância razoável entre eles, sendo melhor no subsistema 3 do que no subsistema 1. A razão disto é que as potências medidas na entrada e na saída dos inversores levam em conta as perdas elétricas nos condutores ocasionadas por efeito joule, perdas devido ao sombreamento, perdas devido ao superaquecimento dos inversores, diodos de bloqueio, etc. No caso da potência estimada com a correlação apenas as perdas de captura de origem térmica nas células dos módulos são levadas em conta e isto resulta numa diferença no cálculo dos índices da performance. A razão pela qual os índices apresentam estas diferenças, especialmente nos subsistemas 1 e 2, é que estes subsistemas possuem arranjos com potências reais maiores instaladas nas entradas dos inversores do que o subsistema 3, o que contribui em alguns momentos de dias ensolarados, por volta do meio dia, para o superaquecimento dos inversores, provocado pelo tempo prolongado em que o inversor opera em sua potência máxima, aumentando ainda mais as perdas de sistema. É importante dizer que as diferenças, observadas entre os índices calculados com o emprego das medições e os índices estimados com auxílio da correlação, seriam menores com a otimização do sistema, diminuição do número de módulos em relação ao inversor utilizado e também com medidas para redução das perdas elétricas no sistema.

| Mês | YR [h/d] | PR [%] | | | E _F [kWh/d] | | | CF [%] | | | η _s [%] | | | |
|-----|-------------|-----------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|-----------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|-----|
| | | sub 1 | sub 2 | sub 3 | sub 1 | sub 2 | sub 3 | sub 1 | sub 2 | sub 3 | sub 1 | sub 2 | sub 3 | |
| Dez | Medido | 5,6 | 74,3 | 76,4 | 80,5 | 6,4 | 5,8 | 5,2 | 17,3 | 17,8 | 18,8 | 8,3 | 8,7 | 9,1 |
| | Estimado | | 81,3 | 81,2 | 82,5 | 7,0 | 6,2 | 5,4 | 19,0 | 18,9 | 19,2 | 9,1 | 9,2 | 9,4 |
| Jan | Medido | 6,2 | 73,5 | 76,5 | 81,0 | 7,0 | 6,4 | 5,8 | 19,0 | 19,8 | 20,9 | 8,2 | 8,7 | 9,2 |
| | Estimado | | 80,3 | 80,3 | 81,6 | 7,6 | 6,8 | 5,9 | 20,7 | 20,7 | 21,1 | 9,0 | 9,1 | 9,3 |
| Fev | Medido | 5,3 | 74,9 | 78,1 | 82,7 | 6,1 | 5,6 | 5,1 | 16,5 | 17,2 | 18,2 | 8,4 | 8,9 | 9,4 |
| | Estimado | | 81,1 | 81,0 | 82,3 | 6,6 | 5,8 | 5,0 | 17,9 | 17,8 | 18,1 | 9,1 | 9,2 | 9,3 |
| Mar | Medido | 4,9 | 74,3 | 77,7 | 82,8 | 5,6 | 5,2 | 4,7 | 15,2 | 15,9 | 17,0 | 8,3 | 8,8 | 9,4 |
| | Estimado | | 79,6 | 79,7 | 81,0 | 6,0 | 5,3 | 4,6 | 16,3 | 16,3 | 16,6 | 8,9 | 9,1 | 9,2 |
| Abr | Medido | 3,7 | 78,6 | 81,9 | 85,5 | 4,5 | 4,1 | 3,7 | 12,1 | 12,6 | 13,2 | 8,8 | 9,3 | 9,7 |
| | Estimado | | 81,0 | 80,9 | 82,2 | 4,6 | 4,1 | 3,5 | 12,5 | 12,5 | 12,7 | 9,1 | 9,2 | 9,3 |
| Mai | Medido | 3,5 | 82,6 | 84,0 | 86,9 | 4,4 | 4,0 | 3,5 | 12,1 | 12,3 | 12,7 | 9,2 | 9,6 | 9,9 |
| | Estimado | | 82,8 | 82,6 | 83,9 | 4,5 | 3,9 | 3,4 | 12,1 | 12,1 | 12,3 | 9,3 | 9,4 | 9,5 |
| Jun | Medido | 3,3 | 83,5 | 84,5 | 87,5 | 4,2 | 3,7 | 3,3 | 11,3 | 11,5 | 11,9 | 9,3 | 9,6 | 9,9 |
| | Estimado | | 83,6 | 83,2 | 84,5 | 4,2 | 3,7 | 3,2 | 11,4 | 11,3 | 11,5 | 9,4 | 9,5 | 9,6 |

Tabela 2: Índices medidos e estimados da performance energética: produtividade de referência, desempenho global, energia entregue à rede, fator de capacidade e eficiência de sistema.

| Mês | YR [h/d] | YA [h/d] | | | YF [h/d] | | | Lc [h/d] | | | Ls [h/d] | | | |
|-----|-------------|-------------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------------|-------|-------|-----|
| | | sub 1 | sub 2 | sub 3 | sub 1 | sub 2 | sub 3 | sub 1 | sub 2 | sub 3 | sub 1 | sub 2 | sub 3 | |
| Dez | Medido | 5,6 | 4,5 | 4,6 | 4,8 | 4,2 | 4,3 | 4,5 | 1,1 | 1,0 | 0,8 | 0,4 | 0,3 | 0,3 |
| | Estimado | | 5,0 | 4,9 | 5,0 | 4,6 | 4,5 | 4,6 | 0,6 | 0,7 | 0,6 | 0,5 | 0,4 | 0,3 |
| Jan | Medido | 6,2 | 5,0 | 5,1 | 5,4 | 4,6 | 4,7 | 5,0 | 1,2 | 1,1 | 0,8 | 0,4 | 0,4 | 0,3 |
| | Estimado | | 5,5 | 5,4 | 5,4 | 5,0 | 5,0 | 5,1 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,5 | 0,4 | 0,4 |
| Fev | Medido | 5,3 | 4,3 | 4,4 | 4,6 | 4,0 | 4,1 | 4,4 | 1,0 | 0,8 | 0,6 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| | Estimado | | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 4,3 | 4,3 | 4,3 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,4 | 0,4 | 0,3 |
| Mar | Medido | 4,9 | 4,0 | 4,1 | 4,3 | 3,7 | 3,8 | 4,1 | 0,9 | 0,8 | 0,6 | 0,3 | 0,3 | 0,2 |
| | Estimado | | 4,3 | 4,3 | 4,3 | 3,9 | 3,9 | 4,0 | 0,6 | 0,7 | 0,6 | 0,4 | 0,3 | 0,3 |
| Abr | Medido | 3,7 | 3,2 | 3,2 | 3,3 | 2,9 | 3,0 | 3,2 | 0,5 | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,1 |
| | Estimado | | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,2 |
| Mai | Medido | 3,5 | 3,2 | 3,2 | 3,2 | 2,9 | 3,0 | 3,1 | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,2 |
| | Estimado | | 3,2 | 3,2 | 3,2 | 2,9 | 2,9 | 2,9 | 0,3 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,2 |
| Jun | Medido | 3,3 | 3,0 | 2,9 | 3,0 | 2,7 | 2,8 | 2,9 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,1 |
| | Estimado | | 3,0 | 2,9 | 3,0 | 2,7 | 2,7 | 2,8 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,2 |

Tabela 3: Índices medidos e estimados da performance energética: produtividades de referência, do gerador fotovoltaico e do sistema, e perdas de captura e perdas de sistema.

A Figura 2 (a, b, c) ilustra a energia média diária entregue à rede pelos três subsistemas da instalação fotovoltaica, referente aos meses de dezembro até junho. Observa-se que, dependendo do mês, existe uma maior diferença entre os resultados medidos e estimados. Nos meses de verão, a radiação solar é mais intensa e mais favorável à geração de energia elétrica, mas por outro lado, as perdas de captura de origem térmica nos módulos, que são percebidas pela correlação de potência, são maiores. No entanto, existem as perdas por superaquecimento nos inversores, conforme mencionado anteriormente, e essas causam uma redução na energia entregue à rede não percebida pela correlação.

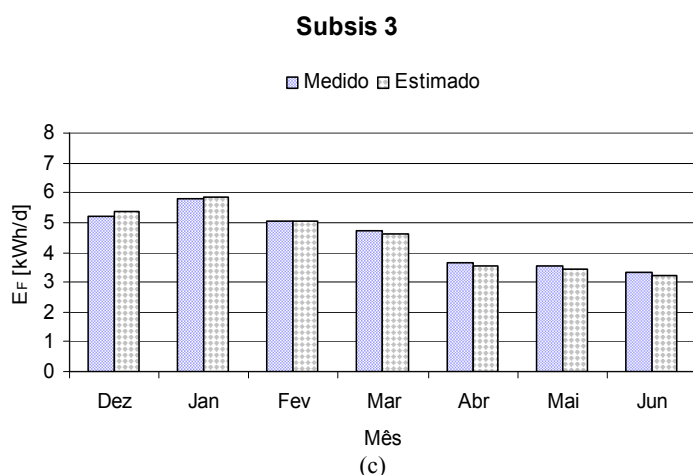
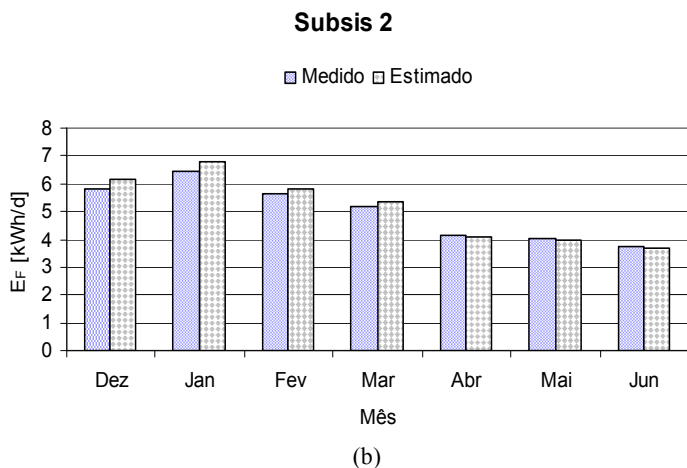
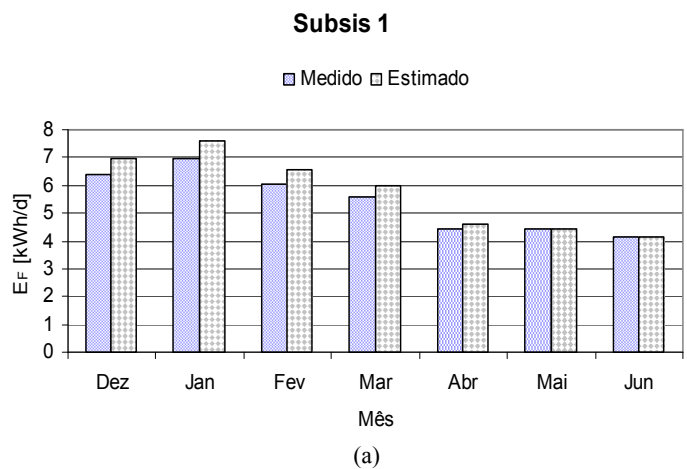


Figura 2 (a, b, c) Energia média diária mensal entregue à rede pelos subsistemas da instalação fotovoltaica.

CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou um estudo que relaciona duas maneiras de determinar os índices de mérito que avaliam a performance energética de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica.

Os resultados evidenciaram que é possível estimar, de forma rápida, a performance de uma instalação desta natureza empregando nas equações que determinam estes índices a correlação de potência proposta aqui, sendo necessário apenas informar a temperatura de módulo e a irradiância no plano dos módulos no período desejado. Neste estudo a irradiância e a temperatura de módulo foram adquiridas experimentalmente. No entanto a irradiância poderia ser obtida de arquivos climáticos ou por meio de sintetização de dados, e a temperatura de módulo com dados climáticos de temperatura do ar ambiente, irradiância e velocidade do vento inseridos em algum modelo existente na literatura. Conforme foi observado nos resultados obtidos com as duas metodologias, é importante ressaltar que os obtidos por meio da correção de potência serão mais verdadeiros a medida que as perdas em geral forem menores, ou seja, quando o sistema analisado for bem dimensionado.

NOMENCLATURA

A_{ger} - área do gerador fotovoltaico, em $[m^2]$;
 CF - fator de capacidade, em $[\%]$;
 E_{CA} - energia elétrica entregue à rede, em $[kWh]$;
 E_{CC} - energia elétrica na entrada do inversor, em $[kWh]$;
 E_F - energia média diária mensal entregue à rede, em $[kWh/d]$;
 E_{ger} - energia solar disponível no gerador para a conversão, em $[kWh]$;
 E_{STD} - energia elétrica real na condição padrão, em $[kWh]$;
 FDI - fator de dimensionamento do subsistema;
 G - irradiância no plano do gerador fotovoltaico, em $[kW/m^2]$;
 G_{ce} - irradiância de $1 kW/m^2$;
 $H(\gamma, \beta)$ - irradiação média diária no plano do gerador fotovoltaico, em $[kWh/m^2.d]$;
 Lc - perdas de captura de origem térmica e Ls - perdas de sistema, em $[h/d]$;
 P_{CAnom} - potência nominal de saída do inversor, em $[kW]$;
 P_{CCmax} - potência máxima na entrada do inversor, em $[kW]$;
 $P_{PMP}(T_m, G)$ - potência no ponto de máxima potência do arranjo fotovoltaico, em função da temperatura de módulo e da irradiância, em $[kW]$;
 PR - desempenho global da instalação, em $[\%]$;
 P_{STD} - potência real instalada na condição padrão, em $[kW]$;
 $P_{SUB}(T_m, G)$ - potência entregue à rede pelo subsistema, em função da temperatura de módulo e da irradiância, em $[kW]$;
 T_m - temperatura de módulo, em $[^{\circ}C]$;
 YR - produtividade de referência, YA - produtividade do arranjo fotovoltaico e YF - produtividade do sistema, em $[h/d]$;
 η_{inv} - eficiência do inversor e η_s eficiência do sistema, em $[\%]$.

REFERÊNCIAS

- Dias J.B, Krenzinger, A. e Prieb, C.W.M. (2005). Análisis del Comportamiento de una Instalación Fotovoltaica Conectada a la Red Eléctrica de Distribución. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente 9.
- Dias, J. B. (2006). Instalação Fotovoltaica Conectada à Rede: Estudo Experimental para a Otimização. Tese de Doutorado, p. 175. PROMEC, UFRGS, Brasil.
- Dias J.B. e Krenzinger, A. (2006). Estimation des Pertes d'Énergie à l'Entrée des Onduleurs d'une Installation Photovoltaïque Raccordée au Réseau. Revue des Energies Renouvelables 9, 1-10.
- Drif, M., Pérez, P. J., De La Casa, J. e Aguilera, J. (2004). Análisis de Cuatro Años de Funcionamiento del Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red de 200 kW_p. Proyecto Univer, XII Congreso Ibérico y VII Congreso Iberoamericano de Energía Solar, Vigo, España, 1025-1030.
- Krenzinger, A., Dias, J. B. e Prieb, C.W.M. (2004). Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede no Sul do Brasil. XII Congreso Ibérico y VII Congreso Iberoamericano de Energía Solar, Vigo, España, 1019-1024.
- Krenzinger, A. e Adams, T. R. (1999). Crearray-Software para Calcular Curvas Características de Arranjos de Módulos Fotovoltaicos. PROMEC, UFRGS, Porto Alegre.
- Mayer, D. (1999). Analyse des Performances des Systèmes Photovoltaïques: Recommandation sur le Dimensionnement, IEA-PVPS Task2.
- Oliveira S. H. F., (2002). Geração Distribuída de Eletricidade: Inserção de Edificações Fotovoltaicas Conectadas à Rede no Estado de São Paulo. Tese de Doutorado, p. 205. PIPGE - (EP/FEA/IEE/IF), USP.
- SMA Technologie AG, (2003). Manual de Instrução do Equipamento Sunny Boy, Descrição Técnica do Fabricante.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FINEP, a ELETROBRÁS e ao CNPq pelo apoio financeiro.

ABSTRACT This work presents a study of the energy performance merit indices of a photovoltaic grid-connected system. The installation on which the study was developed is 4800 W_p , divided in three strings of modules connected to 1100 W inverters, resulting in different sizing factors. A data acquisition unit, connected to a computer, was used to make the measurements of electric power, solar irradiance, ambient and module temperatures. With the measurements and the equations that determine the merit indices it was possible to quantify them. These indices had been also estimated with the aid of a general correlation for the power. The results had been compared, resulting in a good agreement when the analyzed installation presents suitable sizing.

Keywords: energy performance, merit indices, photovoltaic grid-connected system.