

DESENVOLVIMENTO DE TRAÇADOR DE CURVA I-V UTILIZANDO O MÉTODO DA CARGA ELETRÔNICA

Raquel Xavier Silva – raquelqxa@gmail.com

Manoel Henrique de Oliveira Pedrosa Filho

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Campus Pesqueira.

Resumo. O setor da energia solar fotovoltaica vem se desenvolvendo a passos largos. Espera-se que os módulos fotovoltaicos durem décadas e para aferição de desempenho desses, o equipamento normalmente utilizado é o traçador de curva I-V. O artigo apresenta o desenvolvimento de um traçador de curva IV com o método da carga eletrônica. O protótipo contém um MOSFET (Transistor de Efeito de Campo) que realiza a varredura da tensão de um módulo fotovoltaico por meio da variação da diferença de potencial entre os terminais porta e fonte. Para a medição da corrente e da tensão foram utilizados respectivamente, um divisor de tensão com dois resistores e um shunt. Para a leitura dos valores analógicos foram utilizados dois conversores analógicos digitais (ADC) com resolução de 12bits. O Arduino UNO foi empregado para obter os valores de tensão e corrente e enviar para o computador, e assim obter a curva I-V dos módulos fotovoltaicos. Foram realizados diferentes testes com módulos de 50 Wp e 245 Wp. O desempenho do traçador de curva IV em sua velocidade de varredura dos dados de saída de corrente e tensão dos módulos fotovoltaicos mostrou-se funcional, os valores do dispositivo apresentaram-se similares aos valores de placas para a tensão de circuito aberto e a corrente de curto circuito. A aquisição e a transferência dos dados foram realizadas de forma precisa para a obtenção das curvas. Para validação dos ensaios utilizou-se o software PVsyst como meio comparativo entre grandezas simuladas e medidas. O traçador de curva I-V pelo método da carga eletrônica demonstrou-se promissor e eficaz. O dispositivo tem a capacidade de realizar a caracterização da curva I-V, e identificar pelo comportamento do gráfico obtido os possíveis processos que ocasionam a ineficiência do sistema, e a partir dele, elaborar diagnósticos para a instalação fotovoltaica.

Palavras-chave: Sistemas fotovoltaicos, Curva I-V, Carga eletrônica.

1. INTRODUÇÃO

A partir da publicação pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), da Resolução Normativa 482/12 e posterior atualização pela Resolução Normativa 685/15, o setor da energia solar fotovoltaica vem se desenvolvendo a passos largos. Nos últimos 3 anos, apresentou crescimento exponencial no número de instalações residenciais e na potência instalada (Greener, 2019).

Some-se a isto, os recentes leilões de energia nova realizados pela ANEEL nos últimos 3 anos, que projetam a implantação de usinas no horizonte de 4 a 5 anos. Nestes, usinas com o porte de 30 MW normalmente são comercializadas. Nos últimos dois leilões que ocorreram em 2019, foram aceitas 17 usinas solares que acrescentarão aproximadamente 734 MWp à matriz energética brasileira, com horizonte de geração em 2025. No Nordeste, foram contratados 14 empreendimentos (1 em PE, 4 em PI e 9 em CE), conforme dados disponibilizados.

A indústria fotovoltaica está a experimentar um rápido e estável crescimento em termos de aplicação, eficiência, confiabilidade e flexibilidade. Espera-se que os sistemas fotovoltaicos durem décadas. O desempenho desses sistemas precisa ser avaliado regularmente durante longos períodos em que eles operam. Assim, a indústria exige formas rápidas e precisas de detectar quaisquer problemas potenciais (Zhu e Xiao, 2019).

Neste ambiente, verifica-se a necessidade de realização de manutenção nestas instalações, contando para isto de um acompanhamento de profissionais com equipamentos adequados que permitam diagnosticar problemas nos geradores fotovoltaicos e proponham soluções para eles.

Destaca-se também que os módulos fotovoltaicos possuem desempenho de pelo menos 20 anos de garantia pelo fabricante, a uma taxa de degradação dos geradores de 20% nesse período de duas décadas, que resulta em uma perda de menos de 1% por ano, Cassini *et al.* (2018). Dessa forma, as instalações fotovoltaicas irão necessitar periodicamente, aferir o desempenho dos módulos instalados ao longo do tempo, para detectar reduções abruptas de eficiência.

A eficiência de um painel fotovoltaico é seriamente afetada pelos obstáculos que bloqueiam a radiação solar, acúmulo de sujeira, e tolerâncias inerentes do processo de fabricação ou diferenças de orientação, bem como envelhecimento em campo (degradação). Os efeitos do envelhecimento das células fotovoltaicas afetam as características de corrente e tensão, portanto, o sistema de medição dos parâmetros de saída dos painéis fotovoltaicos pode fornecer informações em relação ao seu desempenho que são valiosas para a geração de energia otimizada, Papageorgasa *et al.* (2015).

Para aferição de desempenho de módulos fotovoltaicos, o equipamento normalmente utilizado é o traçador de curva I-V. Este equipamento, realiza a medição da relação entre a tensão e a corrente de um módulo fotovoltaico submetido à radiação solar. Além de medir as características de corrente e tensão, os traçadores de curvas também são rápidos instrumentos funcionais para verificar sinais observáveis de desempenho, defeitos, desgaste e degradação do módulo (Willoughby e Osinowo, 2018).

O presente artigo apresentará o desenvolvimento do traçador de curva I-V de baixo custo, com a utilização do método da carga eletrônica com Transistor de Efeito de Campo (MOSFET). Foram realizados testes em módulos de 50 Wp e 245 Wp. A partir das curvas levantadas por meio da varredura dos pontos de corrente de curto circuito (I_{CC}) e da tensão de circuito aberto (V_{CA}), faz-se o diagnóstico do comportamento dos módulos fotovoltaicos analisados.

2. CARACTERIZAÇÃO DO TRAÇADOR CURVA I-V

O traçador de curva de corrente tensão I-V é um termo geral que é usado para descrever a capacidade da tecnologia de adquirir as saídas características dos módulos fotovoltaicos de forma eficaz. Ele captura os valores de corrente e tensão de células fotovoltaicas, módulos ou arranjos sob uma variação de irradiância solar e condições de temperatura existentes no local, o esquemático é apresentado na Fig. 1.

As características de corrente e tensão são usadas para avaliar o desempenho de geração de sistemas FV sob luz solar natural, em termos de produção de energia. Esse dispositivo é capaz de identificar a degradação e efeitos do envelhecimento dos painéis fotovoltaicos (Zhu e Xiao, 2019). No levantamento da curva I-V e P-V, obtém-se a potência de operação do módulo fotovoltaico, que pode ser comparada com a potência especificada pelo fabricante, é com este valor que se pode observar a degradação dos módulos de uma instalação.

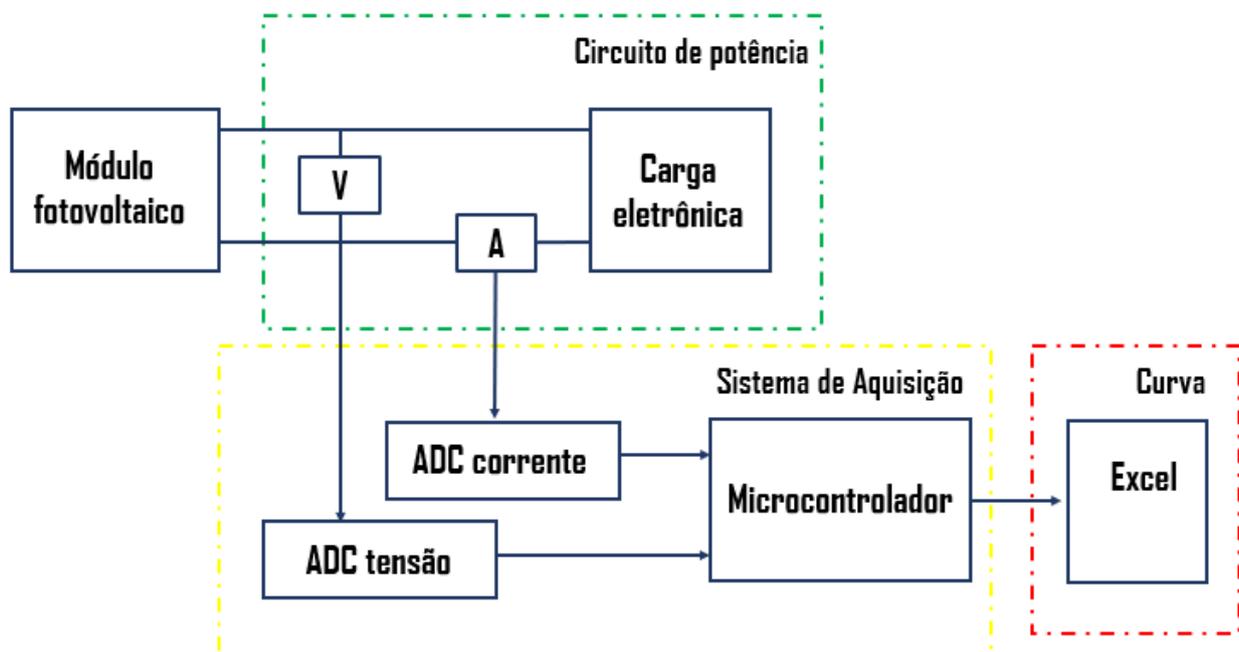


Figura 1- Diagrama traçador curva I-V carga eletrônica.

2.1 Carga eletrônica

O método da carga eletrônica consiste em utilizar dispositivos semicondutores que atuam como chaves na eletrônica de potência e são controlados por tensão, corrente ou frequência Araújo *et al.* (2018). O MOSFET é constituído por três terminais: dreno, porta e fonte, e pode ser utilizado em várias configurações nos circuitos eletrônicos. No traçador, o componente funciona como uma carga controlada eletronicamente, operando na sua região linear, através de uma fonte de tensão (resistência variável), que permite mover o ponto de operação do módulo fotovoltaico em toda a faixa de corrente e tensão da curva. Quando uma diferença de potencial é aplicada entre os terminais porta e fonte, gera uma corrente de saída no módulo fotovoltaico que vai do 0 a I_{CC} (corrente de curto circuito), e também uma tensão de saída que vai do V_{CA} (Tensão de circuito aberto) ao 0 V.

A curva característica do MOSFET está apresentada em azul na Fig. 2, relacionando a corrente de dreno com a tensão dreno-fonte, e a curva característica do módulo fotovoltaico (curva vermelha), que correspondem aos pontos da corrente de curto circuito e tensão de circuito aberto. A interseção de característica do módulo com a carga eletrônica determina o ponto de operação, para uma dada tensão de porta - fonte, quando essa tensão for rastreada em um sinal adequado, o ponto de operação do MOSFET realiza a varredura da corrente e da tensão de saída do módulo, de modo que não ocorra variação de radiação e temperatura do módulo.

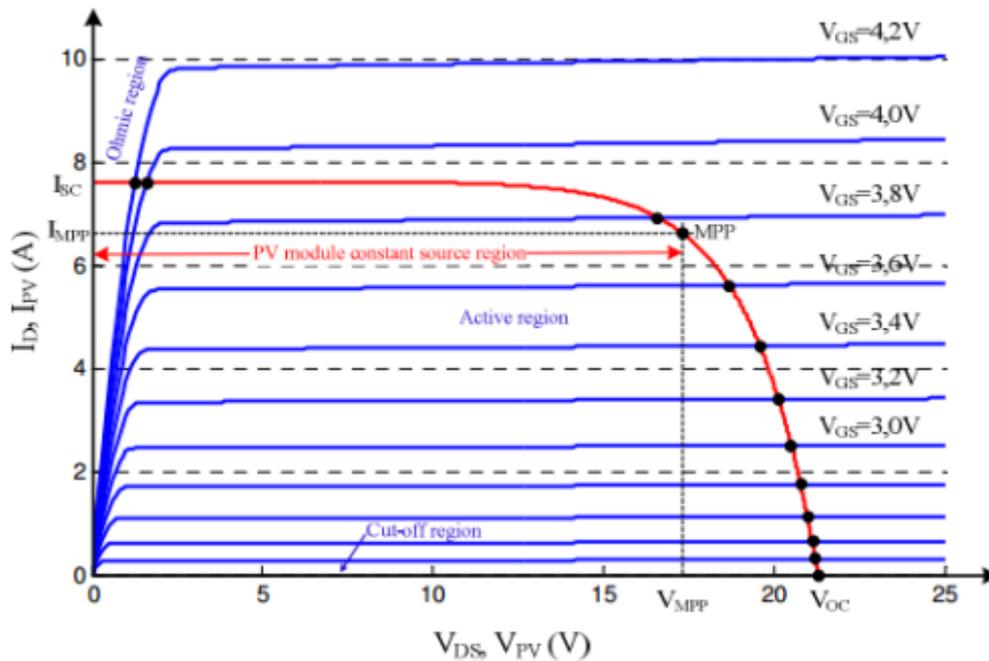


Figura 2 - Curvas características do MOSFET traçadas junto com a curva I-V de um módulo PV.

O MOSFET utilizado no desenvolvimento do traçador foi o modelo IRFP2709. Suas características estão apresentadas na Tab. 1. A tensão máxima dreno-fonte foi escolhida por ser maior que a V_{CA} dos módulos sob teste, e a potência escolhida da chave eletrônica, também atende todos os módulos utilizados para teste.

Tabela 1 - Característica do MOSFET.

Características IRPF2709	
Tensão dreno-fonte (V_{DS})	75 V
Corrente contínua no dreno (I_D)	209 A
Tensão porta-fonte (V_{GS})	20 V
Potência de dissipação total (P_D)	470W

Fonte: Infineon (2021)

2.2 Circuito de potência

Para o controle do circuito de potência (MOSFET), a variação V_{GS} (Tensão porta-fonte) é feita por um potenciômetro de 1 k Ω ligado entre os terminais porta e fonte. A tensão aplicada aos extremos do potenciômetro (5V) é fornecida pelo microcontrolador (Arduino UNO). O terminal fonte é aterrado juntamente com todo circuito eletrônico.

Para a medição da tensão foram utilizados um divisor de tensão com dois resistores sendo um de 27 k Ω e outro de 4,7 k Ω e para a corrente um shunt de 4 A – 60 mV, conforme o circuito da Fig. 3.

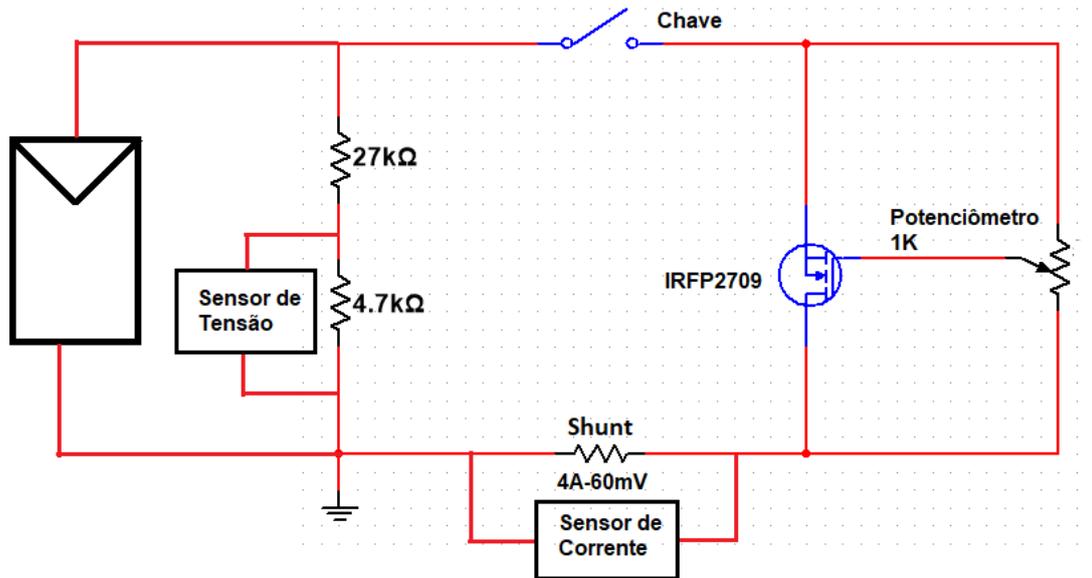


Figura 3 - Circuito de potência do traçador da curva I-V.

2.3 Sistema de aquisição dos dados

Para o sistema de aquisição dos dados de tensão e corrente dos módulos, foi utilizado o microcontrolador Arduino UNO e dois conversores analógicos digitais (ADC). A IDE do Arduino foi utilizada para programar os conversores com resolução de 12 bits, para que eles pudessem transmitir ao computador, através da porta serial os dados de corrente advindos do shunt e os dados de tensão providos do divisor de tensão. Para a obtenção de muitos pontos da curva I-V, foi necessário ajustar o tempo de leitura dos dados de saída da placa. Para módulos de potência da ordem de 245 Wp, foi utilizado um tempo de amostragem da ordem de 20 ms.

O ADC utilizado para a leitura da corrente ADS1015, e o ADS1115 para os valores de tensão. A configuração de ligação para obter os dados é apresentada na Fig. 4.

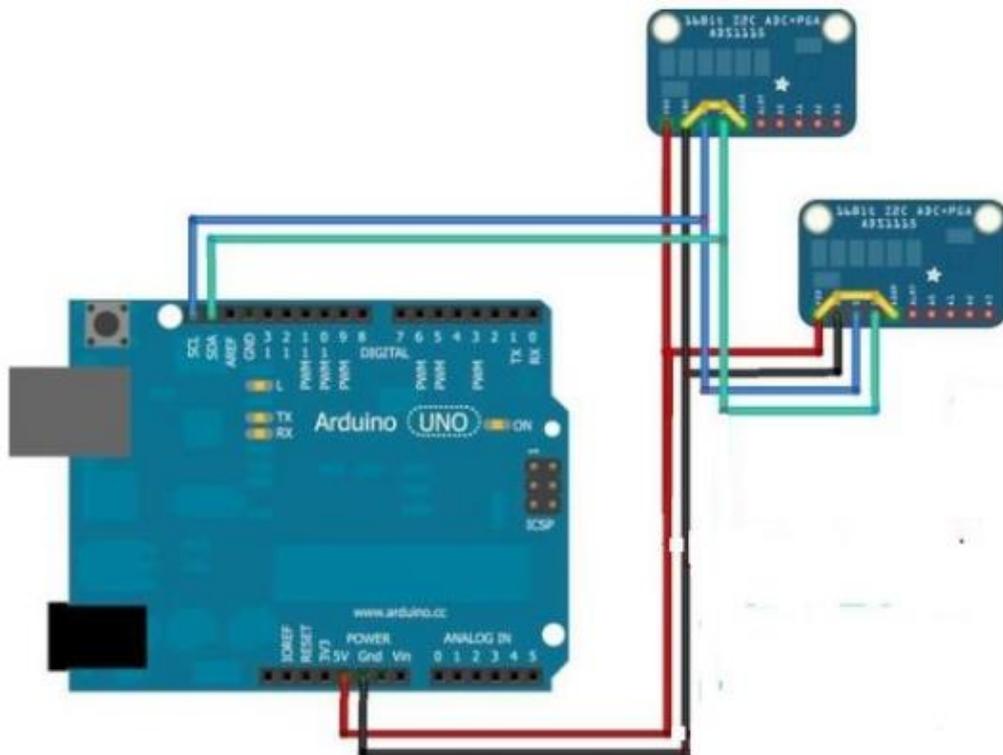


Figura 4 - Ligação do ADC de corrente e tensão com o Arduino UNO.

2.4 Elaboração da curva I-V medida

Para elaborar a curva I-V a partir dos valores medidos e transmitidos pelo Arduino, foi utilizada uma planilha desenvolvida no Excel. A ferramenta recebe os dados medidos de tensão e corrente do módulo fotovoltaico e obtém a curva de modo semi automático. Nesse modelo é possível salvar os dados de corrente, tensão e potência e obter a curva posteriormente.

3. RESULTADOS

A partir da metodologia abordada, foram realizados ensaios com o traçador curva I-V, com módulos de silício policristalino de 50 Wp e 245 Wp, cujas características, nas condições padrão, estão apresentadas nas Tab. 2 e Tab. 3.

Com o objetivo de validar as curvas I-V obtidas nos ensaios, curvas de referência foram obtidas utilizando-se o programa PVSyst sob as mesmas condições de irradiância no plano horizontal e temperatura dos módulos no dia da obtenção das curvas. Onde foi possível verificar a eficiência do traçador da curva I-V com o método da carga eletrônica conforme apresentam as Fig. 5 e Fig. 6.

Tabela 2 - Características elétricas do módulo de 50 Wp.

Características do módulo	
Tensão de circuito aberto (V_{CA})	21,56 V
Tensão de máxima potência (V_{MP})	17,74 V
Corrente de curto circuito (I_{CC})	3,04 A
Corrente de máxima potência (I_{MP})	2,84 A

Tabela 3 - Características elétricas do módulo de 245 Wp.

Características do módulo	
Tensão de circuito aberto (V_{CA})	37,8 V
Tensão de máxima potência (V_{MP})	30,7 V
Corrente de curto circuito (I_{CC})	8,7 A
Corrente de máxima potência (I_{MP})	8,2 A

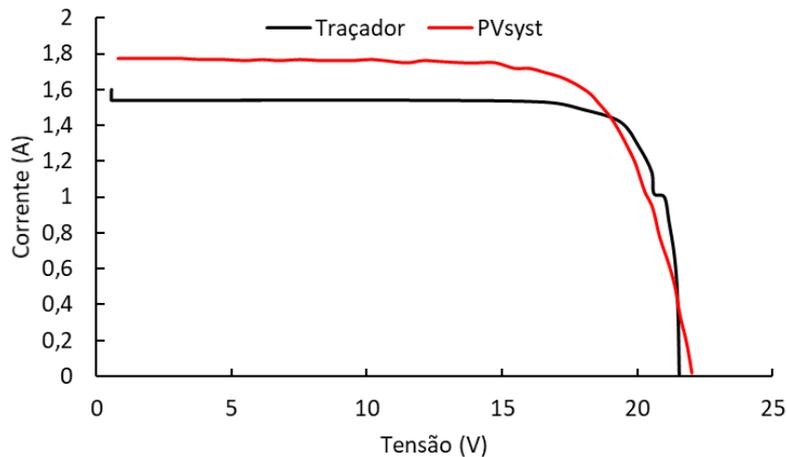


Figura 5 - Curva IV módulo 50 Wp.

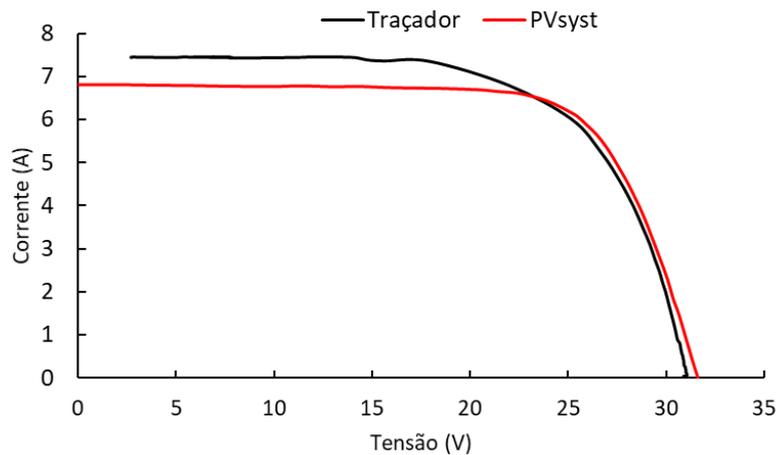


Figura 6 - Curva IV módulo 245 Wp.

As curvas I-V apresentadas nas Fig. 5 e Fig. 6, foram obtidas com os módulos de 50 Wp e 245 Wp, estes demonstram diferenças nas correntes de curto circuito. Estas diferenças são atribuídas a dois fatores: 1) modelos de irradiação no plano aplicados para análise no software PVsyst, resultando em valores de corrente de curto circuito distintas. 2) para módulos de potência superior a 50 Wp foi notado que o tempo de resposta da chave eletrônica para a curva de corrente apresentava um salto a partir de 5 A, este comportamento acarreta em perda de pontos na curva, resultando em um arredondamento da mesma. Esse fato foi observado para dias com altas irradiâncias, e resultou na perda de dispositivos MOSFET, mesmo verificado que a corrente de dreno do componente é maior que a corrente de curto circuito do módulo fotovoltaico analisado.

A diferença observada dos valores de corrente máxima apresentada nos dois gráficos aquém dos valores de placa, são explicados pela baixa irradiação no dia dos ensaios de obtenção das curvas.

4. CONCLUSÃO

O traçador de curva I-V pelo método da carga eletrônica, vem a demonstrar-se promissor e eficaz, o mesmo realiza a varredura da corrente de curto circuito a tensão de circuito aberto em boa velocidade e precisão. Ajustes no circuito de potência estão sendo realizados em relação a painéis com potência alta visto que, com o aumento da corrente de saída (I_{CC}) do módulo fotovoltaico o MOSFET não consegue obter mais pontos da curva, em alguns casos o aumento da corrente de curto circuito resulta no desgaste do dispositivo eletrônico, decorrentes da não dissipação do calor no componente. Dessa forma o traçador desenvolvido teve a capacidade de caracterizar a curva I-V, os módulos ensaiados apresentaram a curva dada pelos fabricantes, contudo a máxima potência do módulo não foi alcançada, visto a baixa irradiância nos dias de ensaio. Logo a partir das experiências realizadas, o traçador da curva I-V encontra-se apto para identificar os possíveis processos que ocasionam a ineficiência dos módulos, e assim elaborar diagnósticos para a instalação fotovoltaica.

Agradecimentos

Agradecimentos especiais a FACEPE (Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco) pelo fomento, e ao IFPE (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco) – Campus Pesqueira, pela disponibilidade do laboratório.

REFERÊNCIAS

- Araújo, A.L. P. L., Lopes, A.V., Moreira, A.B., 2018. Topologias em Traçador de curva I-V para módulos fotovoltaicos, VIII CBENS – VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar, Gramado.
- Cassini, D. A., Oliveira, M. C.C., Soares, L.G., Viana, M.M., Lins, V. F. C., Diniz, A.S. A.C., Zilles, R., Karmerski, L.L., 2018. Avaliação experimental do desempenho da degradação de módulos fotovoltaicos de Si cristalino após 15 anos de exposição em campo, VIII CBENS – VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar, Gramado.
- Greener. 2019. Estudo estratégico mercado fotovoltaico de geração distribuída.
- Infineon. 2021. Datasheet IRPF2907. Disponível em https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-IRF2907Z-DataSheet-v01_01-EN.pdf?fileId=5546d462533600a4015355ded98f1902 Acessado em 01/10/2021.
- Papageorgasa, P., Piromalis, D., Valavanisa, T., Kambasisa, S., Iliopoulou, T., Vokasa, 2015. G. A low-cost and fast PV I-V curve tracer based on an open-source platform with M2M communication capabilities for preventive monitoring. Energy Procedia, v. 74, p. 423–438.

- Willoughby, A., A., Osinowo, M., O. 2018. Development of an electronic load I-V curve tracer to investigate the impact of Harmattan aerosol loading on PV module performance in southwest Nigeria. *Solar Energy*, v. 166, p.171-180.
- Zhu, Y., Xiao, W. 2019. A comprehensive review of topologies for photovoltaic I-V curve tracer. *Solar Energy*, v. 196, p.346-357.

IV CURVE TRACER DEVELOPMENT USING THE ELECTRONIC LOAD METHOD

Abstract. *The photovoltaic solar energy sector has been developing by stride. It's expected that the photovoltaic modules last decades and the IV curve tracer is the equipment used to measure the modules performance. The paper presents the IV curve tracer development using the electronic load method. The prototype contains a MOSFET (Field Effect Transistor) that sweeps the photovoltaic module voltage due a variation of the potential difference between gate and drain MOSFET terminals. A voltage divisor with two resistors and a shunt were used to measurement of the module voltage and current. Two digital analog converters with 12 bits resolution were used to read those values. The UNO Arduino was used to obtain the voltage and current values and send them to the computer, to be able to trace the IV curve of 50 Wp and 245 Wp photovoltaic modules. The IV curve performance related to its capacity of sweeping the voltage and current values of photovoltaic modules was considered functional. The voltage and current values measured are like datasheet values. The PVSyst software was used to validate the curves obtained with the IV tracer, that is considered promising and effective. The device has the ability to perform the I-V curve to identify the behavior of the graph, and the possible processes to characterize the inefficiency of the system, and from it, elaborated for the photovoltaic installation.*

Key words: *Photovoltaic systems, IV curve, Electronic load.*