

# DETERMINAÇÃO DE PROCESSOS PARA LEVANTAMENTO PRÁTICO DAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Jaqueline Oliveira Rezende, Sebastião Camargo Guimarães Júnior  
Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica, NUPEA – Núcleo de Pesquisa e  
Extensão em Energias Alternativas, Uberlândia - MG  
jaqueline.oliveirarezende@gmail.com, scguimaraes@ufu.br

**Resumo** - A energia solar fotovoltaica é uma fonte alternativa de energia muito promissora, a qual converte diretamente a energia solar em energia elétrica. Esta energia é obtida através de painéis fotovoltaicos, os quais são caracterizados por uma curva característica IV que relaciona os valores de corrente elétrica e tensão que o mesmo fornece em determinadas condições ambientais. Este trabalho tem como objetivo determinar um método simples e prático para a obtenção das curvas características, pois com estas é possível dimensionar corretamente a aplicação dos painéis fotovoltaicos e, assim, aumentar a eficiência da energia solar fotovoltaica. Para a determinação dos métodos simples foram realizados ensaios com o painel através de dois métodos distintos com o objetivo de traçar a curva característica com os dados coletados em cada método e comparar os resultados encontrados para analisar se o método proposto apresenta resultados coerentes.

**Palavras-Chave** – Curva característica, energia solar fotovoltaica e fontes alternativas de energia.

## DETERMINATION OF PROCESS FOR SURVEY PRACTICAL OF CHARACTERISTIC CURVE OF PHOTOVOLTAIC PANELS

**Abstract** - Photovoltaic solar energy is an alternative energy source very promising, which directly converts solar energy into electrical energy. This energy utilizes photovoltaic panels, which are characterized by a curve IV relating the values of electrical current and voltage provided under certain environmental conditions, this curve is called a characteristic curve. The objective of this study aims to establish a simple and practical method to obtain the characteristic curves, so that with these curve it is possible to design correctly the application of photovoltaic panels and thus increase the efficiency of the characteristic photovoltaic solar energy. For the determination of the characteristic curve simple tests were performed with the panel by two different methods for the purpose of draw the characteristic curve with the

data collected by each method and compare the results to analyze the proposed method provides consistent results.

**Keywords** - Characteristic curve, photovoltaic solar energy and alternative energy sources.

### I. INTRODUÇÃO

A dependência do homem em relação à energia elétrica é notória, cada vez mais o ser humano necessita utilizar a energia elétrica em suas atividades do dia-a-dia. Dessa forma, o considerável aumento da demanda de energia elétrica deve-se principalmente devido ao constante aumento da população mundial, ao crescimento do poder de compra por grande parte da população, a invenção cada vez maior de equipamentos que necessitam de energia elétrica para funcionarem e a dependência das pessoas com estes novos equipamentos.

Para suprir a demanda de energia elétrica os principais recursos energéticos utilizados atualmente por grande parte da população constituem nos combustíveis fósseis, os quais são o petróleo, o gás natural e o carvão mineral. [1] Estes combustíveis fósseis são utilizados principalmente em usinas termelétricas, as quais contribuem substancialmente com a degradação do meio ambiente. Os principais problemas ambientais causados por essas fontes de energia são a chuva ácida, a destruição da camada de ozônio e a contribuição para o aumento do efeito estufa.

Dessa forma, devido principalmente aos problemas ambientais que as tradicionais fontes de energia causam e a preocupação com o considerável aumento da demanda de energia elétrica as fontes alternativas de energia estão cada vez mais sendo estudadas e empregadas para obter energia sem degradar o meio ambiente. Essas fontes de energia são reconhecidas por utilizarem recursos naturais e inesgotáveis para obtenção de energia elétrica, ou seja, são fontes de energia que praticamente não causam impactos ambientais e não são consideradas fontes finitas, sendo estas renováveis com o tempo.

Uma das fontes alternativas de energia que está sendo amplamente estudada é a energia solar fotovoltaica. A energia solar fotovoltaica utiliza a energia proveniente do sol para a obtenção direta de energia elétrica. Para realizar essa conversão de energia são utilizadas células fotovoltaicas, as quais são constituídas de material semicondutor. Uma única célula fotovoltaica fornece pouca energia sendo que para se conseguir a tensão e corrente elétrica suficientes para alimentar um sistema, é necessário o agrupamento dessas através de ligações em série e em paralelo formando um painel fotovoltaico [2].



X CEEL - ISSN 2178-8308  
24 a 28 de setembro de 2012  
Universidade Federal de Uberlândia - UFU  
Uberlândia - Minas Gerais - Brasil

Os painéis fotovoltaicos são descritos através de suas curvas características, as quais contêm os valores de corrente elétrica e tensão que o painel fornece em determinadas condições de temperatura ambiente e radiação solar. Por meio dessas curvas é possível identificar os valores máximos de corrente, tensão e potência que o painel fotovoltaico fornece. Assim, traçando essas curvas para as condições reais de temperatura ambiente e radiação solar do local onde será instalado o painel é possível determinar os valores de corrente, tensão e potência que o mesmo fornece nessas condições e projetar de maneira correta a sua aplicação.

Dessa forma, as curvas características são de extrema importância para a utilização adequada do painel fotovoltaico, pois traçando as curvas para as condições ambientais do local onde será utilizado o painel fotovoltaico pode-se através destas projetar adequadamente sua instalação contribuindo para aumentar a eficiência da energia solar fotovoltaica. Assim, é necessário que se determine processos para a obtenção das curvas características de forma simples e prática, contribuindo para que as mesmas sejam amplamente utilizadas no projeto da energia solar fotovoltaica.

## II. CARACTERÍSTICAS DO PAINEL FOTOVOLTAICO

O painel fotovoltaico possui como principal característica a sua representação através de circuito equivalente, o qual possibilita através deste determinar equações que descrevem o comportamento elétrico do mesmo. Além disso, uma importante particularidade do painel fotovoltaico são as curvas características, as quais descrevem o desempenho de corrente elétrica e tensão fornecidos pelo painel através de gráficos.

Os valores de tensão e corrente elétrica fornecidos pelos painéis possuem seus valores influenciados de forma direta pela radiação solar e temperatura ambiente. Assim, para uma melhor compreensão das curvas características é necessário compreender como as condições ambientais interferem nos valores de tensão e corrente do painel. A seguir serão detalhadas as principais características dos painéis fotovoltaicos.

### A. Circuito Equivalente

O painel fotovoltaico pode ser representado através de três circuitos equivalentes distintos, os quais são o modelo simplificado, o modelo com duas resistências e o modelo com dois diodos. Cada forma de representar o painel possui suas equações que auxiliam na determinação dos parâmetros que compõem o circuito equivalente. Para realização deste trabalho foi considerado o modelo simplificado e o mesmo pode ser observado na Figura 1.

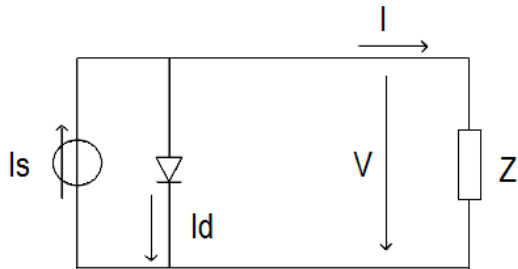


Fig. 1. Circuito equivalente simplificado do painel fotovoltaico.

No circuito equivalente a fonte de corrente  $I_s$  representa a corrente elétrica gerada devido à radiação solar incidente, o diodo corresponde a uma característica do material semicondutor, a corrente  $I$  representa a corrente que o painel fornece, a tensão  $V$  é o valor de tensão que o painel entrega e a impedância  $Z$  corresponde à carga conectada ao painel [3].

As equações para determinar os parâmetros do circuito equivalente do painel fotovoltaico serão descritas a seguir.

$$V_{tr} = \frac{KT_r}{q} \quad [\text{V}] \quad (1)$$

Onde:

$V_{tr}$  - Potencial térmico de referência.

$K$  - Constante de Boltzmann.

$T_r$  - Temperatura absoluta na condição de teste padrão.

$q$  - carga elétrica do elétron

$$V_t = \frac{KT}{q} \quad [\text{V}] \quad (2)$$

Onde:

$V_t$  - Potencial térmico.

$T$  - Temperatura absoluta.

$$m = \frac{V_{\max r} - V_{\text{car}}}{V_{tr} \cdot \ln \left( 1 - \frac{I_{\max r}}{I_{\text{ccr}}} \right)} \quad (3)$$

Onde:

$m$  - Fator de idealidade do diodo.

$V_{\max r}$  - Tensão máxima de referência.

$V_{\text{car}}$  - Tensão de circuito aberto de referência.

$V_{tr}$  - Potencial térmico de referência.

$I_{\max r}$  - Corrente máxima de referência.

$I_{\text{ccr}}$  - Corrente de curto-circuito de referência.

$$m' = \frac{m}{\text{número de células do painel}} \quad (4)$$

Onde:

$m'$  - Fator de idealidade equivalente do diodo.

$m$  - Fator de idealidade do diodo.

$$I_{or} = \frac{I_{\text{ccr}}}{\frac{V_{\text{car}}}{e^{m \cdot V_{tr}} - 1}} \quad [\text{A}] \quad (5)$$

Onde:

$I_{or}$  - Corrente inversa máxima de saturação do diodo na referência.

$I_{\text{ccr}}$  - Corrente de curto-circuito de referência.

$V_{\text{car}}$  - Tensão de circuito aberto de referência.

$m$  - Fator de idealidade do diodo.

$V_{tr}$  - Potencial térmico de referência.

$$I_o = I_{or} \cdot \left( \frac{T}{T_r} \right)^3 \cdot e^{\frac{\varepsilon}{m} \left( \frac{1}{V_{tr}} - \frac{1}{V_t} \right)} \quad [\text{A}] \quad (6)$$

Onde:

$I_o$  - Corrente inversa máxima de saturação do diodo.

$I_{or}$  - Corrente inversa máxima de saturação do diodo na referência.

T - Temperatura ambiente.  
 $T_r$  - Temperatura ambiente de referência.  
 $\varepsilon$  - Banda de energia do silício.  
 $m$  - Fator de idealidade equivalente do diodo.  
 $V_{tr}$  - Potencial térmico de referência.  
 $V_t$  - Potencial térmico.

$$I_{cc} = I_{ccr} \cdot \left( \frac{G}{G_r} \right) \quad [A] \quad (7)$$

Onde:

$I_{cc}$  - Corrente de curto-circuito.  
 $I_{ccr}$  - Corrente de curto-circuito de referência.  
 $G$  - Radiação solar incidente.  
 $G_r$  - Radiação solar de referência.

$$I = I_{cc} - I_o \left( e^{\frac{V}{mV_t}} - 1 \right) \quad [A] \quad (8)$$

Onde:

$I$  - Corrente do painel fotovoltaico.  
 $I_{cc}$  - Corrente de curto-circuito.  
 $I_o$  - Corrente inversa máxima de saturação do diodo.  
 $V$  - Tensão de saída do painel fotovoltaico.  
 $m$  - Fator de idealidade do diodo.  
 $V_t$  - Potencial térmico.

$$P_{max} = V_{max} \cdot I_{max} \quad [W] \quad (9)$$

Onde:

$P_{max}$  - Potência máxima.  
 $V_{max}$  - Tensão máxima.  
 $I_{max}$  - Corrente máxima.

### B. Curva Característica

O painel fotovoltaico pode ter suas características de funcionamento expressas por meio da curva característica IV. Assim, este gráfico é formado por infinitos pontos de tensão e corrente que representam os pontos de operação do painel fotovoltaico. As curvas indicam valores de tensão e corrente que o painel fotovoltaico fornece em determinadas condições de temperatura ambiente e radiação solar e também permite que se conheçam os valores de potência, uma vez que, esta é o produto da tensão e corrente.

O gráfico da curva característica é traçado entre duas condições de operação do painel fotovoltaico, que são curto-circuito e circuito aberto do painel. Quando o dispositivo se encontra em curto-circuito este apresenta o maior valor de corrente e zero de tensão e potência, e estando em circuito aberto o mesmo produz a tensão máxima e zero de corrente e potência.

Os principais pontos de operação do painel fotovoltaico serão descritos a seguir [4].

- $I_{cc}$  – corrente de curto-circuito: é a máxima corrente que o painel fotovoltaico pode fornecer em determinadas condições de temperatura ambiente e radiação solar.
- $V_{ca}$  – tensão de circuito aberto: é o máximo valor de tensão que o painel fotovoltaico pode fornecer em determinadas condições de temperatura ambiente e radiação solar.

- $I_{mp}$  – corrente de máxima potência: é a corrente em que o dispositivo fotovoltaico fornece a potência máxima em determinadas condições de temperatura ambiente e radiação solar. Esta corrente é considerada a corrente nominal do painel fotovoltaico.
- $V_{mp}$  – tensão de máxima potência: é o valor de tensão em que o dispositivo fornece a maior potência em determinadas condições de radiação solar e temperatura ambiente. Este valor de tensão é considerado a tensão nominal que o painel fotovoltaico fornece.
- $P_{mp}$  – potência máxima de pico: é o maior valor de potência que o painel fotovoltaico pode fornecer em determinadas condições de radiação solar e temperatura ambiente. Além disso, este valor é o ponto da curva característica no qual o produto da tensão e corrente é máximo.

A Figura 2 ilustra os principais pontos da curva característica IV.

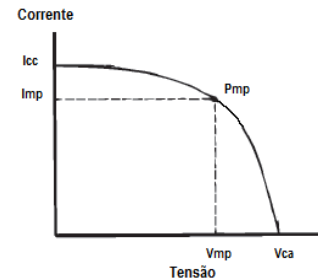


Fig. 2. Curva característica IV.

### C. Fatores que Interferem no Funcionamento do Painel Fotovoltaico

Os fatores que interferem significativamente no desempenho dos painéis fotovoltaicos são a radiação solar e a temperatura ambiente [5].

O painel apresenta aumento de sua eficiência quando há o aumento da radiação solar e essa eficiência diminui à medida que a radiação solar também diminui. Com o aumento da radiação solar incidente há o aumento da potência de saída ( $P$ ) do painel, a tensão de circuito aberto ( $V_{ca}$ ) varia muito pouco, a corrente de curto-circuito ( $I_{cc}$ ) varia linearmente e a corrente inversa de saturação ( $I_o$ ) varia. A Figura 3 ilustra a influência da radiação solar na curva característica IV.

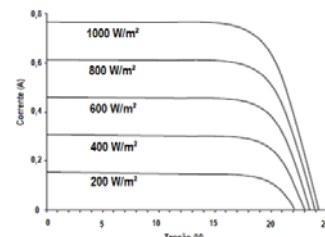


Fig. 3. Curva característica IV com variação da radiação solar.

A temperatura ambiente possui influência oposta à eficiência dos dispositivos fotovoltaicos comparado com os efeitos da radiação solar nos mesmos. Quando há aumento da

temperatura ambiente a eficiência dos painéis fotovoltaicos diminui e ocorrendo a diminuição da temperatura ambiente há a elevação da eficiência do dispositivo. O aumento da temperatura ambiente faz com que a potência de saída ( $P$ ) do painel fotovoltaico decresça, a tensão de circuito aberto ( $V_{ca}$ ) também decresça, a corrente de curto-circuito ( $I_{cc}$ ) varia muito pouco e a corrente inversa de saturação ( $I_o$ ) varia. A variação da curva característica devido à variação da temperatura ambiente pode ser visto na Figura 4.

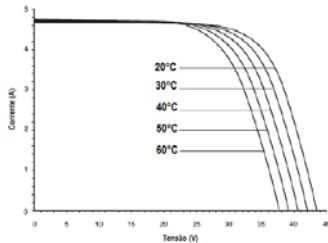


Fig. 4. Curva característica IV com variação da temperatura ambiente.

### III. DESCRIÇÃO DOS MÉTODOS

O comportamento elétrico do painel fotovoltaico, como descrito anteriormente, é influenciado pela radiação solar e temperatura ambiente. Ao adquirir um painel solar os fabricantes destes disponibilizam os valores de tensão de circuito aberto, corrente de curto-circuito, potência máxima, tensão de máxima potência e corrente de máxima potência que o painel fornece nas condições de teste padrão (STC – Standart Test Conditions). Estas condições de teste padrão se referem à radiação solar de  $1000 \text{ W/m}^2$ , temperatura ambiente de  $25^\circ\text{C}$  e massa de ar de 1,5.

Dessa forma, os dados disponíveis pelos fabricantes dificilmente podem ser usados como referência para dimensionar a aplicação dos painéis fotovoltaicos, uma vez que, muitas vezes no local da instalação dos mesmos os valores de temperatura ambiente e radiação solar são diferentes das condições padrão. Assim, é de grande necessidade que se trace as curvas características nas condições ambientais do local que será utilizado a energia solar fotovoltaica.

Com a finalidade de determinar um procedimento simples de obter as curvas características foram realizados ensaios com o painel solar fotovoltaico por meio de dois métodos distintos. A realização destes tem como objetivo comparar as curvas obtidas com os dados coletados no primeiro e segundo método e determinar se os resultados encontrados são coerentes e corretos.

Para que as curvas características obtidas pelos dois métodos distintos pudessem ser comparadas com as mesmas condições de temperatura ambiente e radiação solar, os ensaios relativos a cada método foram realizados em sequência. Assim, realizava-se o ensaio utilizando o primeiro método, o qual possui duração de aproximadamente quinze minutos, e em seguida realizava-se o ensaio com o segundo método, com duração de aproximadamente cinco minutos. Nos dois tipos de ensaios foi utilizado o mesmo painel fotovoltaico, para que a diferença deste não interferisse nas curvas características obtidas.

A seguir serão descritos os dois métodos utilizados na realização dos ensaios.

#### A. Primeiro Método

O primeiro método proposto tem como objetivo ser simples e prático na obtenção da curva característica, possibilitando que este possa ser amplamente utilizado. Os ensaios deste método utilizam equipamentos de medições simples e fáceis de serem obtidos para coletar os dados necessários para traçar a curva característica do painel fotovoltaico. Com os dados obtidos nos ensaios e utilizando as equações do circuito equivalente do painel, a curva neste método foi traçada através do software Matlab.

Nos ensaios através do primeiro método foram utilizados os seguintes equipamentos: painel solar fotovoltaico, suporte para o painel, reostato, multímetro, bússola e termômetro infravermelho. Para se obter o valor da radiação solar neste método o ideal é utilizar o equipamento piranômetro. Porém, devido à impossibilidade de adquirir estes dados com o piranômetro disponível no laboratório e, também, devido o código utilizado para gerar as curvas características não necessitar dos valores de radiação, esta foi obtida com o equipamento Mini-KLA.

A montagem dos equipamentos para o primeiro método pode ser observada na Figura 5 a seguir.

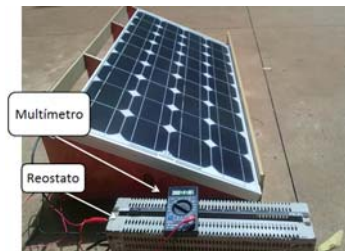


Fig. 5. Ensaio com o primeiro método.

Para realizar as medições primeiramente foi posicionado o painel no suporte do mesmo, com orientação para o Norte Verdadeiro, uma vez que, nesta posição o painel recebe a maior quantidade de radiação solar. Assim, com multímetros coletaram-se os valores de tensão de circuito aberto e corrente de curto-circuito. Em seguida, foi conectado aos terminais do painel um reostato, com a finalidade de variar a carga conectada ao painel e obter vários valores de tensão e corrente elétrica.

#### B. Segundo Método

O segundo método utilizado para obter as curvas características foi usado como referência para validar as curvas obtidas com o primeiro método, pois este método utiliza para coletar os dados um equipamento próprio para medições de painéis fotovoltaicos. Esse equipamento é chamado Mini-KLA e quando conectado aos terminais do painel traça imediatamente a curva característica do mesmo e fornece os valores de tensão de circuito aberto, radiação solar e temperatura ambiente. As curvas obtidas com esse método são transferidas para o computador através do software MiniLes 2.3, o qual é fornecido pelo fabricante do equipamento Mini-KLA.

Os equipamentos utilizados nos ensaios com o segundo método foram: painel solar fotovoltaico, suporte para o

painel, Mini-KLA, sensor de radiação solar Si-01TC-T e bússola. A Figura 6 ilustra a montagem dos equipamentos utilizando o segundo método.



Fig. 6. Ensaio com o segundo método.

Para as medições com o segundo método também foi posicionado o painel fotovoltaico no suporte com orientação para o Norte Verdadeiro. Em seguida, conectou-se o equipamento Mini-KLA aos terminais do painel e o sensor de radiação solar Si-01TC-T foi conectado ao Mini-KLA. O sensor pertence ao Mini-KLA e este é o responsável por realizar as medições de radiação solar e temperatura ambiente do local.

#### IV. CÁLCULO TEÓRICO

Com as equações do circuito equivalente do painel solar fotovoltaico é possível realizar o cálculo teórico do valor de corrente elétrica que o painel solar fornece em determinadas condições de temperatura ambiente e radiação solar. Assim, para realizar o estudo do painel fotovoltaico utilizado nos ensaios práticos foram realizados os cálculos teóricos para os dados coletados durante os ensaios realizados.

Para realizar os cálculos teóricos é necessário conhecer as características elétricas do painel nas condições de teste padrão fornecidas pelos fabricantes e os dados obtidos através dos ensaios.

As características elétricas do painel fotovoltaico Sanmodule SW 75 do fabricante Solar World, o qual foi utilizado em todos os ensaios, são:

- Potência máxima de pico ( $P_{mp}$ ) = 75 W<sub>p</sub>
- Tensão de circuito aberto ( $V_{ca}$ ) = 21,7 V
- Tensão de máxima potência ( $V_{mp}$ ) = 17,3 V
- Corrente de curto-circuito ( $I_{cc}$ ) = 4,80 A
- Corrente de máxima potência ( $I_{mp}$ ) = 4,35 A

Os valores coletados nos ensaios de tensão de circuito aberto, corrente de curto-circuito, radiação solar e temperatura ambiente, realizado no dia 4 de novembro de 2011, são:

- $V_{ca} = 18,7$  V
- $I_{cc} = 5,25$  A
- $G = 907$  W/m<sup>2</sup>
- $T = 338$  K

Assim, os cálculos utilizando as expressões do circuito equivalente do painel fotovoltaico, serão mostrados a seguir.

Cálculo do potencial térmico de referência, utilizando a equação 1.

$$V_{tr} = 0,0257V \quad (10)$$

Cálculo do fator de idealidade do diodo, utilizando a equação 3.

$$m = 72,33 \quad (11)$$

Cálculo do fator de idealidade equivalente do diodo, utilizando a equação 4.

$$m_i = \frac{72,33}{36} = 2 \quad (12)$$

Cálculo do potencial térmico, utilizando a equação 2.

$$V_t = 0,0291 V \quad (13)$$

Cálculo da corrente inversa máxima de saturação do diodo na referência, utilizando a equação 5.

$$I_{or} = 4,087 \times 10^{-5} A \quad (14)$$

Cálculo da corrente inversa máxima de saturação do diodo, utilizando a equação 6.

$$I_0 = 1,518 \times 10^{-4} A \quad (15)$$

Cálculo da corrente de curto-circuito, utilizando a equação 7.

$$I_{cc} = 4,35 A \quad (16)$$

Cálculo da corrente de saída do painel fotovoltaico, utilizando a equação 8.

$$I = 4,16 A \quad (17)$$

Dessa forma, através dos cálculos teóricos pode-se observar que o painel fornecerá uma corrente elétrica de 4,16 A, quando este atingir uma tensão de 15 V. Esta tensão foi escolhida para o cálculo da corrente através da curva característica IV.

#### V. CURVA CARACTERÍSTICA

Para determinar um processo simples de obter as curvas características dos painéis fotovoltaicos foram propostos dois métodos distintos, os quais foram descritos anteriormente. Nestes métodos foi estabelecido qual seria a maneira de realizar os ensaios dos respectivos métodos, com a finalidade de obter de forma distinta as curvas características.

Determinado os procedimentos a serem utilizados em cada método foi possível realizar os ensaios com o painel fotovoltaico. Nesses ensaios foram coletados os dados necessários para traçar a curva característica, como os valores de tensão de circuito aberto e corrente de curto-circuito. As curvas de ambos os métodos não puderam ser traçadas no mesmo gráfico devido o equipamento Mini-KLA disponibilizar as curvas apenas em arquivos para leitura.

Foram realizados diversos ensaios com o painel através dos dois métodos propostos para verificar quais as melhores condições de realizar os mesmos. Assim, observou-se que para obter valores validos de tensão e corrente é necessário que a temperatura ambiente e a radiação solar permaneçam praticamente constantes durante a realização dos ensaios, para que a variação destes valores não interferisse nas curvas características obtidas.

Dessa forma, foram obtidas vinte curvas características de cada método para serem comparadas e analisadas. A seguir será apresentada uma curva característica de cada método, obtidas com dados coletados nos ensaios realizados no dia 24 de outubro de 2011. Neste dia a radiação solar registrada foi de 891 w/m<sup>2</sup> e temperatura ambiente de 67,2°C.

Com a realização do ensaio através do primeiro método obteve-se o valor de tensão de circuito aberto de 18,34 V e corrente de curto-circuito de 5,04 A. A Figura 7 ilustra a curva traçada com os dados coletados nesse ensaio através do software Matlab.

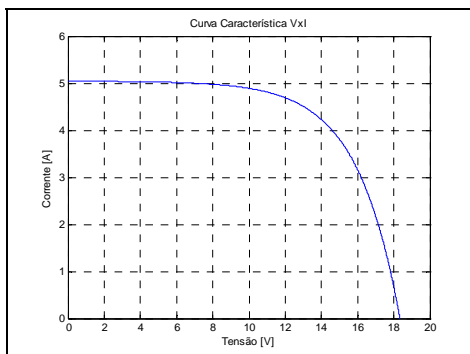


Fig. 7. Curva característica obtida com o primeiro método.

Utilizando o segundo método no ensaio com o painel fotovoltaico observou-se uma tensão se circuito aberto de 18,60 V e uma corrente de curto-circuito de 5,07 A. A curva obtida nesse método pode ser observada na Figura 8.

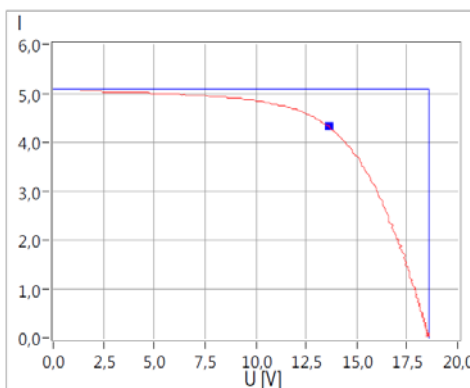


Fig. 8. Curva característica obtida com o segundo método.

Com a análise das curvas características pode-se observar que as curvas traçadas a partir dos dados do primeiro método e as curvas obtidas com o equipamento Mini-KLA, no segundo método, são muito semelhantes. A Tabela I mostra os valores de tensão e corrente coletados em cada método bem como o erro percentual relativo entre as duas medições.

**TABELA I**

**Erro Percentual entre os Valores de Tensão e Corrente**

	<i>Vca</i>	<i>Icc</i>	<i>Vmp</i>	<i>Imp</i>
<b>1º Método</b>	18,34 V	5,04 A	13,91 V	4,26 A
<b>2º Método</b>	18,6 V	5,07 A	13,6 V	4,32 A
<b>Erro Percentual</b>	1,39%	0,59%	2,28%	1,39%

A diferença entre as curvas características e também os valores de tensão de circuito aberto e corrente de curto-circuito medido em ambos os métodos ocorre devido os ensaios com os dois métodos não serem realizados de forma simultânea. Como ocorre um pequeno intervalo de tempo (aproximadamente quinze minutos) entre a realização dos ensaios com o primeiro e o segundo método as condições ambientais variam e mesmo que essa mudança seja pequena interfere diretamente nos valores de tensão e corrente fornecidos pelo painel fotovoltaico.

## VI. CONCLUSÃO

Obtido as curvas características foi possível analisá-las e também comparar os valores de tensão e correntes medidos através dos dois métodos. Com a análise das curvas características observa-se que as curvas referentes ao primeiro método e as curvas do segundo método são muito semelhantes e os valores de tensão e correntes descritos pela curva são praticamente os mesmos, tendo uma diferença de apenas alguns décimos nestes valores.

Com a realização deste trabalho foi possível verificar que os dados obtidos com o primeiro método que utiliza equipamentos de medições simples são muito próximos dos valores fornecidos com o segundo método, o qual utiliza um equipamento de medição próprio para painel fotovoltaico. Dessa forma, pode-se concluir que os dados coletados com o primeiro método são corretos e verdadeiros e estes podem ser utilizados para determinar adequadamente a aplicação dos painéis fotovoltaicos e, assim, contribuir para aumentar a eficiência da energia solar fotovoltaica.

Espera-se com este trabalho que as curvas características possam ser amplamente determinadas e utilizadas na aplicação dos painéis fotovoltaicos contribuindo com a eficiência destes. Pois, como o primeiro método obtém dados validos para a determinação da curva característica e este utiliza equipamentos de medições simples, tornam-se mais simples a obtenção dessas curvas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à CNPq pelo suporte financeiro dado ao trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Confederação Nacional das Indústrias. *Matriz Energética: Cenários, Oportunidades e Desafios*. Acedido em 14 de Janeiro de 2012, em: <http://www.cni.org.br>
- [2] Grupo de Trabalho de Energia Solar. *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. Rio de Janeiro, 2004.
- [3] C. Camus e E. Eusébio. *Gestão de Energia – Energia Solar*. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa - Lisboa, 2006.
- [4] M. T. Tolmasquim. *Fontes Renováveis de Energia no Brasil*. 1ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.
- [5] F. Kininger. *Photovoltaic Systems Technology*. Universität Kassel - Kassel, 2003.