

ANÁLISE DE CURVAS CARACTERÍSTICAS SEM ILUMINAÇÃO COMO FERRAMENTA PARA DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS FOTOVOLTAICOS.

A. J. Bühler, A. Krenzinger

Laboratório de Energia Solar – Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) Rua Sarmento Leite, 425 CEP 90050-170, Porto Alegre – RS - Brasil
Tel. 55 (51)-3316-6841 e-mail: ajbuhler@gmail.com

RESUMO: Com o crescente aumento no uso da energia solar fotovoltaica, tanto em eletrificação rural quanto em sistemas conectados à rede, torna-se cada vez mais importante uma completa e confiável caracterização dos módulos. Para a caracterização do desempenho elétrico de um módulo fotovoltaico, é fundamental a determinação da curva característica de corrente pela tensão ($I-V$), bem como dos parâmetros que caracterizam o comportamento desta curva em diferentes condições. Analisando o circuito equivalente de um módulo fotovoltaico, bem como das equações que governam seu comportamento, é possível observar que alguns destes parâmetros podem ser determinados a partir de curvas sem iluminação. O presente trabalho apresenta um método simples para a determinação da corrente de saturação reversa e do fator de idealidade do diodo a partir de curvas características no escuro. O método proposto apresenta bons resultados, com a grande vantagem de não apresentar dependência das condições climáticas.

Palavras chave: Módulos fotovoltaicos, parâmetros fotovoltaicos, curva característica.

INTRODUÇÃO

Para uma completa caracterização de um módulo fotovoltaico é necessária a determinação da curva característica ($I-V$) de corrente e tensão, uma vez que esta fornece importantes informações sobre o desempenho elétrico do módulo e dados como a corrente de curto circuito (I_{SC}), a tensão de circuito aberto (V_{OC}) e o ponto de máxima potência. Outros parâmetros, tais como a resistência série (R_S), resistência paralela (R_P), fator de idealidade do diodo (m), e corrente de saturação reversa do diodo (I_0) também podem ser determinados através de uma ou mais curvas características por diferentes métodos. Outros coeficientes muito importantes para a caracterização de uma célula e ou módulo fotovoltaico são o coeficiente de variação da corrente de curto circuito com a temperatura (α), o coeficiente de variação da tensão de circuito aberto com a temperatura (β) e o de variação da potência máxima (γ) com a temperatura, uma vez que são fundamentais para a correção da curva característica ($I-V$) das condições medidas para a condição padrão de ensaio ($G = 1000 \text{ W/m}^2$, $AM = 1,5$ e $T = 25^\circ\text{C}$) que está estabelecida pela Norma Técnica, NBR – 12136 (ABNT, 1991a).

Analisando as equações que governam o comportamento elétrico do módulo fotovoltaico, é possível verificar que alguns coeficientes podem ser determinados através de ensaios sem iluminação. Medidas no escuro de curvas ($I-V$) em módulos fotovoltaicos tem sido utilizadas para a determinação de diversos parâmetros necessários para a caracterização elétrica dos mesmos, Hussein *et al.* (2001); Kaminski *et al.* (1998); King *et al.* (1997a). No entanto é importante ressaltar que as medidas no escuro não fornecem nenhuma informação sobre a corrente de curto circuito uma vez que ela é dependente da iluminação variando linearmente com a mesma.

A determinação de coeficientes e parâmetros elétricos de um módulo no escuro apresenta importantes vantagens perante os métodos que fazem uso da luz solar, Kaminski *et al.* (1997). Uma vantagem importante das medidas no escuro é a possibilidade de medição de um conjunto de módulos com melhor controle de temperatura do que na exposição à luz. Para um conjunto de módulos, medir sua curva característica sob exposição à luz apresenta sérias dificuldades quanto ao controle da temperatura. Por outro lado, medições que dependam da variação de temperatura em um módulo ou célula precisam de um bom isolamento térmico, uma vez que isto influencia fortemente os resultados, King *et al.* (1997b).

Medidas sob exposição à luz natural apresentam um alto grau de dependência das condições climáticas. Torna-se difícil a repetibilidade de determinadas medições, uma vez que estas dependem de parâmetros externos como velocidade do vento ou irradiância solar e estes podem variar muito de um ensaio para outro ou mesmo durante as medidas.

O presente trabalho destina-se à análise de algumas diferenças existentes entre as curvas características de diferentes módulos quando obtidas sob exposição à radiação solar e quando no escuro. Dentro desta análise é proposto um método para a determinação do fator de idealidade e da corrente de saturação reversa de um módulo, esta última como função da temperatura. Para o estudo do comportamento elétrico do módulo é adotado o modelo de um diodo.

O CIRCUITO ELÉTRICO EQUIVALENTE DE UMA CÉLULA

Considerando uma célula fotovoltaica de silício monocristalino ou policristalino, o que representa a grande maioria das células empregadas em aplicações comerciais deste tipo de energia, o circuito elétrico equivalente pode ser representado basicamente por um gerador de corrente acoplado a um diodo e dois resistores, um em série e o outro em paralelo. A figura 1 representa o circuito equivalente, onde o gerador de corrente representa a corrente elétrica fotogerada pela célula, o diodo representa a junção PN e as resistências representam as perdas de corrente e tensão da célula.

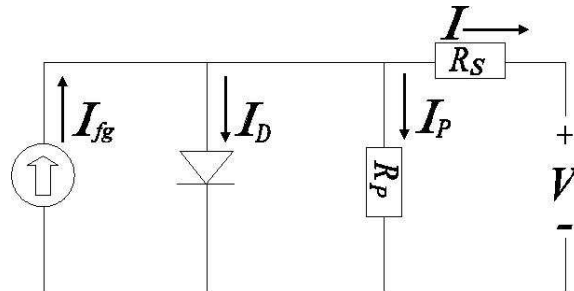


Figura 1: Circuito equivalente de uma célula fotovoltaica.

Observando o circuito equivalente apresentado na figura 1, obtém-se a equação que descreve a corrente elétrica fornecida por uma célula, a uma dada temperatura e exposta a uma determinada irradiância, em função da tensão de seus terminais, Equação (1):

$$I = I_{fg} - I_D - I_P \quad (1)$$

sendo I_{fg} a corrente fotogerada, I_D a corrente elétrica do diodo e I_P a corrente que circula pela resistência paralela. Quando a célula está em curto circuito, as correntes do diodo e da resistência paralela praticamente se anulam e, assim, se assume que a corrente fotogerada seja igual à corrente de curto circuito (I_{SC}). A mesma equação pode ser escrita conforme a Equação (2):

$$I = I_{SC} - I_o \left[\exp\left(\frac{V + IR_s}{V_T}\right) - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_p} \quad (2)$$

onde, I_o é a corrente de saturação reversa, $V_T = mK_B T/e$, e é a carga do elétron, m é o fator de idealidade, K_B é a constante de Boltzmann, T é a temperatura, V é a tensão, R_s é a resistência série, R_p a resistência paralela e I_{SC} é a corrente de curto circuito.

No caso dos módulos fotovoltaicos, considerando pequenas alterações, tanto o circuito equivalente quanto as equações descritas acima são válidas, uma vez que os módulos são associações de células. Tais associações, na grande maioria dos módulos usados em aplicações fotovoltaicas, são feitas de maneira a ligar os terminais das células em série o que faz da tensão do módulo ser um somatório das tensões de cada célula, sendo $V_T = N_S mK_B T/e$ onde N_S é o número de células em série e agora R_s e R_p representam as resistências série e paralela do módulo completo.

CURVA CARACTERÍSTICA DE UM MÓDULO FOTOVOLTAICO

Para o estudo do desempenho elétrico de um módulo é necessário que se conheça a forma como a corrente elétrica, fornecida pelo mesmo quando exposto à luz, varia com a tensão entre seus terminais. Assim, faz-se necessário um conjunto de pontos (I, V) desde valores menores do que corrente de curto circuito até valores maiores do que a tensão de circuito aberto. Estes pontos podem ser obtidos aplicando uma carga variável ao módulo ou aplicando uma tensão também variável, monitorando assim a corrente para cada valor de tensão, Prieb (2002).

De acordo com a norma IEC 904-1 (IEC,1987), as medidas sob iluminação requerem condições estáveis de irradiância com flutuações inferiores a 1% e valor superior a 800W/m². As temperaturas da célula de referência e do dispositivo em teste precisam ser conhecidas, uniformes e estáveis durante a medida dos pontos da curva característica. Segundo a norma NBR-12136 (ABNT, 1991a), é recomendado que, caso seja difícil ou pouco prático controlar as temperaturas (célula de referência e dispositivo em ensaio), sejam cobertos de maneira que suas temperaturas entrem em equilíbrio com a temperatura do meio. Logo após retirada a cobertura procedem-se as medições.

Da mesma forma é possível determinar a curva característica de um módulo sem iluminação, utilizando uma fonte de tensão ou corrente para polarizar o módulo. Para a determinação de curvas características a diferentes temperaturas, é possível fazer uso da corrente elétrica direta, que ao ser dissipada pelo módulo aquece o mesmo. Este método permite uma boa uniformidade no aquecimento do módulo, o que em situação contrária, afetaria a curva característica bem como dos parâmetros fotovoltaicos, (Andrade e Krenzinger, 2004). A figura 2 mostra um conjunto de curvas, determinadas sem iluminação, de um mesmo módulo em diferentes temperaturas.

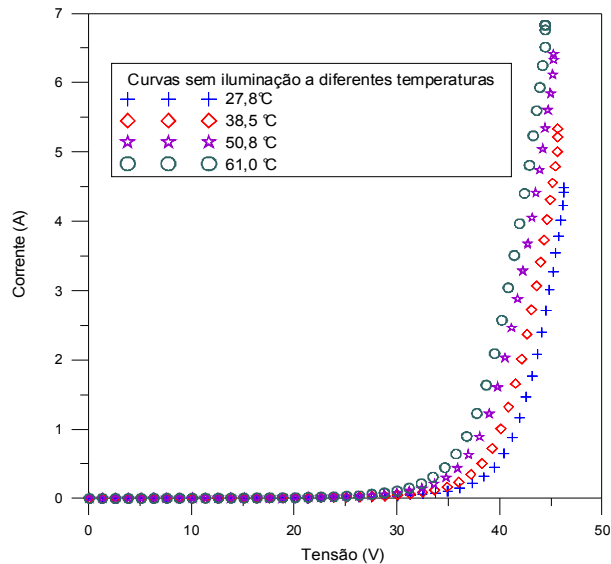


Figura 2: Curvas de um módulo de 100 W com tensão nominal de 24 V medidas sem iluminação em diferentes temperaturas.

As células fotovoltaicas são, em essência, diodos de junção PN de grande área. Tanto um diodo quanto uma célula, e conseqüentemente um módulo, apresentam uma variação da tensão com a temperatura. Essa variação não tem dependência com a iluminação, podendo ser portanto, também evidenciada em curvas no escuro.

COMPARAÇÃO ENTRE CURVAS CARACTERÍSTICAS COM E SEM ILUMINAÇÃO

Para o estudo do comportamento de uma curva ($I-V$) sem iluminação, o circuito elétrico equivalente sofre algumas mudanças em relação ao circuito de uma célula exposta à luz. Uma vez que a corrente elétrica que gera a tensão no módulo é injetada no mesmo, seu sentido passa a ser contrário ao que teria quando há corrente fotogerada. Desta forma chega-se ao circuito equivalente mostrado na figura 3.

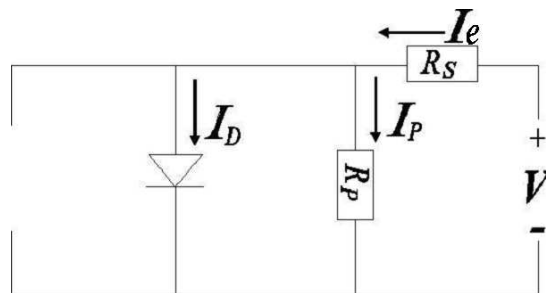


Figura 3: Circuito equivalente de uma célula fotovoltaica sem iluminação e com corrente injetada.

Partindo da Equação (2) e fazendo as devidas considerações para um módulo sem iluminação chega-se a Equação (3), mantendo a convenção do sentido da corrente da figura 1:

$$I_e = -I_o \left[\exp\left(\frac{V - I_e R_s}{V_T}\right) - 1 \right] - \frac{V - I_e R_s}{R_p} \quad (3)$$

A figura 4 apresenta as curvas de um módulo de silício monocristalino de 100 W com tensão nominal de 24 V da marca Isofoton, com e sem iluminação, determinadas à mesma temperatura. Para o módulo iluminado os pontos de tensão e corrente foram medidos com uma irradiância média da ordem de 980 W/m². Posteriormente os valores de corrente foram corrigidos para a condição de 1 kW/m² de irradiância somando a cada valor medido a diferença encontrada entre a corrente de curto circuito a 980 W/m² e a 1kW/m². Ambas as curvas foram determinadas após a temperatura do módulo, com e sem iluminação, estabilizar em aproximadamente 25°C.

Quando a temperatura do módulo é a mesma, variando apenas a irradiância solar, a correção da curva de uma condição para outra é obtida deslocando todos os pontos da curva uma quantidade ΔI que corresponde à diferença entre as correntes de curto circuito de cada condição. Como conseqüência, a tensão de circuito aberto se modifica proporcionalmente ao logaritmo da irradiância solar. Os valores de tensão para cada ponto da curva também se deslocam uma quantidade $\Delta I \cdot R_s$ de acordo com as equações de correção apresentadas na norma NBR – 12302, (ABNT, 1991b).

Somando o valor de I_{SC} a cada valor de corrente da curva medida no escuro, obtêm-se os pontos transladados apresentados na figura 5. Observa-se uma defasagem na tensão de circuito aberto, denotada por ΔV na figura.

Se a condição de circuito aberto ($I=0$, $V=V_{OC}$) for aplicada na Equação (2) obtêm-se a Equação (4). Por outro lado, ao fazer a translação da curva medida no escuro, apenas somando o valor de I_{SC} a cada ponto na Equação (3) e ainda aplicando a condição de circuito aberto, obtêm-se a Equação (5), onde V_e é a tensão obtida no escuro para a corrente aplicada igual a I_{SC} .

$$0 = I_{SC} - I_0 \left[\exp\left(\frac{V_{OC}}{V_T}\right) - 1 \right] - \frac{V_{OC}}{R_p} \quad (4)$$

$$0 = I_{SC} - I_0 \left[\exp\left(\frac{V_e - I_{SC}R_s}{V_T}\right) - 1 \right] - \frac{V_e - I_{SC}R_s}{R_p} \quad (5)$$

Da comparação entre as Equações (4) e (5) fica evidente que $V_e - I_{SC}R_s = V_{OC}$, ou, usando a notação $\Delta V = V_e - V_{OC}$:

$$R_s = \frac{\Delta V}{I_{SC}} \quad (6)$$

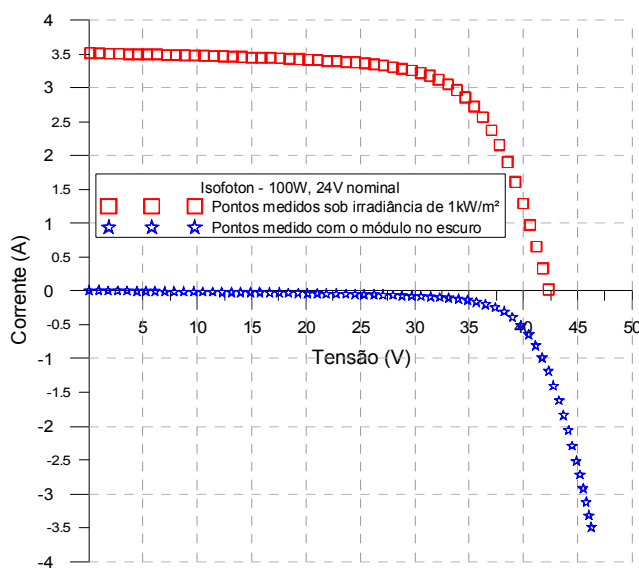


Figura 4: Curvas de um módulo de 100 W com tensão nominal de 24V medidas com e sem iluminação.

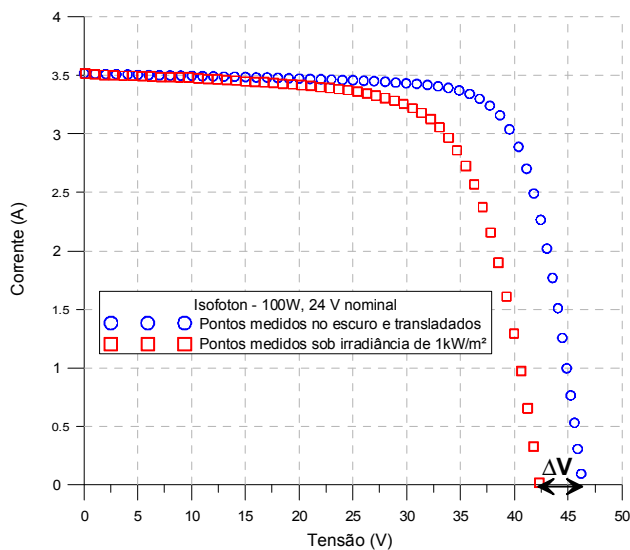


Figura 5: Curvas do mesmo módulo com os pontos medidos no escuro transladados.

A partir das curvas apresentadas na figura 5 é possível obter uma estimativa do valor da resistência série deste módulo. A diferença as tensões (ΔV), apresentada na figura 5 pode ser atribuída principalmente a influência de R_s . Isto acontece uma vez que, para a curva determinada sob iluminação, a tensão de circuito aberto não tem influência de R_s , já que a corrente é nula.

MÉTODO PROPOSTO PARA A DETERMINAÇÃO DE I_0 E m ATRAVÉS DE CURVAS NO ESCURO

Analisando a Equação (3) e considerando que a influência da resistência paralela, na região de aumento da corrente é pequena, especialmente quando R_p é muito maior que $V-IR_s$, a curva pode ser representada por:

$$I = I_o \left[\exp\left(\frac{(V - IR_s)}{V_T}\right) - 1 \right] \quad (7)$$

como I é muito maior que I_0 , aplicando logaritmo, tem-se:

$$\ln I = \ln I_o + \frac{V - IR_s}{V_T} \quad (8)$$

Dessa forma, selecionando a parte de interesse da curva $\ln I$ versus $(V-IR_s)$ obtém-se, por regressão linear, os valores de $\ln I_0$ e V_T e conseqüentemente o valor de I_0 e m .

Para a determinação destes parâmetros foi adotada a seguinte metodologia:

Primeiramente é traçada uma curva característica do módulo do qual se pretende determinar I_0 e m sob irradiância solar o mais próxima possível de 1 kW/m² (superior a 900W/m²). Posteriormente os valores de I e V são então corrigidos desta irradiância para a condição de 1 kW/m² seguindo o mesmo procedimento descrito anteriormente. Para o mesmo módulo é traçada uma curva sem iluminação com a mesma temperatura na qual foi obtida a anterior e então superpostas as curvas. Da Equação (5) se obtém uma estimativa para o valor de R_s . São então traçadas curvas sem iluminação em temperaturas diferentes e para cada uma delas é gerado um gráfico $\ln I$ versus $(V-IR_s)$. De cada gráfico é selecionada uma região para a qual é feita uma regressão linear e daí obtidos, por meio da Equação (8), os valores de I_0 e m . Para a seleção desta região segue-se os seguintes passos:

- 1 – a partir de cada conjunto de pontos (I, V) medidos no escuro a uma determinada temperatura, são calculados os valores de potência da cura transladada pela soma do valor de I_{SC} .
- 2 – dos valores de potência anteriormente calculados, é escolhido o de máxima potência;
- 3 – a seguir é tomado o valor de $V-IR_s$ correspondente àquele valor de potência;
- 4 – por fim é selecionada a região na curva $\ln I$ versus $(V-IR_s)$ compreendida pelos 10 pontos adjacentes ao ponto selecionado, cinco na direção de maior tensão e cinco na direção de menor tensão.

As curvas determinadas sem iluminação são obtidas com o módulo coberto por um material opaco de maneira que a tensão de circuito aberto do módulo seja nula. Para as medidas dos pontos (I, V), com e sem iluminação, foram usados multímetros da marca Hewlett-Packard modelo 34401A. A resolução das medidas é 10 μ V para tensão e o tempo de varredura dos pontos é da ordem de 2 segundos. Para a polarização do módulo, a fim de se obter um conjunto de pontos com corrente variável, foi utilizada uma fonte bipolar da marca Kepco BOP 50-8M, que tem a possibilidade de fornecer ao módulo tensões de -50 V a 50 V e correntes de -8 A a 8 A, Prieb (2002).

Para os ensaios feitos com o módulo iluminado, a radiação solar é usada tanto para a polarização do módulo quanto para seu aquecimento. Todas as medidas são feitas com uma velocidade do vento inferior a 1 m/s e irradiância superior a 900 W/m². A célula de referência é fixada junto ao módulo em teste de maneira a apresentar a mesma inclinação que este em relação a incidência dos raios solares.

Em todos os ensaios sem iluminação as medidas são realizadas com o módulo termicamente isolado, tanto na parte de trás, quanto nas laterais e na parte da frente. As medidas de temperatura são feitas com um sensor Pt 100 que é fixado na parte de trás do módulo com o auxílio de uma pasta térmica a fim de garantir um bom contato entre o sensor e o Tedlar. A temperatura medida pelo sensor é assumida como uma média da temperatura do módulo. A resolução das medidas de temperatura é de 0,1°C. Para o aquecimento do módulo faz-se circular pelo mesmo uma corrente elétrica da ordem de 2 A a fim de se obter um regime de aquecimento lento, o que diminui a diferença entre o valor medido e a temperatura real das células. O aquecimento é feito com o módulo na horizontal, a fim de evitar efeitos de convecção que poderiam afetar a uniformidade da temperatura do mesmo.

A figura 6 mostra, para um módulo sem iluminação, as curvas $I-V$, $\ln I$ versus $(V-IR_s)$ e a regressão linear para a região de interesse na determinação de I_0 e m .

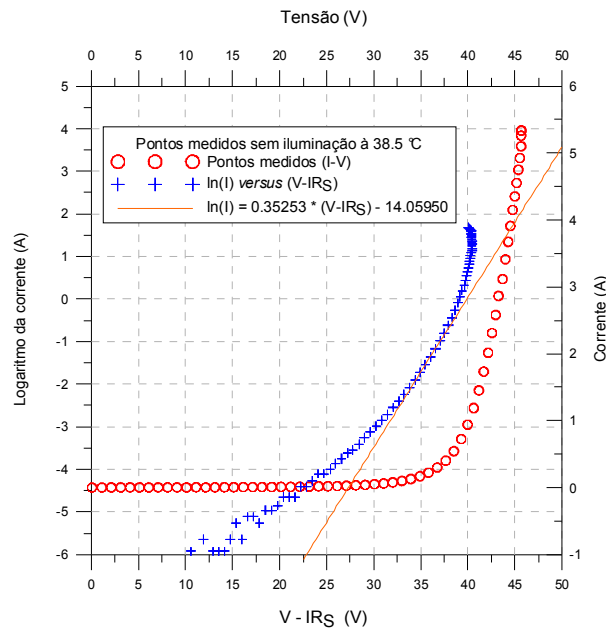


Figura 6: Curvas determinadas a partir de ensaio sem iluminação e para temperatura de 38,5 °C.

RESULTADOS OBTIDOS

Utilizando curvas para um mesmo módulo a diferentes temperaturas, foram obtidos diferentes valores para a corrente de saturação reversa do diodo. É sabido que a variação de I_0 com a temperatura não é linear, sendo que os resultados obtidos mostram para uma faixa de temperatura aplicável a um módulo fotovoltaico em operação, que essa variação pode ser assumida como exponencial. Para uma variação de temperatura de aproximadamente 30°C a 60°C, a corrente de saturação reversa apresentou variações da ordem de 4 vezes. Por outro lado o fator de idealidade, assumido como constante com a temperatura, apresentou variações menores do que 6 % do valor médio entre as curvas de diferentes temperaturas. Isto pode ser atribuído às imprecisões nas medidas e também possivelmente ao critério de seleção da região de interesse na curva $\ln I$ versus $(V-IR_S)$.

A figura abaixo mostra a variação de $\ln I_0$ com a temperatura, bem como os valores de m calculados a partir das diferentes curvas de um mesmo módulo.

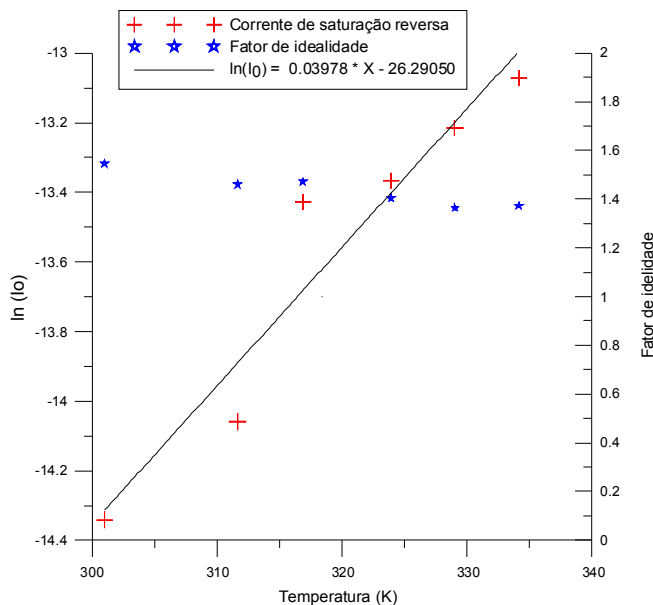


Figura 7: Pontos medidos de $\ln(I_0)$ e m , para diferentes temperaturas de um módulo de 100 W de silício monocristalino.

Para o módulo testado foi encontrada a equação de ajuste $\ln(I_0) = 0,03978 * T - 26,29050$, onde a temperatura é medida na escala absoluta. O valor médio de m encontrado foi de 1,39.

A fim de verificar a aplicabilidade dos parâmetros, estes foram usados para elaboração de uma curva teórica à temperatura de 49,8°C. Para esta mesma temperatura foram medidos pontos com o módulo exposto a uma irradiância próxima de 1 kW/m². Posteriormente os pontos medidos foram corrigidos para a irradiância de 1 kW/m² e então foi feita uma superposição com a curva teórica. A figura 8 mostra a superposição dos pontos medidos sob iluminação natural com a curva teórica calculada segundo os parâmetros encontrados neste trabalho.

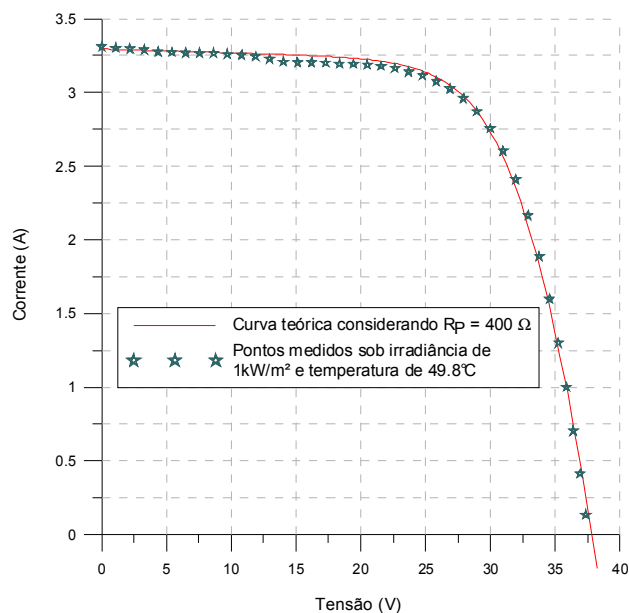


Figura 8: Pontos medidos e calculados para um módulo de silício monocristalino de 100 W de potência e 24 V de tensão nominal na temperatura de 49,8°C.

Os resultados da figura 8 mostram boa concordância, no entanto verifica-se que pequenas mudanças no valor de I_0 podem causar significativas deformações na forma da curva. O valor da resistência paralela adotada para a curva teórica foi estimado a partir de outros métodos analíticos que não serão aqui apresentados, visto que este não é o enfoque do presente trabalho.

CONCLUSÕES

A não dependência das condições, climáticas por si, traz vantagens para a caracterização dos módulos, pois mesmo que alguns procedimentos possam ser mais complexos ou exijam mais ensaios, os mesmos podem ser feitos a qualquer hora do dia.

As curvas características feitas sem iluminação, mesmo não apresentando o mesmo formato do que quando medidas sob iluminação, fornecem informações importantes sobre a performance elétrica do módulo, uma vez que diversos parâmetros elétricos não dependem da iluminação. Uma alternativa para trabalhos futuros seria a determinação de outros parâmetros como a resistência paralela e o coeficiente de variação da tensão de circuito aberto com a temperatura através de curvas (I - V) medidas no escuro.

Para a determinação das curvas características, a técnica adotada para o aquecimento dos módulos mostrou-se bastante confiável quanto à homogeneidade da temperatura do módulo como um todo.

Conclui-se através deste trabalho que através do método proposto é possível a determinação do fator de idealidade e da corrente de saturação reversa do diodo de maneira que tais valores possam ser plenamente aplicados nas equações que descrevem o comportamento elétrico dos módulos.

A determinação de uma equação para a variação de I_0 com a temperatura apresentou uma relação exponencial entre os mesmos. No entanto foi verificado que pequenas mudanças no valor de I_0 podem causar significativas alterações na forma da curva. O desvio médio dos valores obtidos para o fator de idealidade foram da ordem de 6 % não apresentando qualquer tendência de variação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e da ELETROBRÁS.

REFERÊNCIAS

- Andrade A. C. e Krenzinger A. (2004). Efeito da distribuição de temperatura sobre a curva característica de módulos fotovoltaicos. XII Congreso Ibérico y VII Congreso Ibero Americano de Energia Solar, 14–18 Vigo, España.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (1991a). NBR12136 Módulos fotovoltaicos – Determinação de características fotoelétricas, Rio de Janeiro.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (1991b). NBR12302 Módulos fotovoltaicos – Correção das curvas características corrente *versus* tensão ($I \times V$), em função da temperatura e radiação, Rio de Janeiro.
- Hussein R., Borchert D., Grabosch G. and Fahrner W. R. (2001). Dark I–V–T measurements and characteristics of (n) a-Si/(p) c-Si heterojunction solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 69, 2, 123-129.
- IEC, International Electrotechnical Commission (1987). IEC 904-1 Photovoltaic devices – Measurement of Photovoltaic current-voltage characteristics.
- Kaminski A., Marchand J. J., Fave A. and Laugier A. (1997). New Method of Parameters Extraction from Dark I-V Curve. 26th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, September 29 – October 3, Anaheim, CA.
- Kaminski A., Marchand J. J. and Laugier A. (1998). Non Ideal dark I-V curves behavior of silicon solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 51, 221-231.
- King D.L., Hansen B. R., Kratochvil J. A. and Quintana M. A. (1997a). Dark Current-Voltage Measurements on Photovoltaic Modules as a Diagnostic or Manufacturing Tool. 26th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, September 29 – October 3, Anaheim, CA.
- King D.L., Kratochvil J. A., and Boyson W. E. (1997b). Temperature Coefficients for PV Modules and Arrays: Measurement Methods, Difficulties and Results. 26th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, September 29 – October 3, Anaheim, CA.
- Prieb C.W.M. (2002). Desenvolvimento de um Sistema de Ensaio de Módulos Fotovoltaicos. Dissertação de Mestrado. PROMEC/UFRGS, Porto Alegre RS.

ABSTRACT

The number of photovoltaic solar energy installations is increasing for different applications, from stand-alone to grid-connected plants. Thus, it is important to completely and accurately characterize PV modules. In order to characterize the electrical performance of a photovoltaic module is indispensable to determine the current-voltage characteristic curve ($I-V$), as well as to determine the parameters required to transpose this curve to any climatic condition. Analyzing the photovoltaic module equivalent circuit and the equations that govern its electrical behavior, we noted that some of these parameters can be obtained from the characteristic curves determined under dark conditions. This work presents a simple method to determine the reverse diode saturation current and the diode ideality factor from dark characteristic curves. The proposed method shows good agreement with experimental data and the advantage of its independence with climatic conditions.

Keywords: Photovoltaic module, photovoltaic parameters and $I-V$ characteristic curve.