

Projeto de um Traçador de Curva I-V para Células Fotovoltaicas

Design of an I-V Curve Tracer for Photovoltaic Cells

RESUMO

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um dispositivo para traçar curvas I-V e P-V de células e painéis fotovoltaicos. O dispositivo pode avaliar o desempenho de painéis e células, sendo assim uma importante ferramenta em pesquisas de base ou aplicações práticas. Uma vez que sistemas de geração solar estão cada vez mais presentes na matriz energética mundial. O protótipo foi desenvolvido utilizando componentes reaproveitados de equipamentos descartados, o sistema é composto por um circuito de potência controlado e monitorado por um microcontrolador, os gráficos são gerados a partir de uma plataforma de computação matemática. Os resultados obtidos foram satisfatórios, e o sistema se mostrou viável tanto em termos econômicos quanto técnicos, contudo o funcionamento do protótipo não ficou conforme esperado para determinadas células. O protótipo foi concluído e os objetivos iniciais foram parcialmente concluídos e o projeto pode ser ainda aprimorado.

PALAVRAS-CHAVE: Fotovoltaico, Energia, Curva I-V.

ABSTRACT

The present work presents the development of a device for plotting I-V and P-V curves of cells and photovoltaic panels. The device can evaluate the performance of panels and cells, thus being an important tool in basic research or practical applications. Bearing in mind that solar generation systems are increasingly present in the global energy matrix. The prototype was developed using reused components from discarded equipment, the system consists of a controlled power circuit and monitored by a microcontroller, the graphics are generated from a mathematical computing platform. The results obtained were satisfactory, and the system proved to be viable in both economic and technical terms, however the prototype's operation was not as expected for certain cells. The prototype has been completed and the initial objectives have been partially completed and the project can be further improved.

KEYWORDS: Photovoltaic, Energy, I-V Curve.

Alexandre Ramos Souto

soutoinf@gmail.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (Campus Campo Mourão) - UTFPR, Campo Mourão, Paraná, Brasil

Gilson Junior Schiavon

gil.schiavon@gmail.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (Campus Campo Mourão) - UTFPR, Campo Mourão, Paraná, Brasil

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autorial: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



INTRODUÇÃO

A crescente demanda pela geração de energia ao redor do mundo juntamente com uma maior preocupação ambiental, tem estimulado o mercado de fontes renováveis de energia.

Segundo Silva e Carmo (2017, p. 136), o Brasil possui um enorme potencial de geração de energia com sistemas fotovoltaicos em todo seu território, devido seu clima tropical. Contudo esse recurso ainda tem se incorporado de maneira tímida a matriz energética brasileira.

Ainda que a geração de energia solar seja uma solução cara atualmente, é a tecnologia que apresenta a maior taxa de crescimento e queda nos custos de implementação dos sistemas. Além disso, os avanços tecnológicos são bastante promissores para derrubar ainda mais os seus custos e viabilizar a consolidação dessa fonte energética (SILVA; CARMO, 2017).

Os sistemas de energia solar fotovoltaica são compostos por equipamentos de alta qualidade, eles são desenvolvidos, para alcançar uma longa durabilidade. Justamente por estarem expostos a condições temporais variáveis, os equipamentos de um kit de energia solar precisam, principalmente, apresentar uma estrutura que suporte frio, calor, chuva, granizo e outras eventuais circunstâncias do tempo. Por mais que os painéis fotovoltaicos sejam robustos e os fabricantes se esforcem para garantir o máximo de confiabilidade aos equipamentos, é impossível evitar que o material sofra desgastes pela exposição. Dessa forma, é de se esperar que tudo tenha uma validade. A expectativa de vida útil e durabilidade dos painéis solares depende da garantia de cada fabricante, entretanto, é calculado, em média, um período de 25 anos, funcionando com 80% de seu desempenho original. O cálculo da eficiência perdida anualmente não é simples, porém de maneira geral, eles tendem a perder até 3% no primeiro ano e depois em média 0,7% ao ano.

Uma das maneiras de avaliação periódica de desempenho de uma célula ou painel fotovoltaico, é por meio da obtenção da curva I-V, onde por ela, é possível obter ainda, a curva P-V e localizar o ponto de máxima potência da célula/painel. Os fabricantes de células e painéis fotovoltaicos fornecem as características elétricas de seus produtos e principais parâmetros, os quais são medidos em laboratório e em condições padrões (*Standard Testing Conditions - STC: 1000 W/m² de irradiância, 25°C de temperatura da célula e massa de ar de 1,5*), condições estas, alcançadas com a utilização de um simulador solar. Ao utilizar um conjunto fixo de condições, todas as células ou painéis solares podem ser comparados e avaliados um contra o outro de forma mais precisa.

Nesse sentido, é importante a avaliação do desempenho dos painéis fotovoltaicos, tanto para uma boa previsão da energia que um sistema pode disponibilizar, como para o desenvolvimento de células e revestimentos cristalinos mais eficientes. Para essa avaliação são utilizados os traçadores de curva I-V.

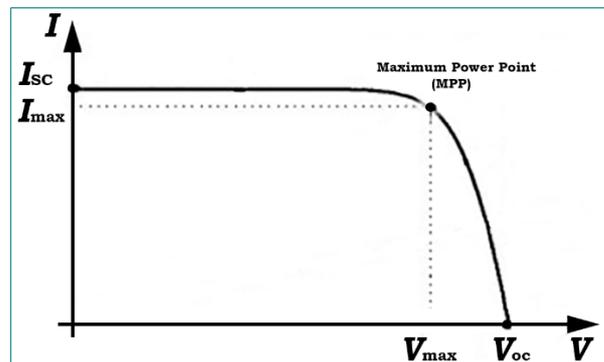
Ainda que existam equipamentos para esse fim no mercado, seu custo pode alcançar valores muito altos para a realidade do Brasil. Um outro ponto negativo dos traçadores de curva fotovoltaica comerciais, está na sensibilidade dos mesmos, não sendo capazes de levantar informações de células fotovoltaicas, elas que em conjunto compõem um painel solar. Desse modo, as pesquisas de base no

aperfeiçoamento de revestimentos cristalinos das células dependem de traçadores de curva com sensibilidades muito baixas.

A eficiência de um painel fotovoltaico, pode ser determinada a partir da curva que relaciona a tensão com a corrente à saída do mesmo. Esta curva é conhecida como curva característica I-V, ela se apresenta da mesma forma geral para qualquer painel (SARIKH; RAOUFI; BEUNNOUNA, 2017).

A figura 1 ilustra uma curva I-V de um painel genérico.

Figura 1 – Curva I-V

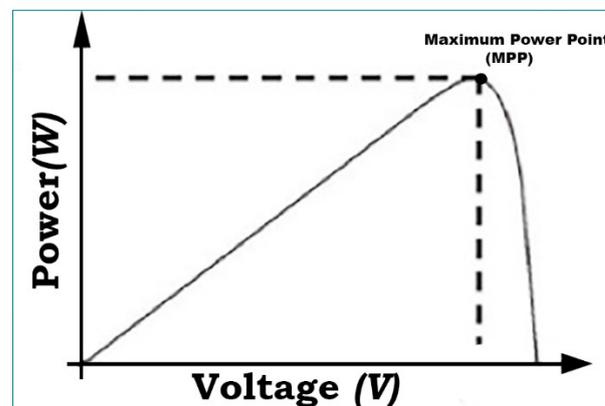


Fonte: Adaptado de <

https://paginas.fe.up.pt/~ee03195/Carro_Solar/PaineisCurvasdeFuncionamento.html
 Acesso em: 25 ago. 2020.

Assim sendo, I_{sc} representa a corrente de curto-circuito, ou seja, é a máxima corrente elétrica que o módulo pode fornecer. Por outro lado, V_{oc} é a tensão de circuito aberto, ou melhor dizendo, é a máxima tensão que o módulo pode fornecer. Portanto, a partir do cruzamento dessas informações podemos determinar o M_{pp} , que é o ponto que indica a máxima potência do dispositivo gerador. Este ponto singular, fica localizado no joelho de uma curva I-V, ou no pico da curva de potência por tensão P-V como na figura 2 (SARIKH; RAOUFI; BEUNNOUNA, 2017).

Figura 2 – Curva P-V.



Fonte: Adaptado de <

https://paginas.fe.up.pt/~ee03195/Carro_Solar/PaineisCurvasdeFuncionamento.html
 Acesso em: 25 ago. 2020.

Nesse sentido, a caracterização de células fotovoltaicas, são essenciais para o aperfeiçoamento das tecnologias já existentes, além de ser uma importante ferramenta para implementação de projetos envolvendo de geração de energia solar. Assim um método simples e de baixo custo, cujo funcionamento satisfaça essas necessidades é de grande importância no atual cenário.

A figura 3 mostra os primeiros testes do protótipo em campo:

Figura 3 – Foto dos testes iniciais do protótipo.



Fonte: Autoria própria 2020.

METODOLOGIA

A lógica desenvolvida para traçar as curvas de corrente e tensão de uma célula ou um painel fotovoltaico, conta com um circuito de potência e um circuito microcontrolado para comandar os elementos de potência e efetuar as leituras nos pontos desejados para extrair os dados necessários.

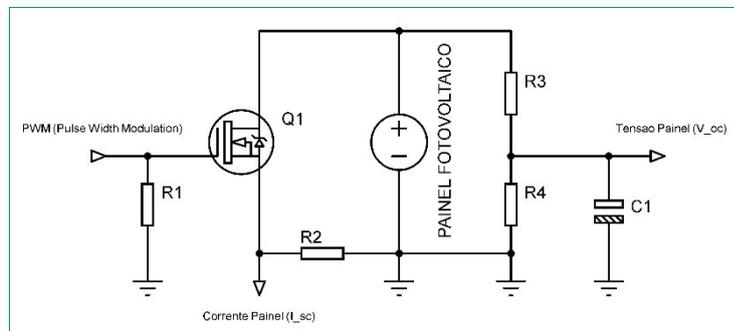
Foi desenvolvida uma carga eletrônica, construída utilizando um transistor de efeito de campo do tipo MOSFET. O MOSFET, por sua vez, é controlado por um sinal PWM variável no tempo, tendo sua rampa de crescimento programada no microcontrolador.

O circuito de potência conta com um resistor de alta potência e uma baixa resistência (Shunt), que fica em série com o painel ou célula solar. Um MOSFET (transistor de efeito de campo) faz o papel de chave para abrir e fechar a malha. Desse modo a queda de tensão sobre o resistor é proporcional a corrente fornecida pelo dispositivo gerador, e partir dessa tensão é possível então medir a real corrente fornecida e plotar o gráfico da corrente no tempo.

Por outro lado, podemos plotar a tensão no tempo a partir da queda de tensão do painel ao longo do período de chaveamento do MOSFET até que tensão do painel chegue ao seu valor mínimo.

De posse do comportamento da tensão e da corrente já podemos plotar as curvas características do dispositivo. O circuito de potência pode ser observado na figura 4, imediatamente abaixo:

Figura 4 – Circuito de potência.

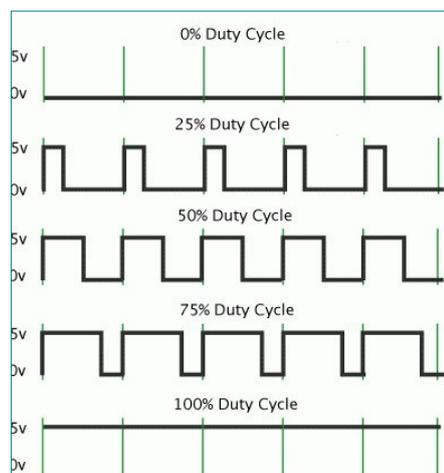


Fonte: Autoria própria 2020.

O resistor R1 do circuito, é um resistor de *pull-down*, usado para garantir que a saída do microcontrolador em nível lógico baixo quando o PWM (*pulse width modulation*) estiver em zero. Enquanto o capacitor C1 é um filtro passa-baixa para suavizar a curva de queda de tensão do painel.

Para a implementação do projeto foi utilizado um microcontrolador, que foi programado para gerar um sinal PWM em rampa, esse sinal pode ser visualizado na figura 5, esse sinal é responsável pelo o controle do MOSFET.

Figura 5 – Rampa PWM.



Fonte: Disponível em: <

<https://professorcaetano.wordpress.com/2016/07/14/grandezas-digitais-e-analogicas-e-pwm/> Acesso em: 25 ago. 2020.

A aquisição dos dados é realizada pelo mesmo microcontrolador, que efetua as leituras analógicas nas respectivas saídas do circuito de potência. Os resistores R3 e R4 do circuito da figura 4, formam um divisor de tensão que gera uma queda de tensão proporcional aos níveis de tensão máximo que o microcontrolador pode receber em sua entrada analógica.

Todas as leituras realizadas pelo microcontrolador após passarem pela conversão analógica digital, são imediatamente escritas na porta serial.

Com o auxílio do software GNU Octave, que é uma linguagem computacional, desenvolvida para computação matemática, os dados são lidos na porta serial e após o devido tratamento são plotados os gráficos das curvas características I-V e P-V.

Os componentes necessários para o protótipo, em sua maioria, foram retirados de equipamentos doados ao projeto de reaproveitamento de lixo eletrônico do curso de engenharia eletrônica da UTFPR campus Campo Mourão, onde estes componentes são dessoldados, separados, testados e armazenados para uso em projetos posteriores, sendo de alunos e professores, promovendo assim, uma reutilização de materiais que possivelmente iriam ser descartados de maneira inadequada na natureza.

O microcontrolador escolhido foi o ATMEGA328p, por possuir um conversor ADC (conversor analógico digital) de 8 bits, que representa uma boa resolução para a aplicação. Além da possibilidade de se utilizar a plataforma Arduino, que já conta com um o conversor serial para USB.

O algoritmo implementado gera o PWM com uma frequência de aproximadamente 500 Hz, começando com uma largura de pulso de 0% que vai aumentando gradativamente até 100%.

Dentro do mesmo laço infinito o algoritmo faz leituras nas portas referentes aos valores de tensão e corrente do circuito de potência. Além de efetuar no mesmo laço a conversão analógico digital dos valores obtidos.

A cada 100 milissegundos, o timer do temporizador estoura é nesse instante que o PWM faz um incremento em sua largura de pulso.

Todos os valores ao final de cada ciclo de leitura e conversão, são escritos na porta serial, que são capturados pelo código desenvolvido na plataforma GNU Octave. Os valores de tensão e corrente ao longo do tempo são armazenados em vetores individuais, e partir desses dois vetores é que são feitos os cálculos da potência, e só então as curvas são plotadas e disponibilizadas.

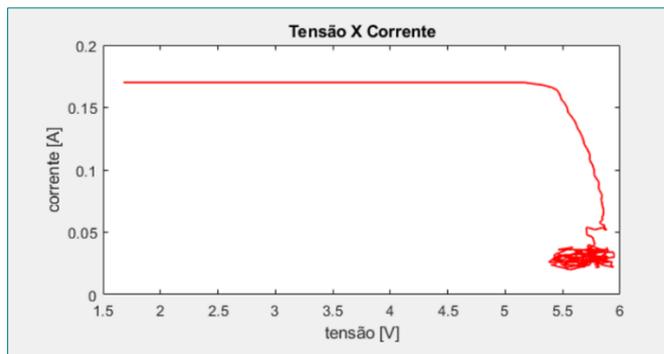
RESULTADOS E DISCUSSÕES

Embora o dispositivo tenha apresentado algumas distorções para painéis pequenos e células individuais (dispositivos com potências abaixo de 5W), correções podem ser implementadas a partir de filtros digitais.

Por outro lado, o uso para painéis maiores (acima de 5W), obtiveram resultados promissores e o seu uso não ficou comprometido.

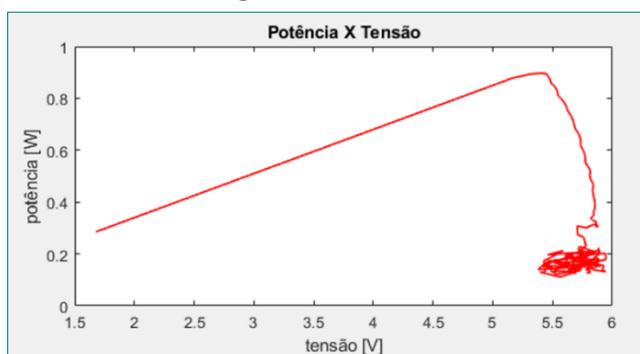
A figura 6, representa a curva I-V, enquanto a figura 7 a curva P-V, ambas obtidas a partir de uma célula de 5 V.

Figura 6 – Curva I-V.



Fonte: Autoria própria 2020.

Figura 7 – Curva P-V.



Fonte: Autoria própria 2020.

O sistema se demonstrou como uma boa ferramenta para caracterização de painéis fotovoltaicos, com um baixo custo de implementação. Embora ainda careça de implementação de módulos de amplificação e filtragem.

CONCLUSÕES

Pode-se concluir que a implementação foi feita com sucesso, e o sistema se mostrou viável tanto em termos econômicos quanto técnicos, contudo o funcionamento do protótipo não ficou conforme esperado para células de 0,5V/380mA (0,19W), as quais são comumente utilizadas para estudos de novos encapsulamentos de conversores fotovoltaicos, provavelmente pelo fato dos valores das variáveis envolvidas serem muito pequenos e influenciados pelo ruído gerado pelo chaveamento do MOSFET.

Sendo assim, pode-se dizer que os objetivos iniciais foram parcialmente concluídos, e o projeto pode ser ainda aprimorado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço meu professor e orientador Dr. Gilson Schiavon pelo acompanhamento e apoio prestado ao longo do projeto, como também a Fundação Araucária pelo apoio financeiro por meio da bolsa de iniciação científica.

REFERÊNCIAS

MORETÓN, Rodrigo; LORENZO, Eduardo; MUÑOZ, Javier. **A 500 kW PV generator I-V curve**. Progress In Photovoltaics: Research and applications, John Wiley & Sons, 2013. Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/260303296_A_500-kW_PV_generator_I-V_curve. Acesso em: 21 jun. 2020.

SARIKH, Salima; RAOUFI, Mustapha; BEUNNOUNA, Amin. **Design of an I-V Characteristic Tracer For Photovoltaic Systems**. International Renewable and Sustainable Energy Conference, 2017. Disponível em:
<https://ieeexplore.ieee.org/document/8477298>. Acesso em: 21 jan. 2019.

SILVA, Guimarães R.; CARMO, Jose M. **ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: UMA PROPOSTA PARA MELHORIA DA GESTÃO ENERGÉTICA**. International Scientific Journal Nº 2, volume 12, 2017. Disponível em:
<http://www.interscienceplace.org/isp/index.php/isp/article/view/649>. Acesso em: 21 jun. 2019.

Atmel Corporation. Datasheet: **8-bit AVR Microcontroller with 32K Bytes In-System Programmable Flash**, 2015.

Kit de Energia Solar: Qual a Vida Útil dos Equipamentos. Disponível em:
<https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/kit-de-energia-solar-vida-util/>. Acesso em: 21 jun. 2019.