

DETERMINAÇÃO DE COEFICIENTES FOTOVOLTAICOS SOB AUSÊNCIA DE ILUMINAÇÃO

¹ Alexandre José Bühler – ajbuhler@gmail.com

^{1,2} Luis Horácio Vera – lh_vera@yahoo.com.ar

¹ Arno Krenzinger – arno@mecanica.ufrgs.br

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Mecânica

² Universidad Nacional del Nordeste, Departamento de Ingeniería Mecánica

3.3 Módulos Fotovoltaicos

Resumo. Com o crescente aumento na demanda de sistemas fotovoltaicos no mundo, torna-se cada vez mais importante uma correta e eficaz caracterização de módulos fotovoltaicos. A caracterização elétrica dos módulos fotovoltaicos passa pela determinação da curva $I-V$ nas condições padrão e por outros parâmetros, que permitem qualificar o módulo e avaliar seu desempenho em diferentes condições de operação. Dentre estes parâmetros estão a resistência série (R_S), resistência paralela (R_P), corrente de saturação reversa (I_0) e o fator de idealidade do diodo (m). Convencionalmente a determinação destes parâmetros exige vários ensaios sob iluminação natural o que torna os procedimentos extremamente dependentes das condições climáticas. Trabalhando com as equações que regem o comportamento de um gerador fotovoltaico, é possível verificar que esses parâmetros podem ser determinados sem a necessidade de iluminação. Este trabalho apresenta os resultados da pesquisa realizada no Laboratório de Energia Solar da UFRGS para a determinação de I_0 , m e R_S para módulos fotovoltaicos de silício policristalino e monocristalino obtidas através de curvas características no escuro.

Palavras-chave: Curva característica, módulo fotovoltaico, parâmetros fotovoltaicos.

1. INTRODUÇÃO

Com o crescente aumento da utilização de sistemas fotovoltaicos pelo mundo torna-se cada vez mais importante uma completa e eficaz caracterização dos mesmos. Para a análise do desempenho elétrico de um módulo fotovoltaico é imprescindível a determinação da curva ($I-V$) de corrente e tensão denominada curva característica. Através desta curva é possível obter importantes informações sobre as características elétricas do gerador fotovoltaico como a corrente de curto circuito (I_{SC}), a tensão de circuito aberto (V_{OC}) e o ponto de máxima potência (P_M). A determinação desta curva, segundo a norma NBR – 12136 (ABNT, 1991a), deve ser realizada dentro de condições específicas de temperatura e irradiação denominada condição padrão de ensaio ($G = 1000 \text{ W/m}^2$, $AM = 1,5$ e $T = 25^\circ\text{C}$). Fora da condição padrão, que muitas vezes é difícil de ser alcançada, a curva precisa ser corrigida e aí se faz necessário o conhecimento de outros parâmetros, dentre os quais citam-se a resistência série (R_S), resistência paralela (R_P), fator de idealidade do diodo (m), e corrente de saturação reversa do diodo (I_0), além dos coeficientes térmicos (α) e (β) que correspondem a variação da corrente de curto circuito e da tensão de circuito aberto com a temperatura respectivamente.

A determinação destes parâmetros muitas vezes exige inúmeros ensaios com iluminação natural e temperatura controlada e, como muitos parâmetros atuam simultaneamente, torna-se difícil o isolamento da influência de cada um. Dessa forma, ensaios no escuro passam a ser uma interessante alternativa para a determinação de diversos parâmetros fotovoltaicos (Kaminski *et al.*, 1997).

Ensaio sem iluminação têm sido utilizados por diversos laboratórios do mundo por apresentar importantes vantagens perante medidas sob iluminação natural, como por exemplo a não

dependência das condições climáticas e uma maior sensibilidade na determinação de alguns parâmetros (King *et al.*, 1997; Hussein *et al.*, 2001). Pesquisas com curvas no escuro realizadas no Laboratório de Energia Solar da UFRGS têm sido realizadas para a determinação do fator de idealidade do diodo e da corrente de saturação reversa, esta última como função da temperatura (Bühler e Krenzinger, 2006). Os resultados obtidos foram aplicados nas equações que descrevem o comportamento elétrico do módulo. Além de mostrar este método, o presente trabalho propõe a determinação da resistência série para módulos fotovoltaicos de silício monocristalino e policristalino através de um método bastante simples que faz uso de uma curva medida sob iluminação e outra no escuro.

A determinação de R_S é de considerável importância na avaliação do desempenho elétrico do módulo uma vez que afeta o fator de forma da curva ($I-V$) e pode causar considerável diminuição no ponto de máxima potência (Kunz e Wagner, 2004).

2. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Foram testados módulos de silício monocristalino e um de silício policristalino de diferentes marcas e diferentes configurações. Para que se pudesse verificar os resultados obtidos para R_S , como será posteriormente melhor explicado, foram testados dois módulos, um deles da marca Isofotón de 100 W de potência e 24 V de tensão nominal, contendo um total de 72 células conectadas em série, e o outro da marca Siemens com 65 W de potência e 12 V de tensão nominal com um total de 36 células em série.

Para a determinação dos parâmetros do módulo segundo o método proposto neste trabalho, fazem-se necessárias duas curvas características, uma determinada sob uma irradiância próxima possível de 1 kW/m² e temperatura próxima da temperatura ambiente e a outra determinada sem iluminação. A determinação da curva sob iluminação é necessária uma vez que as medidas realizadas no escuro não fornecem nenhuma informação sobre a corrente de curto-circuito. As temperaturas nas quais são determinadas as curvas com e sem iluminação devem ser as mesmas.

As medidas no escuro são obtidas com o módulo coberto por um material opaco de maneira que a tensão de circuito aberto do mesmo 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. A corrente foi medida com uso de um resistor shunt, classe de precisão de 0,5%. 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 modelo 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. Já para o aquecimento do módulo quando nos ensaios no escuro, faz-se circular pelo mesmo uma corrente elétrica da ordem de 2 A a fim de se obter um regime de aquecimento lento, para minimizar a diferença entre o valor medido pelo sensor e a temperatura real das células. Para a medição da temperatura dos módulos, tanto nos ensaios no escuro quanto nos ensaios sob irradiância solar, foi fixado um sensor Pt100 na parte de trás sobre o tedlar em uma célula central, cuja temperatura é assumida como a média da temperatura do módulo. Todas as medidas são feitas com uma velocidade do vento inferior a 1 m/s.

Para a determinação de R_S segundo a norma, os procedimentos adotados seguiram rigorosamente os passos indicados pela mesma.

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

Para a determinação destes parâmetros foi adotada a metodologia apresentada por Bühler e Krenzinger (2006), descrita a seguir:

Considerando o modelo exponencial, o comportamento elétrico de um módulo fotovoltaico pode ser descrito pela Eq.(1):

$$I = I_{FG} - I_0 \left[\exp\left(\frac{V + IR_S}{V_T}\right) - 1 \right] - \frac{V + IR_S}{R_p} \quad (1)$$

onde, I_0 é a corrente de saturação reversa, $V_T = N_s m K_B T / e$, 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, I_{FG} é a corrente fotogerada e N_s é o número de células conectadas em serie.

Dos parâmetros necessários para a caracterização elétrica de um módulo fotovoltaico, com exceção da corrente fotogerada e de curto circuito, todos podem ser assumidos como independentes da irradiância incidente. Sendo assim a determinação de diversos parâmetros no escuro podem oferecer resultados tão bons quanto os métodos que fazem uso da exposição à luz solar e, muitas vezes, até mais confiáveis, uma vez que o controle das variáveis envolvidas nos ensaios é mais fácil de ser realizado.

Partindo da Eq. (1) e fazendo as devidas considerações para um módulo não iluminado chega-se a Eq. (2) que descreve a curva (I - V) quando determinada no escuro.

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{V - IR_S}{V_T}\right) - 1 \right] + \frac{V - IR_S}{R_p} \quad (2)$$

Analisando a Eq. (2) e considerando que, para correntes próximas às de curto circuito do mesmo módulo quando iluminado, uma vez que R_p é muito maior que $V - IR_S$, a curva pode ser representada por:

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{V - IR_S}{V_T}\right) - 1 \right] \quad (3)$$

para os pontos em que I é muito maior que I_0 , pode-se desprezar o último termo da Eq. (3) e aplicando logaritmo:

$$\ln(I) = \ln(I_0) + \frac{V - IR_S}{V_T} \quad (4)$$

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 os valores de I_0 e m .

3.1 Resultados obtidos com o método proposto para I_0 e m

A Fig. 1. 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 . A análise do gráfico permite então determinar os valores de I_0 e m .

Utilizando curvas para um mesmo módulo determinadas 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.

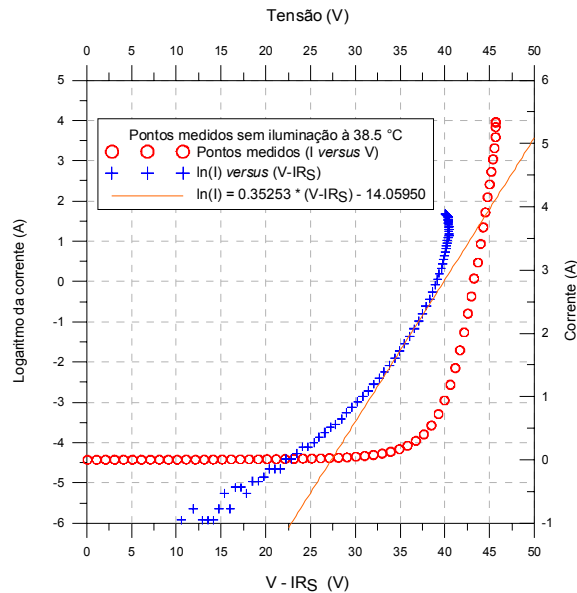


Figura 1- Curvas determinadas a partir de ensaio sem iluminação e para temperatura de 33,2 °C.

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 coeficiente de idealidade, assumido como independente da temperatura, apresentou variações menores do que 6 % do valor médio entre as diferentes curvas medidas. Isto pode ser atribuído às imprecisões nas medidas e também possivelmente ao critério de seleção da região de interesse na curva ($\ln I \times V$).

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 Fig. 2 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.

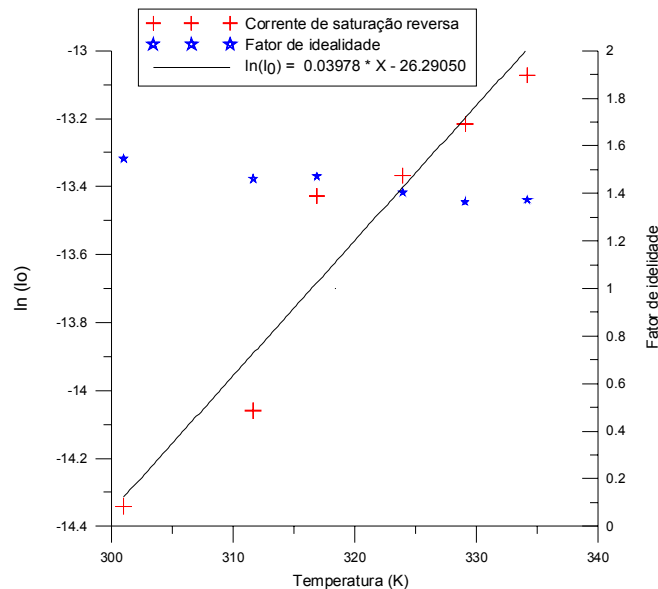


Figura 2 - Pontos medidos de $\ln(I_0)$ e m , para diferentes temperaturas de um módulo de 100 W de silício monocristalino.

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 à uma irradiância da ordem de 950 kW/m². Posteriormente os pontos medidos

foram corrigidos para a irradiância de 1 kW/m^2 e então foi feita uma superposição destes com a curva teórica. A correção dos pontos medidos para a condição de 1 kW/m^2 foi feita da seguinte maneira: 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 consequência, 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 $\Delta I R_S$ de acordo com as equações de correção apresentadas na norma NBR – 12302, (ABNT, 1991b).

A Fig. 3 apresenta a superposição dos pontos medidos sob iluminação natural com a curva teórica calculada segundo os parâmetros encontrados neste trabalho.

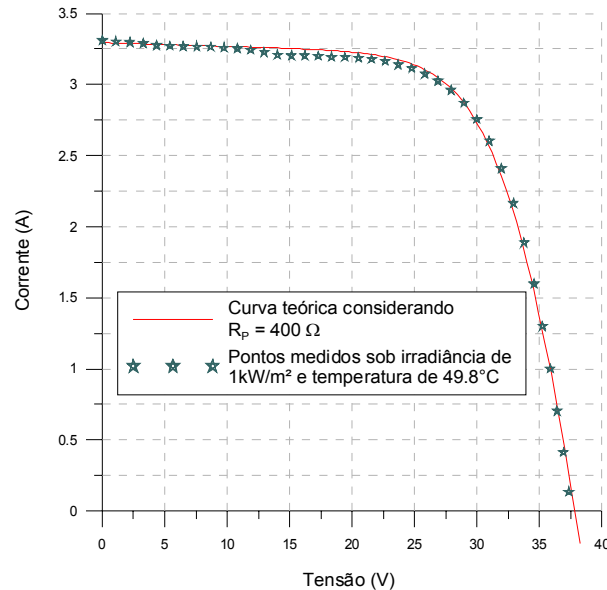


Figura 3 - Pontos medidos e calculados para um módulo de silício monocristalino de 100W de potência e 24 V de tensão nominal na temperatura de $49,8 \text{ }^\circ\text{C}$.

A Fig. 3 mostra uma boa relação entre os pontos medidos e a curva teórica criada a partir dos parâmetros encontrados com o método que foi aqui proposto. 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 estimada a partir de outros métodos analíticos que não serão aqui apresentados visto que este não é o enfoque do trabalho.

4. DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA SÉRIE

Existem diversos métodos para a determinação da resistência série de um módulo fotovoltaico. Apresentam-se a seguir uma explanação sobre o método proposto neste trabalho e de mais dois métodos utilizados para comparar os resultados encontrados.

4.1 Determinação de R_S no escuro.

A Fig. 4 apresenta as curvas, para um módulo de silício monocristalino determinadas com e sem iluminação. No caso da curva determinada sem iluminação, cada valor medido de corrente foi somado de I_{SC} transladando assim a mesma.

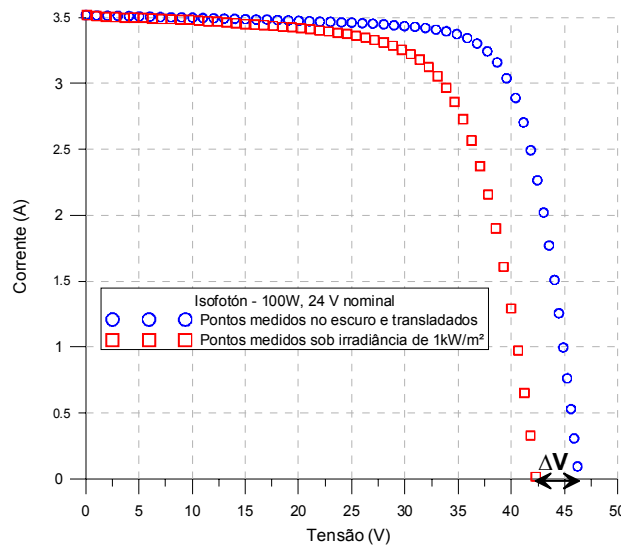


Figura 4 – Curvas características de um módulo de silício monocristalino de 100 W de potência e 24 V de tensão nominal determinadas com e sem iluminação.

Como já demonstrado por Bühler e Krenzinger (2006), a diferença entre V_{OC} e a tensão correspondente à I_{SC} do mesmo módulo à mesma temperatura no escuro pode ser atribuída principalmente ao efeito da resistência série. Desta forma chega-se a Eq. (5):

$$R_s = \frac{\Delta V}{I_{SC}} \quad (5)$$

A Eq. (5) possibilita um método bastante simples para a determinação de R_s com importantes vantagens perante outros. Métodos analíticos geralmente necessitam de estimativas do valor de alguns parâmetros como m , α e β . Por outro lado a metodologia estabelecida pela norma é extremamente sensível a escolha do ponto de referência para o qual é calculado R_s . Além disso a norma estabelece que devem ser determinadas três curvas com mesmo espectro, mesma temperatura mas diferentes irradiações e isto muitas vezes é difícil de ser obtido.

4.2 Método da Pendente

A curva característica de módulo é bastante linear na região onde a tensão é igual à de circuito aberto e pode-se demonstrar que sua inclinação é fortemente dependente do valor de R_s .

Sendo a e b os coeficientes linear e angular da reta $I = bV + a$, onde I é a corrente e V é a tensão, e considerando que a corrente fotogerada é aproximadamente igual à I_{SC} , chega-se à Eq. (6), conforme Krenzinger e Prieb (2005):

$$R_s = -\frac{1}{b} - \frac{V_T}{I_{SC}} \quad (6)$$

Para a determinação de R_s segundo este método faz-se necessário o conhecimento do valor do fator de idealidade uma vez que este está incluso no fator V_T da Eq. (6).

4.3 Método sugerido pela norma NBR – 12136

A determinação da resistência série interna ao módulo, segundo a norma NBR – 12136 (ABNT, 1991a) segue os seguintes passos:

- a) traçar uma curva (I - V) para três valores diferentes de irradiância, mas com a mesma temperatura dentro de uma tolerância de 1°C para mais ou para menos;
- b) escolher um ponto P_1 na curva referente ao maior valor de irradiação correspondente a um valor de tensão ligeiramente maior do que a tensão do ponto de máxima potência;
- c) determinar a diferença entre o valor da corrente do ponto P_1 e o valor da corrente de curto circuito;

$$\Delta I_1 = I_{SC1} - I_{P1} \quad (7)$$

- d) determinar o ponto Q_1 na curva correspondente ao valor intermediário de irradiação, em que a corrente seja igual ao valor da corrente de curto-circuito menos ΔI_1 ;

$$I_{Q1} = I_{SC2} - \Delta I_1 \quad (8)$$

- e) determinar a diferença entre as tensões dos pontos P_1 e Q_1 ;

$$\Delta V_1 = V_{Q1} - V_{P1} \quad (9)$$

- f) calcular o valor da resistência série segundo a Eq. (12):

$$R_{S1} = \frac{\Delta V_1}{I_{P1} - I_{Q1}} = \frac{\Delta V_1}{I_{SC1} - I_{SC2}} \quad (10)$$

- g) repetir os passos de b) até f) tomando pontos entre as curvas correspondentes ao maior e ao menor valor de irradiação e determinar R_{S2} ;
- h) repetir os passos de b) até f) tomando pontos entre as curvas correspondentes ao valor intermediário e ao menor valor de irradiância e determinar R_{S3} ;
- i) calcular o valor médio entre R_{S1} , R_{S2} e R_{S3} que é o valor da resistência série do módulo.

$$R_S = \frac{R_{S1} + R_{S2} + R_{S3}}{3} \quad (11)$$

4.4 Resultados obtidos para R_S com o método proposto

Foram testados seis módulos de diferentes marcas e diferentes configurações, cinco deles de silício monocristalino e um de silício policristalino. A Fig. 5 apresenta os resultados obtidos na determinação de R_S para dois destes módulos os quais apresentam as seguintes configurações: módulo da marca Siemens de 36 células de silício monocristalino de 65 W de potência e 12 V de tensão nominal e módulo da marca Isofotón de 72 células de silício monocristalino de 100 W de potência e 24 V de tensão nominal. Para estes dois módulos foram aplicados o método proposto para a determinação da resistência série além do método da pendente e do método da norma.

A fim de verificar a coerência dos resultados obtidos segundo o método proposto para a determinação de R_S no escuro, foi realizada a seguinte metodologia:

Para os mesmos módulos apresentados na Fig 5. foram acrescentados resistores em série, previamente testados a fim de garantir que o valor de suas resistências não variasse significativamente ao longo das medidas de corrente e tensão. Foram acrescentados resistores de $0,364 \Omega$, $0,746 \Omega$ e $1,11 \Omega$.

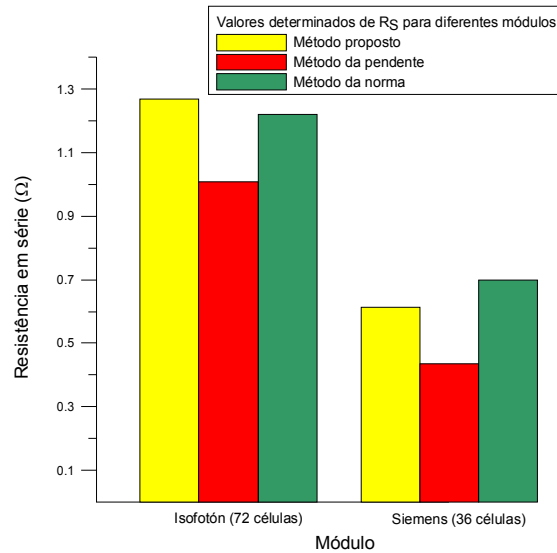


Figura 5 – Valores de R_S determinados para dois módulos de diferentes configurações através do método proposto, do método da pendente e da norma.

Para estes dois módulos foi aplicado o método de determinação de R_S no escuro, em situações diferentes, cada uma acrescentando um resistor em série com os terminais dos módulos. A Fig. 6 apresenta o efeito causado pelo incremento dos resistores nas curvas ($I-V$) determinadas sob iluminação (a) e para as curvas determinadas no escuro (b).

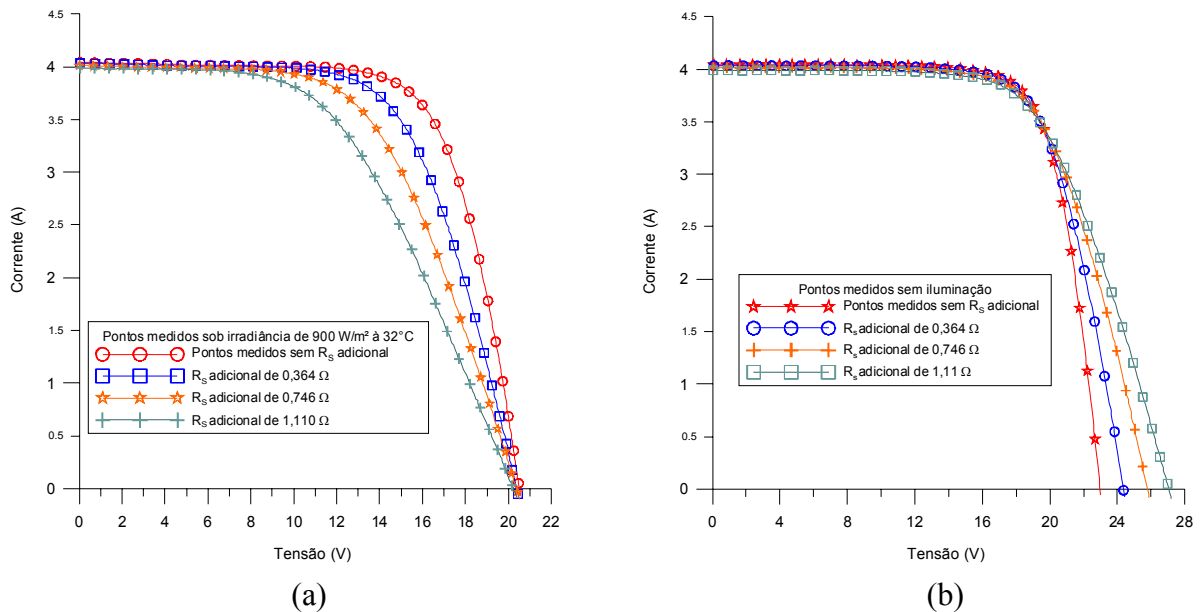


Figura 6- Curvas características determinadas sob iluminação natural (a) e sem iluminação (b) para um módulo de silício monocristalino de 65 W de potência e 12 V de tensão nominal com diferentes resistores acrescentados em série.

Para fins de comparação a manipulação com estes resistores foi também aplicada no método da pendente. A Fig. 7(a) apresenta os resultados encontrados, para o módulo da marca Isofotón, através da manipulação das resistências para o método proposto e da pendente. A Fig. 7(b) apresenta a relação entre o incremento de R_S medido em função dos diferentes resistores acrescentados em série com os terminais do módulo, também para os métodos proposto e da pendente.

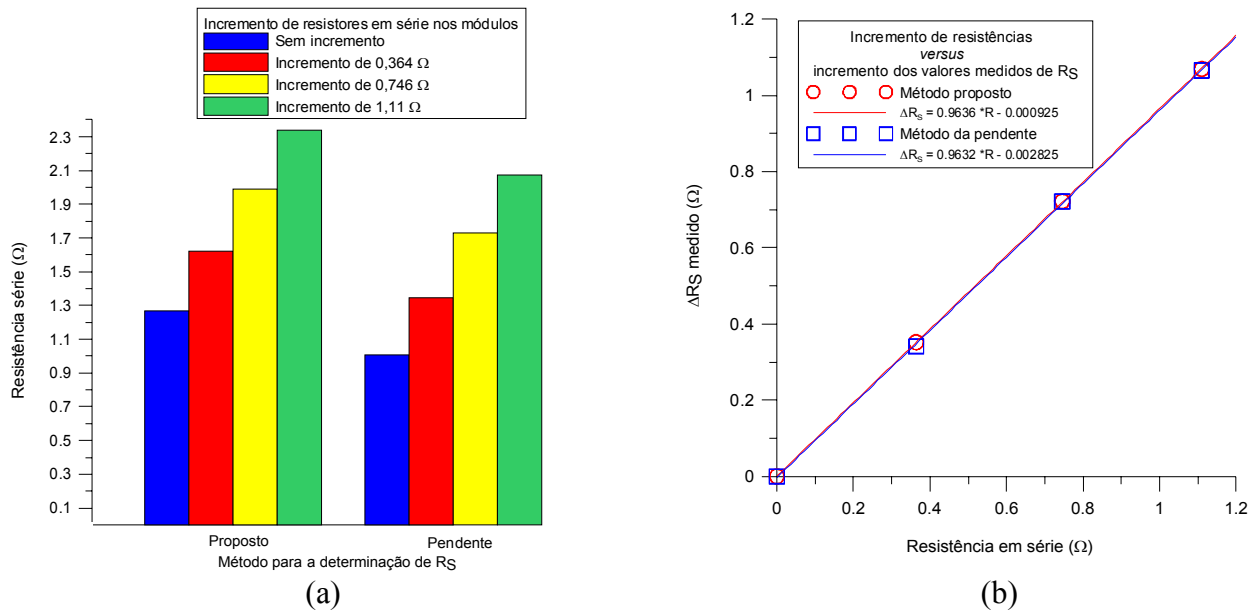


Figura 7 – Valores determinados de R_S para um módulo de silício monocristalino de 65 W de potência e 12 V de tensão nominal através do incremento de resistores em série(a) e relação entre o incremento de R_S medido com as resistências acrescentadas (b).

Através da Fig.7(a) nota-se que os valores determinados de R_S apresentaram uma diferença da ordem de 20% entre o método proposto e o da pendente para o módulo em teste. Por outro lado a Fig. 7(b) apresenta uma correlação muito parecida para estes dois métodos quanto a sensibilidade do incremento de resistência medido em função dos resistores acrescentados ao módulo. A diferença entre os métodos quanto a variação de R_S frente ao incremento dos resistores foi inferior a 0,5 %.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos para a resistência série, quando testados através do incremento de resistências em série com o módulo, podem ser considerados muito bons, uma vez que apresentaram um desvio da ordem de 2 % entre os valores medidos e os preditos.

Através da comparação com o método da pendente foi possível verificar uma boa coerência dos resultados obtidos por este método e pelo proposto neste trabalho. A sensibilidade de ambos os métodos quanto ao incremento dos diferentes resistores se mostrou muito parecida, inferior a 0,5 % entre os métodos da pendente e da norma. Por outro lado, os valores medidos de R_S para um mesmo módulo apresentaram diferenças de até 20 %.

Métodos analíticos geralmente necessitam de estimativas do valor de alguns parâmetros como m , α e β . Por outro lado a metodologia estabelecida pela norma é extremamente sensível a escolha do ponto de referência para o qual é calculado R_S . Além disto a norma estabelece que devem ser determinadas três curvas com mesmo espectro.

Tomando como exemplo um módulo de 72 células associadas em série, erros na medição da temperatura da ordem de 1°C não resultam em diferenças maiores do que 4 % nos valores de R_S obtidos.

Foi apresentado um método para determinação de I_0 e m a partir de ensaios com curvas I versus V sem iluminação, além de sua dependência com a temperatura. Os valores encontrados de I_0 , m e R_S foram usados para a elaboração de uma curva teórica, que quando comparada com uma curva determinada sob iluminação natural apresentou boa concordância.

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 deformações 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

- 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.
- Bühler, A. J. e Krenzinger, A., 2006, Análise de curvas características sem iluminação como ferramenta para determinação de parâmetros fotovoltaicos, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, vol. 10.
- Kunz, G. e Wagner, A., 2004, Internal series resistance determined of only IV-curve under illumination, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference, June 7-11, Paris, France.
- 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*, vol. 69, Issue 2 , September, pp. 123-129.
- 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.
- King, D.L., Hansen, B. R., Kratochvil, J. A. and Quintana, M. A., 1997, Dark Current-Voltage Measurements on Photovoltaic Modules as a Diagnostic or Manufacturing Tool, 26th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, September 29 – October 3, Anaheim, CA.
- Krenzinger, A. e Prieb, C. W. M., 2005, Clasificación y selección de módulos fotovoltaicos para una central conectada a la red, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, vol. 9, pp. 19-24.
- 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 in the world. Thus, it is very important the PV modules to be completely and accurately characterized. In order to characterize the electrical performance of a photovoltaic module, it 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. To determinate these parameters, many tests are normally necessary with the photovoltaic module under solar radiation, where several coefficients act simultaneously. Analyzing the equations that govern the electrical behavior of a PV module, we noted that some of these parameters can be obtained from characteristic curves measured under dark conditions. This work presents the results and conclusions obtained from the research developed in the Laboratório de Energia Solar of the Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) for determination of I_0 , m and R_s from characteristic curves measured without lighting.*

Keywords: Characteristic curve, photovoltaic module, photovoltaic parameters.