

IMPLEMENTAÇÃO DE UM MÓDULO FOTOVOLTAICO DE SILÍCIO PARA MEDIDAS DE POTENCIAL SOLAR ÚTIL À CONVERSÃO FOTOVOLTAICA

Jime de Souza Sampaio - jimesampaio@gmail.com

Germano Pinto Guedes - germano@uefs.br

Universidade Estadual de Feira de Santana, Departamento de Física

Denis G. F. David - denisgfd@ufba.br

Universidade Federal da Bahia, Instituto de Física

4.2 Sistemas de medição e monitoramento

Resumo. O crescimento da demanda energética no planeta, desassociada de uma política que leve em consideração os impactos ambientais inerentes, passou a ser motivo de preocupações. Os impactos ambientais negativos da utilização de combustíveis fósseis como fonte de energia, remetem a uma ascensão das pesquisas em energias renováveis e não poluentes. Reunindo estas características chega-se a energia solar. Entretanto, as perspectivas de aplicação de sistemas elétrico-solares (fotovoltaicos) dependem da análise do potencial solar da região onde se pretende aplicar. Os dados encontrados, medidos com radiômetros do tipo piranômetros que respondem numa larga faixa do espectro solar (geralmente de 0,3 a 2,2 μm), não representam com precisão o potencial solar útil à conversão fotovoltaica com os tradicionais módulos de silício, semicondutor presente em 97% das células solares disponíveis comercialmente (sensíveis apenas entre 0,3 - 1,1 μm). A implementação de radiômetros fotovoltaicos de silício vem como uma solução eficaz. Artigos publicados já mostram a eficiência de tais instrumentos e neste trabalho são mostradas as diferenças nas leituras de potencial solar entre os instrumentos geralmente utilizados e instrumentos que funcionam no princípio fotovoltaico de silício. A influência da umidade relativa do ar se mostrou significativa para o dia com céu claro, onde as discrepâncias médias para o dia todo foram na ordem de 10%, com máxima de 41,7% no período onde a umidade relativa do ar foi mais alta. Para o dia com céu nublado as discrepâncias foram da ordem de 4% onde, a massa de ar nestas condições permite uma irradiância mais propícia à leitura do módulo FV. Os erros maiores que 5% no cálculo da energia diária, confirmam a necessidade do uso dessa modalidade de radiômetro, quando tem-se em vista, medidas de potencial solar que podem gerar energia elétrica

Palavras-chave: Células Fotovoltaicas de Silício, Radiômetros, Energia Solar, Instrumentação

1. INTRODUÇÃO

As discussões acerca dos impactos das emissões de carbono na atmosfera indicam uma preocupação significativa com o futuro da Terra, caso medidas não sejam tomadas. O uso de combustíveis fósseis e a mudança no uso da terra são os principais fatores para o aumento global da concentração de dióxido de carbono, um dos elementos causadores do aquecimento global (Bernstein *et al*, 2007). O crescimento da demanda energética no planeta, principalmente com o aumento da atividade industrial, não foi acompanhado por uma política ambiental que minimizasse os efeitos nocivos deste crescimento sobre o ecossistema terrestre. Talvez por este motivo, tardiamente, as atenções são voltadas para a necessidade do uso de fontes de energias não poluentes.

Como fonte não poluente, além de inesgotável, há sol. Como cita (CRESCEB e CEPEL, 2004): “A Terra recebe anualmente $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia solar, o que corresponde a 10.000 vezes o consumo mundial de energia neste período.” Considerando-se também que, segundo (Palz, 1981), acerca do potencial solar na terra, “A energia solar a cada ano é 10 vezes maior que os recursos fósseis totais.” o aproveitamento do potencial solar seria suficiente para suprir as necessidades energéticas da Terra, sem acarretar o ônus do impacto ambiental negativo que se vive atualmente. Porém, o baixo rendimento das tecnologias de aproveitamento (fotovoltaicas) disponíveis no mercado, assim como os altos custos de produção da energia elétrica a partir da solar, cria um cenário não propício para o uso em larga escala. Contudo, o recente relatório da EPIA\Greenpeace (Greenpeace e EPIA, 2007) traz extrapolações animadoras para 2040 onde, “... a contribuição da energia solar equivaleria de 20 a 28% do consumo energético mundial, dependendo das hipóteses utilizadas para estabelecer o consumo elétrico.” Tais hipóteses levam em conta investimentos governamentais, situação atual do mercado da Energia solar FV (fotovoltaica) e também o potencial da energia FV em termos de radiação solar.

A análise do potencial solar de uma região tem caráter fundamental para as perspectivas de aplicação de sistemas fotovoltaicos. Os dados disponíveis são encontrados em mapas de insolação obtidos através de estimativas de imagens via satélite, cuja validação é feita com dados terrestres (Tiba *et al*, 2001; Martins, F. R. *et al*, 2007). Entretanto, tais

dados não representam com precisão o potencial útil à conversão FV, tendo em vista que, geralmente, existem diferenças significativas entre as respostas espectrais dos instrumentos utilizados para a validação e as dos utilizados como fonte de energia elétrica.

O silício (Si), semiconductor presente em 97% das células solares do mercado mundial, Fig. 1 (Greenpeace and EPIA, 2007), possui uma resposta espectral limitada (0,3 a 1,1 μm , com um pico de resposta no entorno de 0,9 μm (Infravermelho)) considerando o espectro de emissão solar (0,2 a 3,2 μm) (Palz, 1981).

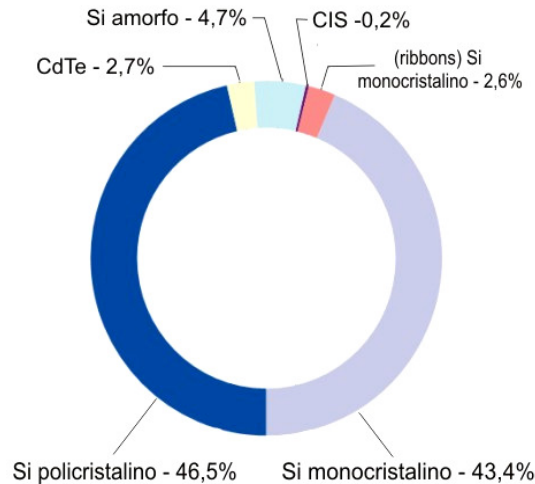


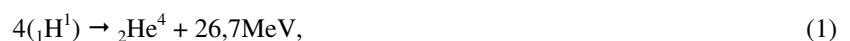
Figura 1- Tecnologias das células fotovoltaicas disponíveis no mercado em 2006. Fonte: (Greenpeace and EPIA, 2007) (modificada)

Como as medidas de intensidade solar são geralmente feitas com radiômetros de amplo espectro de resposta, pode-se concluir que o potencial útil à conversão FV não é equivalente ao potencial solar. Assim, para o levantamento de dados precisos do potencial solar de uma região onde se tenha em vista a aplicação de sistemas FV de energia, a utilização de células FV de silício como radiômetros vem como uma alternativa eficaz. As medidas realizadas por tais instrumentos representam o potencial solar que é útil à conversão FV de silício, dando uma idéia geral da viabilidade das regiões estudadas para uso da energia elétrica solar. Além disso, instrumentos deste tipo já vêm sendo utilizados em solarimetria e trabalhos publicados mostram a eficiência deles como radiômetros (Tiba *et al*, 2001; Storch, 2004).

Neste trabalho, serão apresentados resultados do processo de calibração de um módulo FV sob condições ambientais naturais, as respectivas medidas de irradiância realizadas com o módulo, seu comportamento em função das variações climáticas e como a influência do espectro solar é significativa para as medidas da energia proveniente do sol.

1.1 Radiação Solar

O sol, única estrela do sistema solar e a mais próxima da terra, com o diâmetro de $1,39 \times 10^9$ m se distanciando $1,5 \times 10^{15}$ m do nosso planeta, caracteriza-se como uma esfera de gases incandescentes. Sua energia é gerada principalmente pelo processo de fusão do hidrogênio (H) em hélio (He) no interior da esfera solar a milhões de graus pela reação:



esta energia é transferida para a superfície e então irradiada no espaço. (Lima, 2008; Tiwari, 2002; Souza, 2007).

A radiação emitida pelo sol, cuja superfície se encontra a 5.777K (Tiwari, 2002), tem as mesmas características da radiação de um corpo negro, à mesma temperatura. Assim, o espectro de emissão solar, ajusta-se à lei de emitância espectral proposta por Plank :

$$E(\lambda, T) = \frac{2\pi \cdot h \cdot c^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{h \cdot c}{\lambda \cdot k \cdot T}} - 1}, \quad (2)$$

onde E é a energia emitida pelo corpo (W/m^2), T é a temperatura absoluta do corpo (K), λ o comprimento de onda (μm), h é a constante de plank ($6,63 \times 10^{-34}$ J.s), c é a velocidade da luz no vácuo (3×10^8 m/s²), k a constante de Boltzman ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K). Essa lei está de acordo com a lei de Wien, que relaciona o comprimento de onda de máxima emissão (λ_{max}) com a temperatura do corpo (T), através da relação:

$$\lambda_{max} \cdot T = b, \tag{3}$$

onde $b = 2,898 \times 10^{-3}$ K/m. Para o sol $\lambda_{max} = 0,55 \mu\text{m}$ (verde, no espectro visível) (Lima, 2008)

A Energia total irradiada por unidade de área pela superfície do corpo negro é obtida pela lei de Stefan-Boltzmann:

$$I = \sigma T^4, \tag{4}$$

onde $\sigma = 5,67 \times 10^{-8}$ W/K⁴.m². (Lima, 2008)

A constante solar, ou seja, a energia média irradiada pelo sol por unidade de área que chega até a terra (fora da atmosfera), é de 1367 W/m² (Tiwari, 2002). Entretanto, ao passar pela atmosfera, a energia sofre processos de dispersão e absorção atenuando sua intensidade até chegar ao nível do solo. Como pode ser visto na Fig. 2, 30% da constante solar é refletida pelas nuvens, atmosfera e terra, 70% é absorvida e apenas 25% desta radiação chega à superfície da terra sem sofrer nenhuma interação na atmosfera. A energia absorvida é reemitida na faixa do infravermelho do espectro eletromagnético, tendo maior contribuição proveniente das nuvens e constituintes atmosféricos. (Souza, 2007; CRESCCEB e CEPEL, 2004)

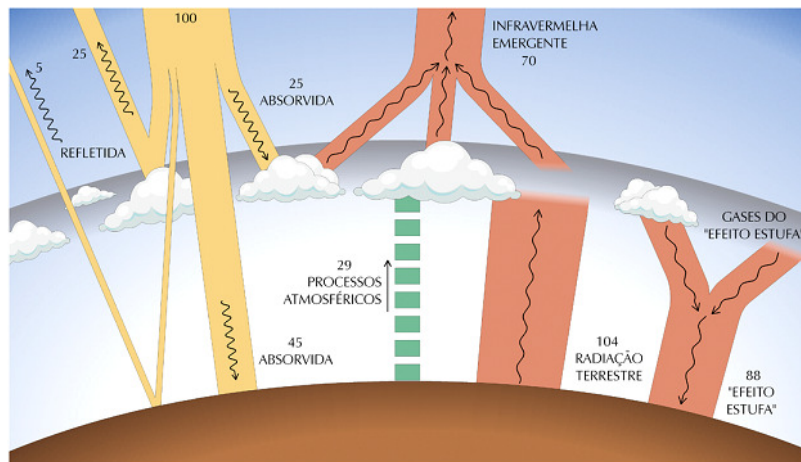


Figura 2- Diagrama simbólico dos processos de interação da radiação solar com a atmosfera terrestre. Fonte: (CRESCCEB e CEPEL, 2004)

O maior absorvente atmosférico é o vapor d'água (H₂O), que junto com o ozônio (O₃) e o oxigênio (O₂) respondem pela absorção de 19% da radiação na atmosfera, como pode ser visto na Fig.3 que contrasta as curvas de radiação do corpo negro e a do sol dentro e fora da atmosfera (Souza, 2007).

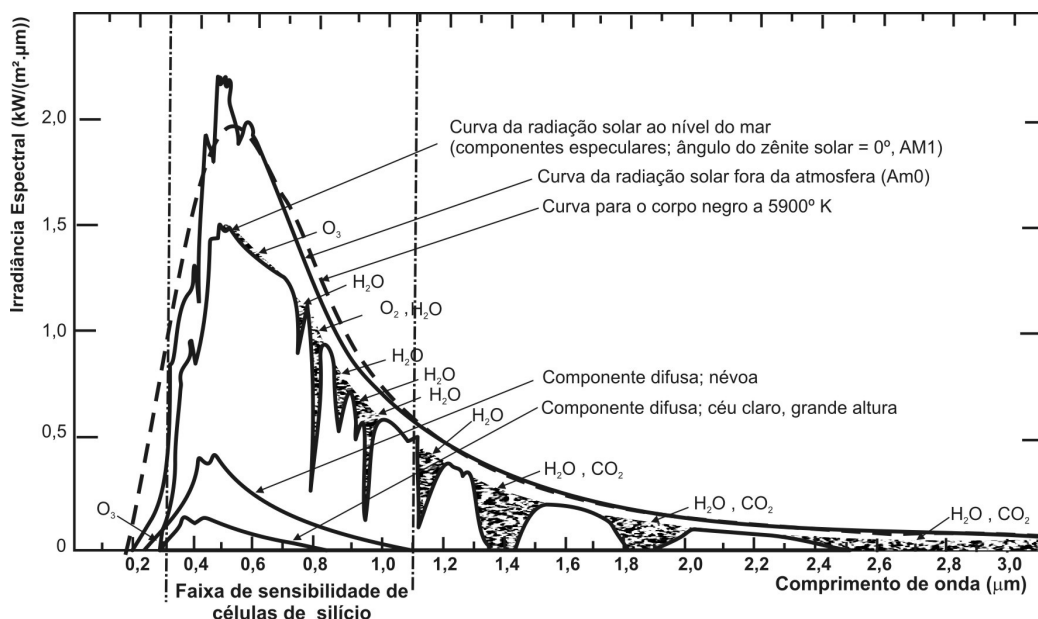


Figura 3- Faixa de sensibilidade das células solares de silício, comparada com o espectro solar dentro e fora da atmosfera e ao nível do solo. Fonte: (Palz, 1981) (modificada)

O valor numérico da atenuação da radiação pela atmosfera é chamada de “Massa de Ar” (AM) que é função do ângulo de incidência dos raios solares. Ilustrada na Fig. 4.

$$AM = \frac{1}{\cos \theta} \quad (5)$$

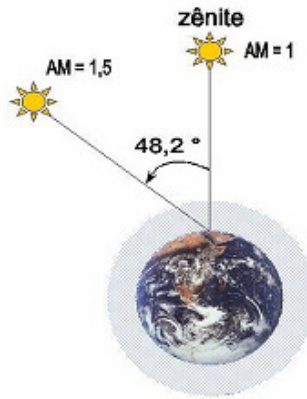


Figura 4- Massa de Ar variando com o ângulo de incidência. Fonte: (Bühler, 2007)

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O instrumento em análise é um módulo fotovoltaico de silício policristalino de 1 m² (solarex), cujas características são apresentadas na Tab. 1. O módulo se divide em duas seções similares de com 18 células ligadas em série cada, permitindo associações em série e paralelo dos sub-módulos. A configuração de fábrica trazia as seções ligadas em série. Por motivos operacionais, o módulo foi configurado para análise com uma seção medindo corrente de curto-circuito I_{cc} (A) a outra lendo corrente de circuito aberto V_{ca} (V). O módulo foi instalado ao ar livre, inclinado 12° e voltado para o norte, submetido à insolação direta e difusa. Sua temperatura é medida por um sensor LM35CZ, localizado sob a superfície coletora, protegido da radiação solar. A calibração do módulo foi realizada com um piranômetro de padrão secundário calibrado CM21 (kipp&Zonen), ver Tab.2, através de medidas simultâneas de irradiância com o instrumento de referência e o módulo em intervalos de 1min, das 6h às 18h. A montagem experimental pode ser vista na Fig. 5.

Tabela 1- Especificações do módulo em análise para as condições de referência: 1) irradiância 1000 W/m², temperatura 25 °C e AM1.5 e 2) irradiância 800 W/m², temperatura 49 °C e AM1.5.

| CONFIGURAÇÃO DO MÓDULO CONDIÇÕES DE REFERÊNCIA | FÁBRICA | | ANÁLISE (1/2 Módulo) | |
|---|---------|---------|----------------------|--------|
| | 1 | 2 | 1 | 2 |
| Potência máxima | 70 W | 49,3 W | 35 W | 24,6 W |
| Corrente de Curto-circuito | 4,88 A | - | 4,88 A | - |
| Tensão de circuito aberto | 20,6 V | - | 10,3 V | - |
| Corrente de máxima potência | 4,43 A | 3,54 A | 4,43 A | 3,54 A |
| Tensão de máxima potência | 15,8 V | 13,92 V | 7,9 V | 6,96 V |
| Número de células em série | 36 | 36 | 18 | 18 |

Tabela 2- Especificações do piranômetro de referência

| CARACTERÍSTICA | VALOR |
|--|---|
| Sensibilidade | 10,08 μV/W.m ² |
| Faixa Espectral de Resposta | 0,335 a 2,200 μm |
| Tempo de resposta | 1,6 s (63% da resposta) e 5 s (95% da resposta) |
| Dependência com a Temperatura da Sensibilidade | < ± 1% (de -20 a 50 °C) |
| Máximo erro esperado | 2% |

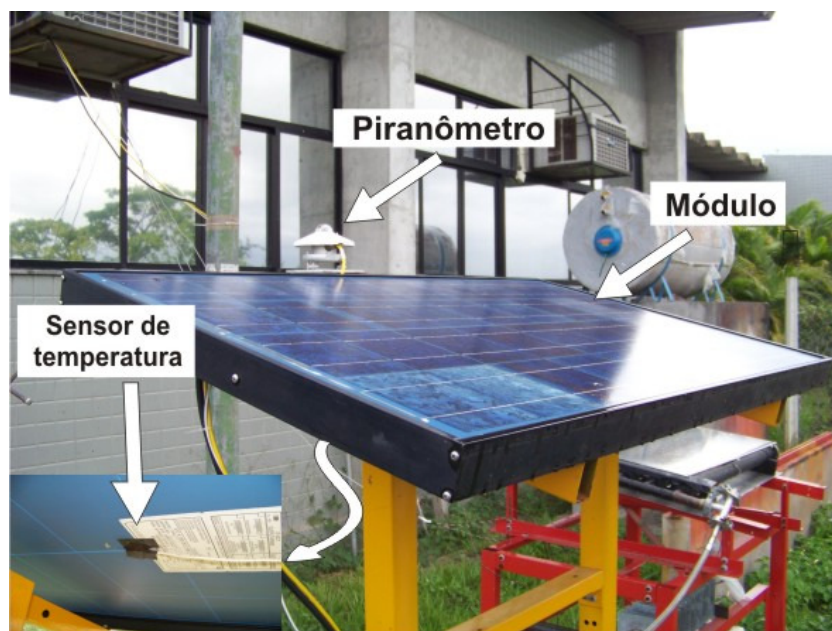


Figura 5- Aparato experimental com detalhe (diagonal inferior esquerda) do sensor de temperatura.

A aquisição de dados é realizada por um sistema autônomo Nomad 2 (secondwind) com o auxílio de uma eletrônica de amplificação de sinal com a finalidade de colocar tais sinais na faixa de leitura do nomad 2, vide Fig. 6.

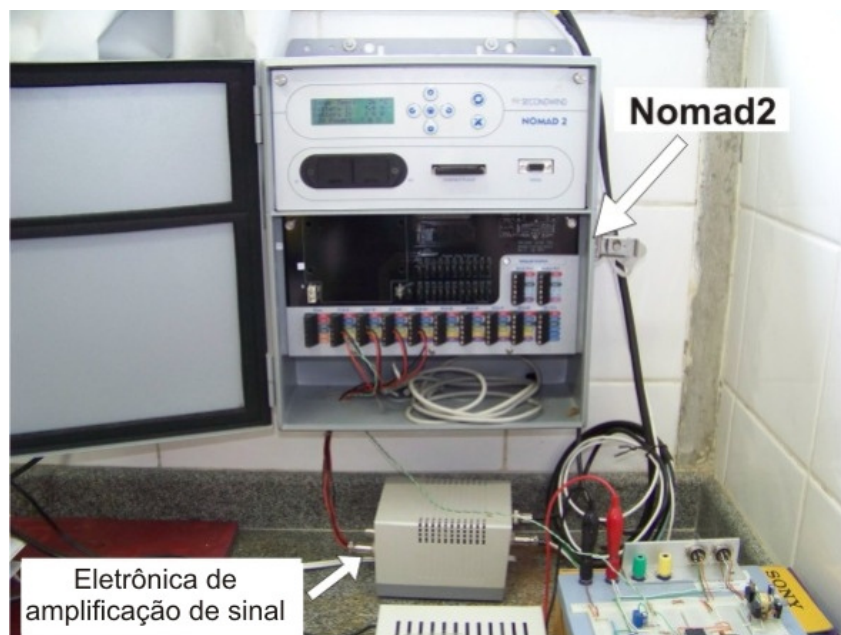


Figura 6- Sistemas de amplificação e aquisição de sinal dos instrumentos

3. MODELO FOTOVOLTAICO

O efeito fotovoltaico ocorre em materiais semicondutores. Consiste na transição de elétrons da banda de valência para a banda de condução, quando excitados por fótons com energia suficiente. A otimização do efeito é realizada inserindo dopantes no semicondutor, no intuito de criar um campo elétrico que possa gerar corrente, caracterizando uma junção *p-n*. Para o silício, os dopantes mais utilizados para a criação das zonas *p* (excesso de cargas positivas) e *n* (excesso de cargas negativas) são respectivamente o Boro e Fósforo. A Fig. 7 apresenta um corte transversal de uma célula de silício. (Castro, 2004; Storch, 2004)

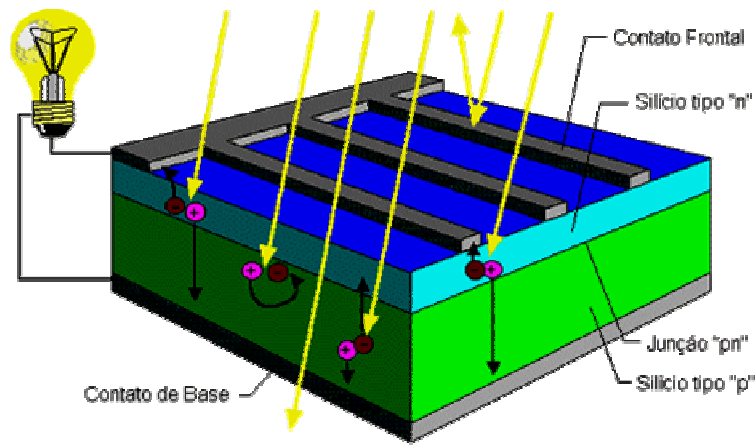


Figura 7- Esquema de uma junção pn de uma célula FV de silício. Fonte: (Souza, 2007).

O circuito equivalente de uma célula fotovoltaica seria:

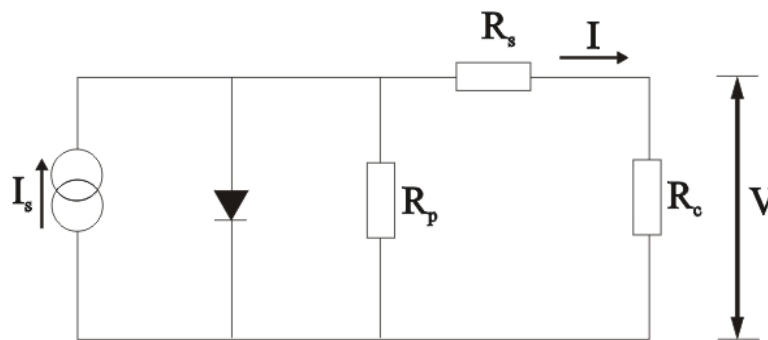


Figura 8- Circuito elétrico equivalente de uma célula fotovoltaica alimentando uma carga R_c .

O modelo matemático que descreve o comportamento da célula fotovoltaica em termos da corrente (I) que atravessa a carga R_c é:

$$I = I_s - I_0 \left(e^{\frac{V + IR_s}{mV_T}} - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_p}, \quad (6)$$

onde I_s é a corrente gerada pela célula devido à iluminação (A), I_0 é a corrente inversa máxima de saturação do diodo (A), V é a tensão nos terminais da célula (V), R_s a resistência em série (Ω), m o fator de idealidade do diodo, R_p a resistência em paralelo (Ω) e V_T o potencial térmico (V) ($V_T = kT/e$; e é a carga do elétron ($1,6 \times 10^{-19}$ C)).

Segundo (Mota *et al*, 2005), o modelo de quatro parâmetros (que trata $R_p \rightarrow \infty$, tendo assim como parâmetros m , R_s , I_0 , e I_s) é o mais adequado para células de silício mono e policristalino, como é o caso do módulo em análise. Desta forma, Adotou-se o modelo de quatro parâmetros para a análise nesse trabalho.

A determinação dos parâmetros m , R_s , I_0 , e I_s , como trazido em (Soto, 2004; Mota *et al*, 2005; Phang *et al*, 1984), é feita pela análise do comportamento de circuito aberto, curto-circuito e potência máxima da célula em condições de referência. O módulo utilizado neste trabalho trazia informações de potência máxima para duas condições de referência, como pôde ser visto na (Tab. 1). Assim, resolvendo simultaneamente o sistema de equações:

$$0 = I_{sr} - I_{0r} \left(e^{\frac{V_{ca}}{mV_T}} - 1 \right), \quad (7)$$

$$I_{pmr} = I_{sr} - I_{0r} \left(e^{\frac{V_{pmr} + I_{pmr}R_s}{mV_T}} - 1 \right), \quad (8)$$

$$I_{pmr'} = I_{sr'} - I_{0r'} \left(e^{\frac{V_{pmr'} + I_{pmr'} R_{s'}}{m' V_T'}} - 1 \right), \quad (9)$$

onde o índice r considera os parâmetros em condição de referência e r' parâmetros na segunda condição de referência. E, com base nas seguintes condições:

$$I_{sr} = I_{ccr}, \quad (10)$$

$$I_0 = I_{0r} \left(\frac{T_c}{T_{cr}} \right)^3, \quad (11)$$

$$I_s = I_{sr} \left(\frac{G}{G_r} \right), \quad (12)$$

onde G é a irradiância (W/m²), os parâmetros podem ser determinados para que se possa traçar a curva teórica do comportamento da célula.

Para um módulo fotovoltaico, o fator de idealidade do diodo é múltiplo do número de células em série (N_s), assim, inserindo a correção para o módulo e, para simplificar, faremos:

$$a = N_s m V_T, \quad (13)$$

onde:

$$a = a_r \left(\frac{T_c}{T_{cr}} \right). \quad (14)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os quatro parâmetros que compõem o modelo do módulo em análise encontrados são apresentados na Tab. 3:

Tabela 3: Resultado dos parâmetros que compõem o modelo do módulo para as condições de referência.

| Parâmetros | I _s | I ₀ | R _s | a |
|------------|----------------|---------------------------|---------------------------|------|
| Resultados | 4,88 A | 1,03 x 10 ⁻⁴ A | 2,72 x 10 ⁻² Ω | 0,95 |

A calibração do módulo foi realizada durante seis dias subseqüentes ao ar livre, submetido à insolação direta e difusa. Os dados analisados foram adquiridos no intervalo de 6h às 18h de cada dia. A análise das leituras simultâneas de irradiância com o piranômetro e corrente com o módulo (Fig. 9) permitiu a obtenção da sensibilidade do painel.

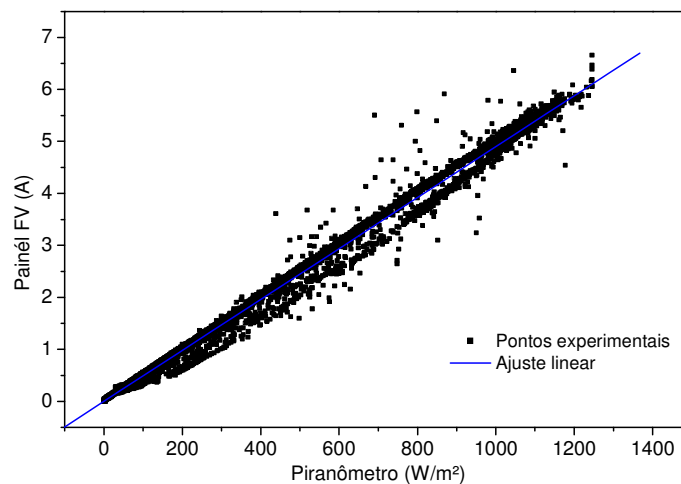


Figura 9- Curva de calibração do módulo fotovoltaico com utilização do piranômetro calibrado CM21

O coeficiente angular da reta de ajuste, que é justamente a sensibilidade do módulo (S_m) calibrado com o CM21 encontrado foi:

$$S_m = (4,900 \pm 0.007) \times 10^{-3} \text{ A/W/m}^2 \tag{15}$$

Assim, a energia medida pelo módulo é:

$$E_m = \frac{I}{S_m} \tag{16}$$

Dois dias representativos foram analisados: 2 de março de 2008 (céu nublado) e 5 de março de 2008 (céu claro).

A curva do modelo foi obtida a partir dos dados da Tab. 3 substituídos na Eq. 1, levando em consideração as características dinâmicas dos parâmetros I_0 , I_s , e a , abordadas nas Eq. 11, Eq. 12 e Eq.14, respectivamente. Os dados da temperatura do módulo e irradiância foram medidos simultaneamente com a corrente. As curvas da corrente experimental e do modelo para o módulo são apresentadas na Fig 10.

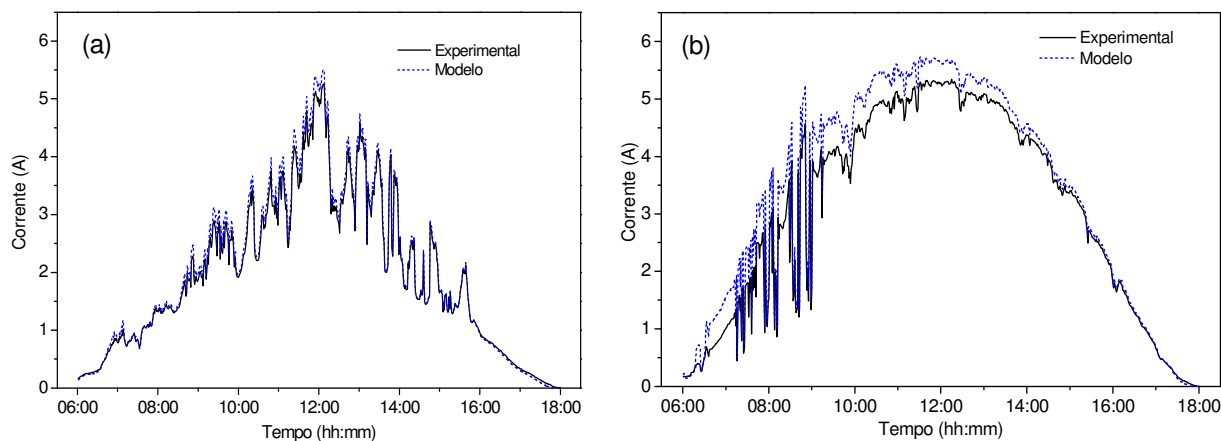


Figura 10- Curvas da corrente do módulo (modelo e experimental): (a) dia nublado, (b) dia claro

Com base na Eq. 16 e nos dados de corrente do módulo, as curvas de irradiância foram construídas. Fig. 11

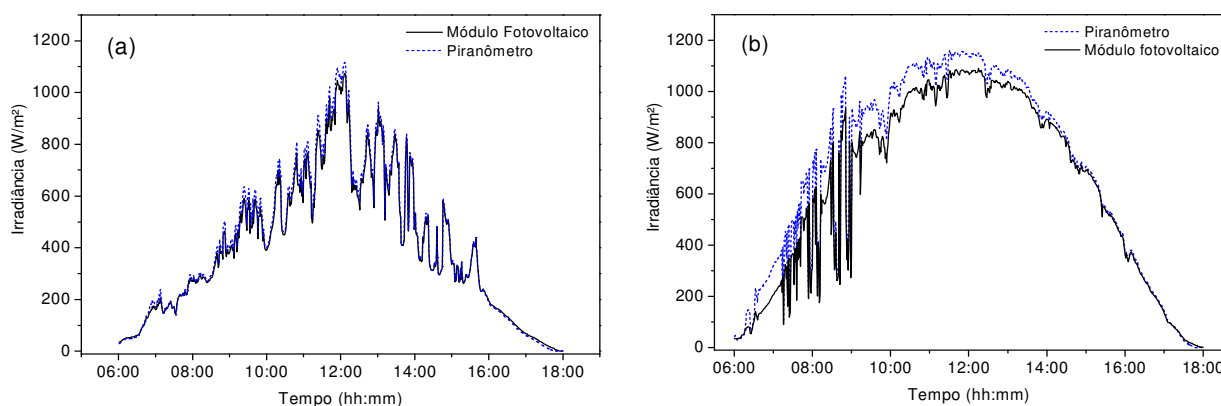


Figura 11- Curvas das leituras de irradiância solar do piranômetro de referência e módulo: (a) dia nublado, (b) dia claro

A evolução da temperatura do módulo FV durante os dois dias é mostrada na Fig 12.

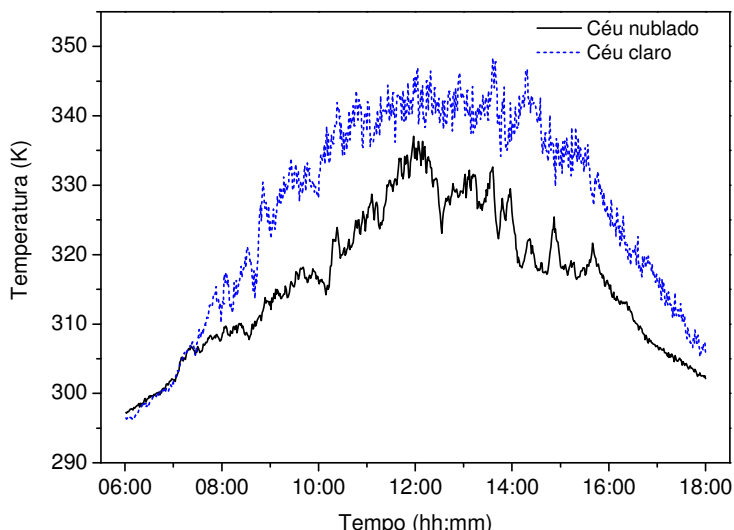


Figura 12- Temperatura do módulo FV durante os dias representativos analisados.

Para intensidades de radiação muito baixas, no início e fim do dia, a leitura feita pelo nomad 2 se encontrava na ordem do fundo de escala do equipamento. Desta forma, a análise estatística das discrepâncias entre as curvas apresentadas nas Fig. 10 e 11 foram realizadas para dados compreendidos no intervalo das 6h30min às 17h30min.

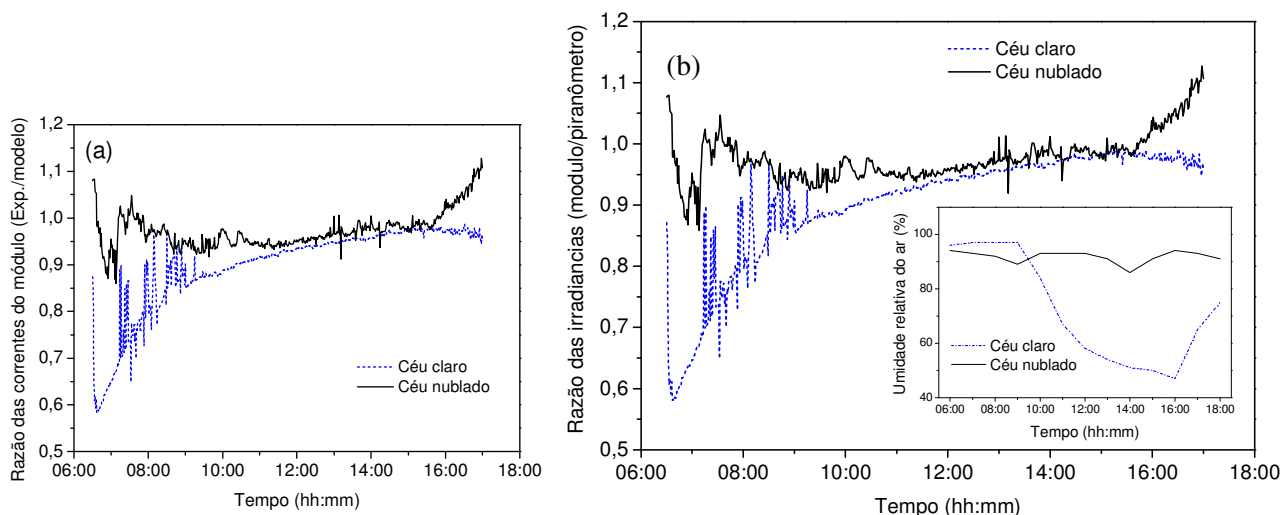


Figura 13- Curvas de análise das discrepâncias com valor esperado 1 (um). (a) Razão das correntes do módulo (experimental/modelo) , (b) Razão das leituras de irradiância (módulo/piranômetro) e evolução da umidade relativa do ar para os dois dias das 6h as 18h.

Tabela 4. Discrepâncias das curvas apresentadas nas Fig. 10 e Fig. 11

| Período | Correntes | | | | Irradiância | | | |
|----------|-----------|--------|-------------|--------|-------------|--------|-------------|--------|
| | Céu Claro | | Céu Nublado | | Céu Claro | | Céu Nublado | |
| | Média | Máxima | Média | Máxima | Média | Máxima | Média | Máxima |
| Dia Todo | 10,2% | 41,7% | 4,1% | 14,0% | 9,6% | 41,9% | 3,8% | 14,1% |
| Manhã | 15,8% | 41,7% | 4,8% | 14,0% | 15,4% | 41,9% | 4,5% | 14,1% |
| Tarde | 3,9% | 6,8% | 3,2% | 12,7% | 3,1% | 6,1% | 2,9% | 12,7% |

Como pôde ser percebido na Fig. 3, as absorções, devidas ao vapor de água, têm grande influência no espectro solar, principalmente na região do infravermelho próximo ao visível (0,8 a 1,2 μm) que compreende a zona de pico e

melhor resposta do silício. Desta forma, levando em consideração os dados de umidade relativa do ar, fornecidos pelo INMET (INMET, 2008), Fig. 13-(b), é coerente a presença das maiores discrepâncias durante a manhã do dia com céu claro. Ao longo do dia, com a queda da umidade relativa do ar, as curvas de irradiância do módulo FV e do piranômetro vão se aproximando até, praticamente, se equiparar (Fig.13-(b)). Como a curva do modelo utiliza-se dos dados de irradiância lidos com o piranômetro, a proximidade entre a estatística das correntes e irradiâncias já era esperada. Trabalhos publicados (Bird, 1986) mostram que, com o aumento de massa de ar, a irradiância espectral solar tende a diminuir mais significativamente dentro do espectro visível ($\sim 0,4$ a $0,7 \mu\text{m}$) do que no infravermelho próximo, configurando um espectro privilegiado para o módulo em relação ao piranômetro. Tais efeitos podem ser observados para o dia nublado que apresentou erros médios, nas leituras de corrente e irradiância do módulo, no entorno de 4%, se comparado para o dia claro, com erros médios na ordem de 10%. A influência da temperatura foi insignificante, dentro do modelo proposto, sabendo que o este não trata da dependência da corrente gerada pela célula, devido à iluminação (I_s). Entretanto, como trazido por (Bühler, 2007), o coeficiente desta variação apresenta valores típicos para o silício de $0,06\%^\circ\text{C}^{-1}$, caracterizando uma influência muito fraca, mesmo para variações na ordem de 50°C .

As somas de energia lidas pelo piranômetro e pelo módulo FV para o dia nublado foram: 4.94 kWh/m^2 e 4.80 kWh/m^2 , respectivamente. O erro relativo percentual da leitura do módulo FV, em relação ao piranômetro, foi de 2.83%. Para o dia claro, as leituras de energia foram: 8.08 e 7.46 kWh/m^2 para o piranômetro e módulo, respectivamente e o erro de 7,67%. Tais resultados evidenciam que o potencial útil à conversão fotovoltaica difere um pouco do que é lido pelos instrumentos, geralmente, utilizados na aquisição de dados solarimétricos. Essa diferença torna-se mais significativa em regiões mais úmidas; desta forma, a obtenção de dados precisos acerca do potencial útil à conversão FV, que interfere diretamente nas perspectivas de aplicação de sistemas elétricos solares FV, encontra-se associada com a utilização de radiômetros que funcionem com o mesmo princípio, onde, a finalidade é o crescimento e otimização do aproveitamento da energia solar e o resultado trará benefícios a todo o ecossistema terrestre.

REFERÊNCIAS

- Bernstein, L *et al*, 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report, In: XXVII Intergovernmental Panel on Climate Change Plenary, Valencia.
- Bird, R.E., and Riordan, C., 1986. Simple Solar Spectral Model for Direct and Diffuse Irradiance on Horizontal and Tilted Planes at the Earth's Surface for Cloudless Atmospheres, *J. Appl. Meteor.*, V 25, pp 87–97.
- Bühler, A. J., 2007. Determinação de Parâmetros Fotovoltaicos a Partir de Ensaio de Curvas Características sem Iluminação, Tese de Mestrado, PROMEC, UFGRS, Porto Alegre.
- Castro, R., 2004. Introdução à Energia Fotovoltaica, DEEC / Secção de Energia, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.
- Greenpeace and EPIA, 2007. Solar Generation 4, Bruselas.
- Grupo de Trabalho de Energia Solar (CRESECB e CEPEL), 2004. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, CRESECB, Rio de Janeiro.
- INMET, 2008. Consulta Dados da Estação Automática: Feira de Santana – Ba (Dados disponíveis no site: <http://www.inmet.gov.br/sonabra/maps/automaticas.php>)
- Lima, A. A., 2008. Construção de uma Geladeira Solar a Adsorção do Álcool e Carvão Ativado. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Física, UEFS, Feira de Santana.
- Martins, F. R. *et al.*, 2007. Mapeamento dos recursos de Energia Solar no Brasil Utilizando Modelo de Transferência Radiativa BRASIL-SR, In: I Congresso Brasileiro de Energia Solar, Fortaleza.
- MARTINS, F. R. PEREIRA, E. B. ABREU, S. L. e RUTHER, R., 2006. Atlas Brasileiro de Energia Solar, São José dos Campos - INPE.
- Mota, N. Vilarinho, V. Cláudio, N. Margato, Rodrigues, E. F. S., 2005. Validação Experimental de Modelos de Células Fotovoltaicas, In: 9th Spanish Portuguese Congress On Electrical Engineering, Marbella.
- Palz, W., 1981. Energia Solar e Fontes Alternativas, Hemus Livraria e Editora Ltda.
- Phang J. C. H. Chan D. S. H. Philips J. R., 1984. Accurate analytical method for the extraction of solar-cell model parameters. *Electron Lett*, 20(10):406–18.
- Soto, W. D., 2004. Improved and Validation of Model for Photovoltaic Array Performance, Tese de Mestrado, Solar Energy Laboratory, University Wisconsin, Madison.
- Souza, J. V. D., 2007. Contribuições em Solarimetria para a Composição de uma Rede Baiana de Radiômetros. Trabalho de Conclusão de Curso, Escola Politécnica, UFBA, Salvador.
- Storch, A., 2004. Irradiance Sensors for Solar Systems, In: 14th Symposium on Solar Thermal Energy, Bad Staffelstein.
- Tiba, C. Fraidenraich, N. Moszkowicz, M. Cavalcanti, E. S. C. Lyra, F. J. M. Nogueira, A. M. B. e Grossi, H. G., 2001. Atlas Solarimétrico do Brasil, Editora Universitária – UFPE, Recife.
- Tiwari, G. N., 2002. Solar Energy, Narosa Publishing House.

IMPLEMENTATION OF A SILICON MODULE TO MEASURES THE USEFUL SOLAR POTENTIAL FOR PHOTOVOLTAIC CONVERSION

Abstract. *The growth of the energetic demand on the planet, unassociated of a policy that considers inherent environmental impacts became a cause of concern. The negative environmental impacts of the use of fossil fuels as energy source refer to a rise of the researches in renewable and clean energies. Gathering these characteristics we get to solar energy. However, the perspectives of electric-solar (photovoltaic) systems application depends of the solar potential analysis of the region where it intends to apply. The found data do not represent precisely the useful solar potential to the silicon photovoltaic conversion, present semiconductor in 97% of the solar cells commercially available. The implementation of silicon photovoltaic radiometers appears as an effective solution. Published articles already shows the efficiency of these instruments and at this work are shown the differences on the solar potential reads between the instruments usually used and the instruments that work in the silicon photovoltaic principle. The influence of the relative air humidity shown itself significant to the clear sky day, where the medial discrepancies to the whole day were of 10% with maximum getting 41,7% at the period where the air relative humidity was higher. To the cloudy day, the discrepancies were of 4% where, the air mass on these conditions allows a more propitious irradiance to the reading of the PV module. The errors above 5% on the daily energy calculation, confirm the need of the use of this radiometer modality, when it has in sight, measures of solar potential that can generate electric energy.*

Key words: *Photovoltaic Silicon Cells, Radiometers, Solar Energy, Instrumentation*