

TOPOLOGIAS EM TRAÇADOR DE CURVA I-V PARA MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Ana Lyvia Pereira Lima de Araújo (UFC) - lyvia.lima97@gmail.com

Arthur VINÍCIUS LOPES (UFC) - arthursantos1500@outlook.com

Adson Bezerra Moreira (UFC) - adsonbmoreira@gmail.com

Resumo:

As instalações de painéis fotovoltaicos utilizam equipamentos que verificam os diagnósticos, certificando-se das informações dos módulos fotovoltaicos, como também auxiliar nas operações e manutenções. No entanto, este equipamento possui um elevado valor de obtenção para pequenos empreendimentos. O desenvolvimento de um traçador de curva I-V apresenta uma importância significativa para a avaliação do módulo fotovoltaico, verificando possíveis defeitos nas células que consiste o módulo, a partir de descontinuidades na curva característica natural do traçador. Dessa forma, será abordado sobre as cargas variáveis que podem ser implementadas juntamente com o módulo fotovoltaico, realizando comparações para a obtenção da carga com o melhor desempenho, com resposta rápida e baixo custo. Por conseguinte, será apresentado a simulação da carga variável, o conversor CC-CC buck-boost com o painel fotovoltaico, obtendo-se a curva característica I-V.

Palavras-chave: *Painéis Fotovoltaicos, Traçador de curva I-V, Cargas Variáveis.*

Área temática: *Conversão Fotovoltaica*

Subárea temática: *Tecnologias e ensaios de módulos fotovoltaicos*

TOPOLOGIAS EM TRAÇADOR DE CURVA I-V PARA MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Ana Lyvia Pereira Lima de Araújo – lyvia.lima97@gmail.com

Arthur Vinicius dos Santos Lopes – arthursantos1500@outlook.com

Adson Bezerra Moreira – adsonbmoreira@gmail.com

Campus Sobral, Universidade Federal do Ceará, Engenharia Elétrica, Sobral-CE

Resumo. As instalações de painéis fotovoltaicos utilizam equipamentos que verificam os diagnósticos, certificando-se das informações dos módulos fotovoltaicos, como também auxiliar nas operações e manutenções. No entanto, este equipamento possui um elevado valor de obtenção para pequenos empreendimentos. O desenvolvimento de um traçador de curva I-V apresenta uma importância significativa para a avaliação do módulo fotovoltaico, verificando possíveis defeitos nas células que compõem o módulo, a partir de descontinuidades na curva característica natural do traçador. Dessa forma, será abordado sobre as cargas variáveis que podem ser implementadas juntamente com o módulo fotovoltaico, realizando comparações para a obtenção da carga com o melhor desempenho, com resposta rápida e baixo custo. Por conseguinte, será apresentado a simulação da carga variável, o conversor CC-CC buck-boost com o painel fotovoltaico, obtendo-se a curva característica I-V.

Palavras-chave: Painéis Fotovoltaicos, Traçador de curva I-V, Cargas Variáveis.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos ocorreu um elevado crescimento em instalações de sistemas de geração de distribuição de energia elétrica no Brasil, ultrapassando 1 GW de potência instalada em micro e mini geração distribuída de energia. E a partir da regulação da Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL (Resoluções Normativas 482/2012 e 687/2015), possibilita que o consumidor possa gerar sua energia elétrica através de fontes renováveis. Por conseguinte, a fonte que apresenta maior destaque é a fotovoltaica, responsável por cerca de 870 megawatts (MW) de potência instalada, com 82,6 mil micro e mini usinas. Nos estados de Minas Gerais superando 16,7 mil unidades de geração com 212,3 MW de potência instalada, Rio Grande do Sul apresentando 12 mil unidades com potência instalada de 144,4 MW e São Paulo que atingiu 14,5 mil unidades com 117,4 MW, formam os estados brasileiros que mais desenvolveram a micro e minigeração no país (ANEEL, 2019).

Em 2017, em nível global foi instalado aproximadamente 95 GW, apresentando um crescimento exponencial no mercado de energia solar na China, Estados Unidos e Índia. Tais mercados mostram equilíbrio entre as instalações de grande porte, em usinas solares e geração distribuída, instalações em telhados de casas e empresas, destacando a energia fotovoltaica como um resultado para várias necessidades, desde a produção de energia para uma residência como também em uma grande usina solar, produzindo energia para comunidades (PORTAL SOLAR, 2019).

Os módulos fotovoltaicos são responsáveis por converter a radiação solar em eletricidade, tais módulos possuem características elétricas que possibilitam a verificação da sua qualidade e desempenho. Esta verificação pode ser realizada através da curva característica do módulo fotovoltaico, proporcionando obter a corrente de curto-circuito, tensão de circuito aberto, potência máxima e entre outros parâmetros. Após projetar e ao ser feita a instalação dos painéis solares, para garantir as ótimas operações, é necessário conhecer vários fatores que influenciam a eficiência do sistema de energia, pois esses sistemas são expostos a diversas falhas e defeitos que afetam a energia gerada, como, falhas por curto-circuito, circuito aberto e mesmo algum dano durante o transporte e instalação dos painéis. O diagnóstico torna-se uma prática fundamental para detectar possíveis defeitos e com o traçado da curva I-V é possível identificá-los nas células que fazem parte do módulo.

Com o elevado crescimento do número de instalações de painéis fotovoltaicos (FV) no Brasil, equipamentos para diagnosticar, o funcionamento durante a instalação FV e evitar possíveis problemas que podem surgir ao longo dos anos no sistema elétrico, auxiliando nas operações e manutenções. O equipamento é conhecido como Traçador de curva I-V, capaz de fornecer a curva característica. Dessa forma, a partir da curva I-V pode-se determinar a corrente de curto circuito, a tensão de circuito aberto, a máxima potência e outros fatores.

Este artigo tem como objetivo apresentar conceitos fundamentais para a construção de um traçador de curva I-V, realizar a comparação entre os métodos de obtenção da curva I-V e com isso desenvolver a simulação da carga variável com o módulo fotovoltaico, observando o seu desempenho.

2. CARACTERIZAÇÃO DO MÓDULO FV

Para a verificação das características dos arranjos ou das placas fotovoltaico, se faz necessário um dispositivo que consiga varrer todos os pontos da curva característica do painel, podendo verificar a corrente máxima fornecida, a tensão máxima e informar o ponto de maior transferência de potência para uma determinada carga. Para a análise é necessário um modelo matemático equivalente do painel FV, apresentado na Fig. 1.

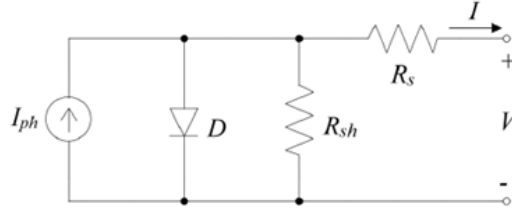


Figura 1 - Modelo elétrico equivalente do FV.

Para análise matemática, o modelo equivalente do painel FV é tomado como base, onde I_{ph} é caracterizado com uma fonte de corrente que depende da irradiação a qual a célula está submetida. A irradiação é a relação entre a quantidade de energia solar que penetra em uma determinada área, cuja a unidade é expressada em Watts por metro quadrado (W/m^2).

Considerando a R_s e R_{sh} , em que são respectivamente as resistências em série e paralelo. Sendo, R_s a resistência intrínseca do material semiconductor somada com resistência dos contatos e interconexões metálicas e a resistência entre os contatos metálicos e o semiconductor. A R_{sh} (ou resistência Shunt) é causado devido a fuga de elétrons através da junção P-N, a qual ocorre devido defeitos no cristal ou impurezas na junção P-N.

Analisando a Fig. 1, é necessário obter as características $I \times V$ do painel fotovoltaico. Utilizando-se dos teoremas da análise de circuitos elétricos e aplicando a lei de Kirchhoff das correntes, a corrente do painel, e dada por (1).

$$I = I_{ph} - I_d - I_{rsh} \quad (1)$$

Em que I_d é a corrente que passa pelo diodo em antiparalelo com a fonte de corrente I_{ph} . Sendo I_d é calculado por (2).

$$I_d = I_o \cdot \left[\exp\left(\frac{q \cdot V_d}{n \cdot k \cdot T}\right) - 1 \right] \quad (2)$$

Dada a Eq. (2), q é a carga do elétron ($1.602 \times 10^{-19} C$), k é a constante de Boltzmann ($1.38065 \times 10^{-23} J/K$), I_o é a corrente de saturação reversa do diodo ou corrente de fuga, e T é a temperatura da junção P-N (Temperatura da célula FV em Operação), expressa em Kelvin. Enquanto, V_d é a tensão do diodo. Calculada por (3).

$$V_d = I_{rsh} \cdot R_{rsh} \quad (3)$$

Substituindo (2) e (3) em (1) a equação da corrente do painel FV e rescrita por (4).

$$I = I_{ph} - I_o \cdot \left[\exp\left(\frac{q \cdot V_d}{n \cdot k \cdot T}\right) - 1 \right] - \frac{V + I \cdot R_s}{R_{sh}} \quad (4)$$

O modelo matemático pode ser ampliado, fazendo a conexão de outras células em série, idealmente iguais e submetidas ao mesmo nível de irradiação. A Eq. (4) pode relacionar com o equivalente das resistências série e paralelo, de acordo com (5).

$$R_s' = R_s \cdot N_s \text{ e } R_{sh}' = R_{sh} \cdot N_s \quad (5)$$

Substituindo (5) em (4), resulta em (6).

$$I = I_{ph} - I_o \cdot \left[\exp\left(\frac{q \cdot (V + I \cdot R_s')}{n \cdot k \cdot T N_s}\right) - 1 \right] - \frac{V + I \cdot R_s'}{R_{sh}'} \quad (6)$$

O valor tensão de saída da célula depende da tensão do diodo e a queda de tensão provocada pela resistência série.

2.1 Curva Característica IxV e PxV

Os módulos fotovoltaicos são caracterizados por suas curvas de corrente versus tensão e potência versus tensão, no entanto os valores de corrente e tensão dos painéis, sofrem influência das características de temperatura e irradiação.

Na Fig. 2 são mostradas a curva I-V e a curva P-V, na qual pode-se destacar alguns pontos importantes:

- I_{SC} - Corrente de curto-circuito da célula, em que é a corrente máxima que o painel fornecer, mediante a tensão está tendo a zero.
- I_{MP} - Corrente onde há máxima geração de potência;
- P_{MAX} - O ponto em que o painel entrega a máxima potência;
- V_{MP} - Tensão para ocorrer a máxima geração de potência;
- V_{OC} - Tensão de circuito aberto, em que é o valor máximo de tensão que o painel consegue fornecer, mediante a corrente seja zero.

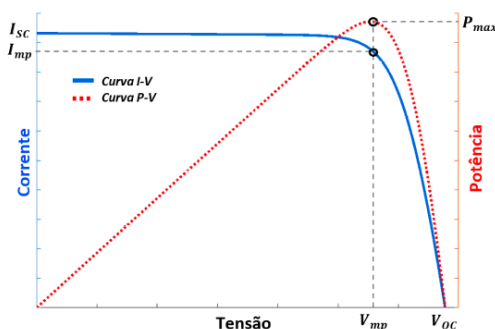


Figura 2 - Curvas características IxV e PxV

3. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO TRAÇADOR FOTOVOLTAICO

O traçador de curva I-V de painéis solares é um equipamento importante para a verificação do funcionamento do arranjo dos painéis, mediante os dados de temperatura e irradiação, pode-se observar a qualidade de desempenho dos módulos. A curva fornecida por esse equipamento, permite que um especialista analise o painel solar FV.

Este equipamento é constituído de diversos estágios, como mostrado na Fig. 3, apresentando bloco de aquisição e condicionamento, processamento e controle, utilizando também uma carga variável em sua composição. O esquema é composto pelos blocos do traçador, com sensores para obter os parâmetros de tensão, corrente, temperatura e irradiação. Os valores de tensão e corrente são obtidos para uma determinada condição de temperatura da célula e de irradiação solar no plano do painel. O esquema também apresenta ferramentas para a interface homem-máquina (IHM) como, computadores, aplicativos, proporcionando interação do homem com a máquina, podendo o mesmo visualizar a curva I-V e valores medidos para a análise de possíveis problemas, em todos os instrumentos comerciais.

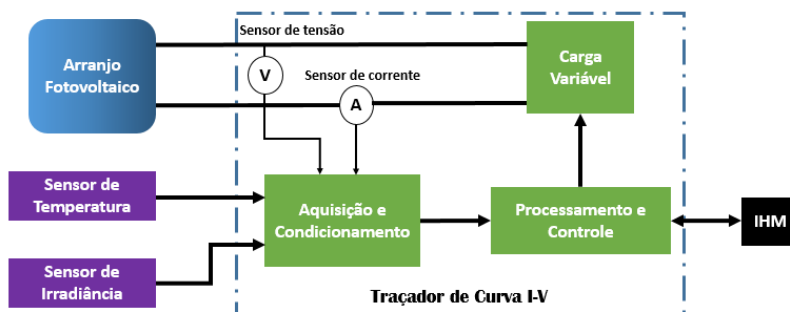


Figura 3 - Esquemático do Traçador de Curva I-V.

O componente de controle central é o microcontrolador, em que é realizada a medição e o controle dos parâmetros elétricos. Os dados podem ser enviados para o computador, sendo possível obter o comportamento graficamente do painel com as variações de carga, definindo a região de máxima potência.

4. CARGA VARIÁVEL

Em um trabalho recente, E. Duran et al. (2017) propuseram que, para obter a curva característica do módulo FV é necessário que haja uma carga variável que possibilite obter todos os pontos da curva I-V. Para isso utiliza-se alguns tipos de carga para realizar esse processo, quatro tipos de métodos podem ser utilizados para essa finalidade: carga resistiva variável, conversor CC-CC com carga resistiva, carga eletrônica e carga capacitiva.

4.1 Carga Resistiva Variável

Em uma análise prévia, é encontrado um dispositivo, que pode percorrer a curva do I-V, sendo caracterizado com uma resistência variável, um potenciômetro, ele idealmente pode percorrer todos os pontos da curva, funcionando, como um circuito aberto, em que sua resistência adquire um valor muito grande, teoricamente tende para o infinito, caracterizado o circuito aberto, A. Ibrahim (2011). A configuração é ilustrada na Fig.4.

Outro ponto de interesse desse dispositivo é quando a sua resistência tende para o valor zero, representando o curto-circuito para o painel, obtendo a corrente de I_{sc} . A partir do ajuste da carga é possível verificar todos os pontos importantes da curva dos módulos.

No entanto, esse método utilizando o potenciômetro é limitado devido a dissipação de potência e é necessário, realizar a mudança de resistência manualmente. De modo análogo, foram utilizadas chaves eletrônicas (MOSFET, IGBT e TBJ), controladas automaticamente, para fazer abertura e fechamento das chaves que ligam as cargas resistivas ao painel solares, simulando o funcionamento do potenciômetro E. VAN DYK et al. (2002). O ajuste de carga a partir das chaves eletrônicas melhora a precisão do sistema, devido o tempo de manobra das chaves ser automatizado, retirando qualquer interferência no tempo de realização das mudanças de resistência realizada manualmente.

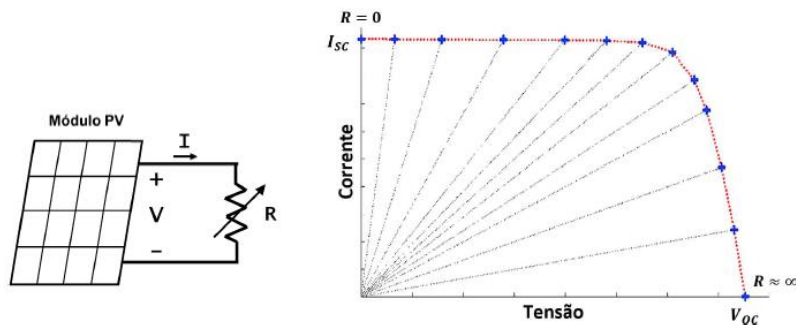


Figura 4 - Carga resistiva variável e curva I-V obtida a partir da carga resistiva variável.

4.2 Capacitiva

O capacitor é um componente que permite armazenar energia elétrica e manter essa energia durante um certo período. Em J. MUÑOZ et al (2006), é utilizado o capacitor juntamente com o IGBT na saída do painel fotovoltaico, para obter a curva característica I-V de matrizes fotovoltaicas com correntes de curto-circuito de até 80 A e tensões de até 800 V. Na Fig. 5, observa-se o esquema da carga capacitiva composta por um capacitor e a chave, e as formas de ondas de corrente e tensão após o fechamento da chave, $t=0$. Quando o capacitor é descarregado, ou seja, com a tensão zero em seus terminais e a chave fechada, o painel fornece corrente de curto-circuito e o carregamento do capacitor é iniciado. Dessa forma, a tensão do capacitor se eleva do ponto de curto-circuito até alcançar a tensão de circuito aberto. Portanto, com o capacitor descarregado inicialmente e se aplicar uma tensão em seus terminais, a carga aumenta gradativamente até a tensão de circuito aberto.

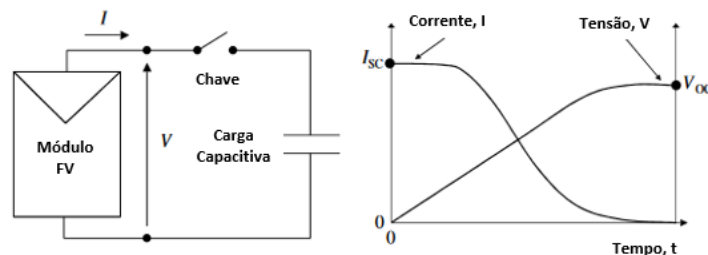


Figura 5 - Carga capacitiva ideal e Formas de onda de corrente e tensão.

O método de carregamento do capacitor para a obtenção da curva I-V e P-V também é utilizado em F. SPERTINO et al. (2015), fazendo o rastreamento do ponto de máxima potência (MPPT), destacando como principal problema o dimensionamento correto do capacitor para a aplicação e assim obter resultados precisos, com curvas uniformes e suaves. Dessa forma, foram realizados testes para uma mesma irradiância e temperatura em módulos de diferentes tecnologias, com diferentes faixas de capacitâncias, observando o comportamento das formas de ondas de corrente e tensão para a obtenção do ponto de máxima potência.

4.3 Carga Eletrônica

A carga eletrônica consiste em dispositivos semicondutores aplicados em Eletrônica de potência, como, os transistores, MOSFET, IGBT E BJT, em que são controlados por tensão, corrente e frequência.

Em Y. Kuain et al. (2006) é utilizado como carga eletrônica, o MOSFET que opera em sua região linear, como uma carga controlada eletronicamente, possuindo como grande vantagem a sua rápida varredura. O circuito adotado, a partir da V_{GS} varre as curvas de maneira rápida, formando as características I-V e P-V dos módulos fotovoltaicos, juntamente com o dispositivo é adicionado um resistor de potência em série, utilizado para dissipar a energia gerada pelo módulo FV, como ilustrado na Fig. 6. Nessa aplicação, foram realizados testes com o módulo FV e o MOSFET, analisando a operação e as equações características, cujo o ponto de operação do dispositivo é definido a partir da característica do painel fotovoltaico, característica do MOSFET e a conexão do circuito, com todos os dados fornecidos, o dispositivo eletrônico operado de acordo com a tensão V_{GS} . Em casos que se apresenta um valor de corrente de saída dos painéis mais elevada, como é verificado em um conjunto de painéis fotovoltaicos, pode-se associar vários MOSFETS em paralelo.

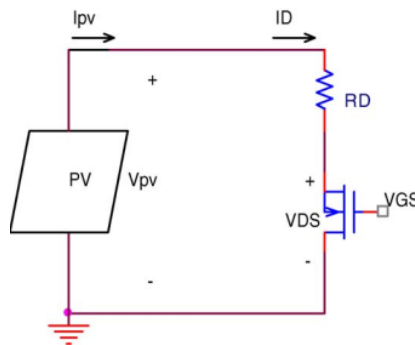


Figura 6 - Circuito Esquemático.

Em V. Leite et al. (2010), assim como em Y. Kuain et al. (2006), realiza-se um teste que utiliza o MOSFET de baixa tensão, ou para potências maiores o MOSFET de alta tensão ou IGBT. Na Fig. 7, a curva em vermelho tem-se a curva característica de um módulo fotovoltaico e as curvas em azul verifica-se as curvas características de um MOSFET, para dada tensões, V_{GS} . Dessa forma, a interseção de característica do módulo com a carga eletrônica determina o ponto de operação, para uma dada tensão V_{GS} , quando for rastreado o V_{GS} em um sinal adequado, o ponto de operação do MOSFET varre o $I_{FV} - V_{FV}$. O circuito proposto, além dos dispositivos de potência, apresenta um conversor CC-CC, circuito eletrônico com isolamento galvânico, evitando danos aos sistemas de aquisição de dados e melhorando a segurança para os operadores. Este circuito proposto é utilizado para analisar as condições de temperatura, irradiância, sombreamento parcial, como também identificar mau funcionamento.

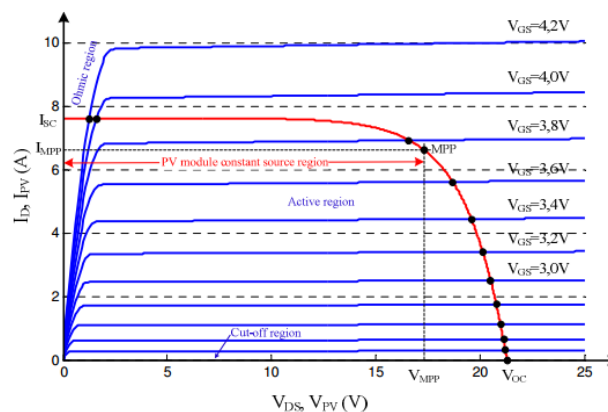


Figura 7 - Curvas características do Módulo FV e MOSFET.

4.4 Conversor CC-CC resistiva

O conversor CC-CC é um circuito eletrônico utilizado na conversão de uma tensão em corrente contínua aplicado na sua entrada em outra tensão em corrente contínua, apresentando uma amplitude diferente na sua saída, podendo ou não inverter a sua polaridade, a partir da modulação por largura de pulso (PWM). Frequentemente os conversores são utilizados em sistemas fotovoltaicos para converter a tensão em outra, como também para realizar a busca de máxima potência através de algoritmo MPPT, o *Maximum Power Point Tracker* (MPPT). Na Fig. 8 pode-se observar o esquema com a aplicação da mesma.

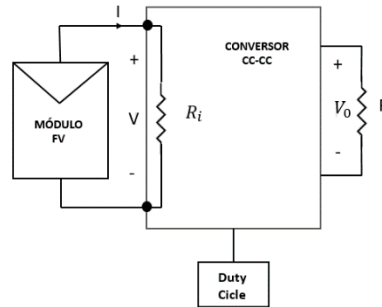


Figura 8 - Esquema com o conversor CC-CC.

Em E. Duran et al. (2007), é utilizado o conversor buck-boost, que se obtém-se a corrente do terminal do módulo variando de zero a corrente de curto-circuito, realizando também a análise teórica do conversor Cúk e SEPIC, por meio de simulações, observando que o conversor SEPIC permite a execução da varredura completa da curva I-V, possuindo como principal vantagem a facilidade a incorporação do isolamento galvânico, não invertendo a polaridade na tensão de saída. O Cúk possui característica de execução semelhante ao SEPIC. O método empregado, o Buck-Boost é o único que proporciona traçar os pontos de curva descrita anteriormente, pois com o conversor Buck não se consegue traçar os pontos de curva próximos a corrente de curto-circuito (I_{SC}) e com o conversor Boost não se alcança os pontos próximos da tensão de circuito aberto (V_{OC}). Enquanto utilizando o SEPIC e o Cúk, a curva I-V do painel é com menor ondulação. Dessa forma, o método desenvolvido permite, a exibição direta da curva I-V, podendo traçar essa curva nas duas direções, de I_{SC} para V_{OC} ou de V_{OC} para I_{SC} e reproduzir parcialmente a curva I-V.

No M. Kazerami (2007), é utilizado o conversor Buck, composto pelo dispositivo de potência IGBT, um diodo de recuperação rápida, um indutor, um capacitor e na saída dos terminais do buck é conectado um resistor fixo, apresentando o controle do mesmo, através de simulações para verificar a capacidade de operação, com resistência variável, corrente variável e potência variável. Além disso, utilizando um filtro passa-baixa na entrada com a finalidade de reduzir as ondulações de corrente indesejadas nos terminais da fonte, a um nível tolerado pela fonte e dos painéis. A partir da análise dos resultados das simulações, comparadas com os dados do fabricante do painel, o esquema com a carga aplicada é possível obter a curva característica IxV, concluindo-se é a carga introduzida é de alto desempenho, com estrutura simples, com resposta rápida e de baixo custo.

O conversor buck-boost não-inversor CC-CC, ou seja, com a tensão de saída positiva, possuindo como característica quatro estados de comutação, formado por um conversor buck e boost em cascata, eliminando um capacitor no conversor buck e por duas chaves para a comutação e obtenção das possibilidades dos conversores: buck, boost, buck-boost com apenas uma topologia, representando como sua principal característica Arash A. Boora et al. (2008). Na Fig. 9 é ilustrado o esquema do conversor buck-boost positivo.

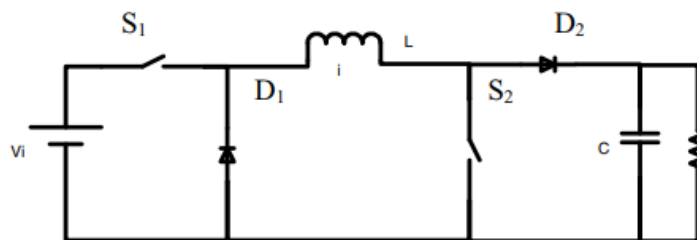


Figura 9 - Conversor CC-CC Buck-Boost não-inversor.

5. SIMULAÇÃO DO CONVERSOR BUCK-BOOST POSITIVO COM O PAINEL FOTOVOLTAICO

Para a análise do traçador de curva I-V foi utilizado um conversor CC-CC para emular uma carga variável no painel FV. O conversor CC-CC Buck-Boost positivo foi adotado e realizados de simulação foram obtidos a partir do software PSIM.

Na Tab. 1 mostra-se as informações do painel FV utilizadas para a simulação.

Tabela 1: Características Elétricas do FV

Características Elétricas	
Máxima Potência (Pmax)	130W
Tensão (Vmap)	17,4V
Corrente (Imp)	7,20A
Tensão (Voc)	21,7V
Corrente (Isc)	8,0A

O conversor CC-CC foi dimensionado para atender os valores da Tab. 1. Para realizar o dimensionamento do Buck-Boost positivo, baseia-se na potência de saída P_o .

$$P_o = R \cdot I_o^2 \quad (7)$$

Sendo I_o é a corrente de saída, a que circula no resistor, foi escolhida I_{sc} do painel FV.

Dessa forma, pode-se obter a corrente de curto-circuito, utilizando (7) e substituindo os valores de I_{sc} e P_o extraído da Tab. 1, obtém-se o valor de R.

$$R = \frac{130}{8^2} = 2.03\Omega \quad (8)$$

O indutor foi dimensionado a partir (9):

$$L_{min} = \frac{(1-D)^2 \cdot R}{2f} \quad (9)$$

Onde f é a frequência de chaveamento, que foi definida com 40kHz, D é a razão cíclica do chaveamento das chaves, com valor 0.43. O valor do indutor mínimo (L_{min}) é $8,25\mu H$.

O valor do capacitor é determinado por (10).

$$C = \frac{D \cdot V_o}{R \cdot f \cdot \Delta V_o} \quad (10)$$

Em que V_o é a tensão de saída do conversor e ΔV_o é a ondulação da tensão de saída a qual foi definida em 5%.

Na Fig. 10 são mostrados o painel FV e o conversor buck-boost. O controle do *duty cycle* é obtido de acordo com o esquema da Fig. 11.

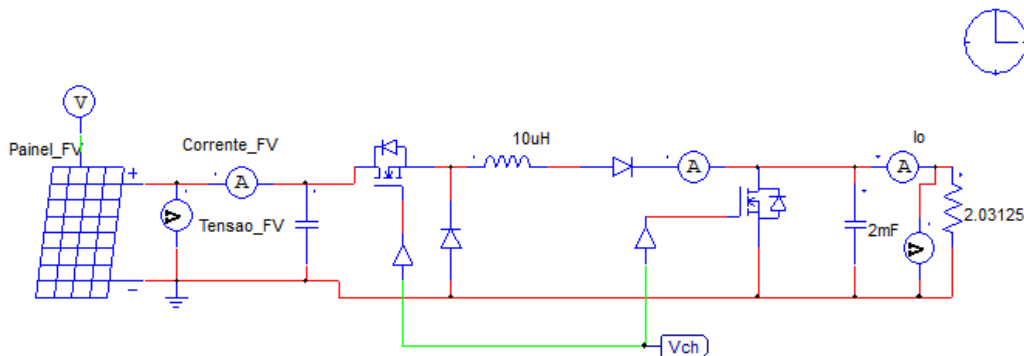


Figura 10 - Conversor CC-CC conectado ao painel FV.

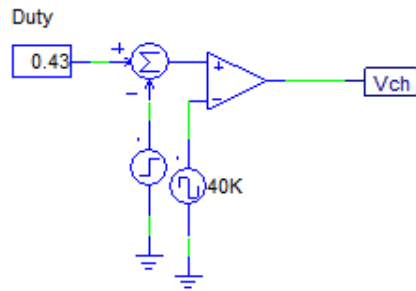


Figura 11 - Esquema para controle do *duty cycle*.

5.1 Resultados Preliminares

Foram obtidas as formas de ondas da corrente e tensão do painel fotovoltaico, como também a forma de onda da potência, na Fig. 12.

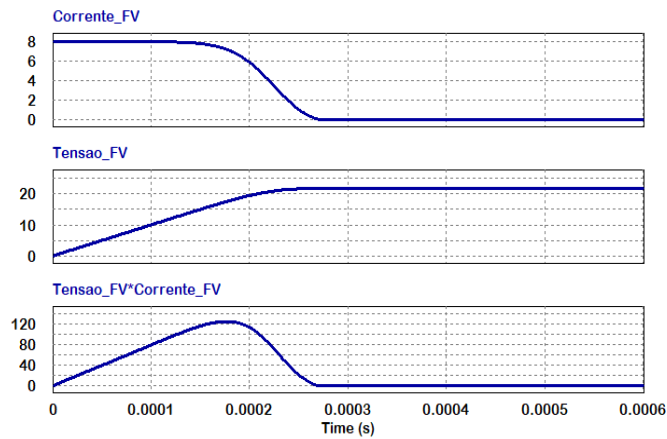


Figura 12 - Formas de onda da corrente, tensão e potência.

Com a variação do ciclo de trabalho é possível obter uma distribuição de pontos adequada para traçar a curva I-V e a curva P-V, com o tempo de varredura de $t = 30\mu\text{s}$. Na Figura 13 é observada a curva I-V obtida com os 30 pontos na Fig.15, a curva P-V, calculada a partir da curva I-V.

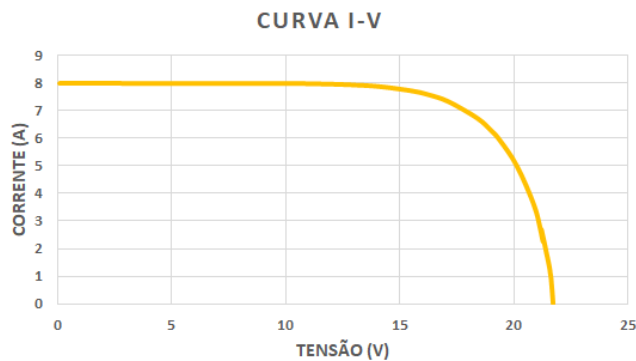


Figura 13: Formas de onda da corrente-tensão do painel FV.

Na Fig. 14 são mostradas as curvas I-V do módulo fotovoltaico, modelo KC125T.

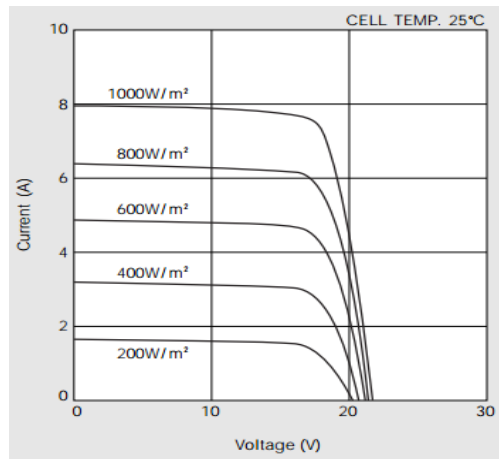


Figura 14: Formas de onda da corrente-tensão para o módulo KC125T.

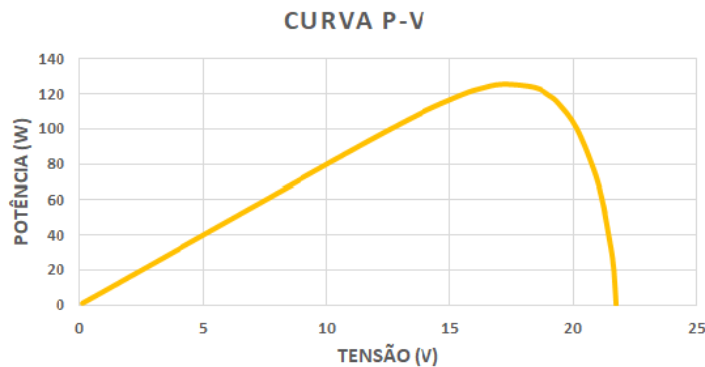


Figura 15: Formas de onda da potência-tensão.

Para uma irradiância de $1000\text{W}/\text{m}^2$ e temperatura de 25°C , a curva I-V do fabricante do modelo, Fig.14 e a curva da Fig.13 obtida a partir da simulação do módulo fotovoltaico juntamente com o conversor buck-boost apresentam comportamentos semelhantes, com os pontos de corrente de curto-circuito, tensão de circuito aberto, corrente de máxima potência, tensão de máxima potência e potência máxima possuindo valores próximos. Na Tab.2 é destacado os respectivos valores.

Tabela 2: Comparação entre valores simulados e comerciais.

Parâmetro	Simulação	Comercial	Diferença
I_{SC}	8,000A	8,000A	0,0%
V_{OC}	21,700V	21,700V	0,0%
I_{MP}	7,344A	7,200A	2,0%
V_{MP}	17,106V	17,400V	1,69%
P_M	125,656W	125,000W	0,52%

6. CONCLUSÃO

A curva característica permite avaliar a qualidade e o desempenho do módulo fotovoltaico, em que é obtida a partir de uma determinada irradiância e temperatura, assim obtido tensão e corrente. É existente equipamentos comerciais com estas funcionalidades, no entanto, podem-se construir o traçador de curvas I-V, através de componentes eletrônicos de fácil obtenção.

Neste artigo apresentou-se a análise das cargas variáveis, assim como seus circuitos para a obtenção da curva característica I-V em módulos fotovoltaicos. A partir da análise verificou-se que o conversor CC-CC com carga resistiva foi utilizado para a implementação do traçador de curva I-V, em que o conversor buck-boost possui vantagens em relação aos demais, possibilitando a atuação de quatro modos de operações, sendo adotada a operação buck-boost, para o seu dimensionamento, podendo obter uma melhor distribuição de pontos. Com a simulação foi possível obter a curva

característica I-V e ao comparar a curva I-V na folha de dados do painel FV, observa-se que a curva obtida é semelhante, assim foi alcançado com a análise e simulação um bom desempenho do conversor.

A utilização deste método para obter-se a curva característica destaca-se em uma resposta rápida e baixo-custo, um método com flexibilidade, já que permite alterar a velocidade e direção de varredura.

REFERÊNCIAS

- A. Ibrahim, "Analysis of Electrical Characteristics of Photovoltaic Single Crystal Silicon Solar Cells at Outdoor Measurements," *Smart Grid and Renewable Energy*, vol. 02, no. 02, pp. 169–175, 2011.
- Arash A. Boora ; Firuz Zare ; Gerard Ledwich ; Arindam Ghosh A General Approach to Control a Positive BuckBoost Converter to Achieve Robustness against Input Voltage Fluctuations and Load Changes, 2008.
- Brasil ultrapassa marca de 1GW em geração distribuída. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br>>. Acessado em 02 de setembro de 2019.
- E. Duran, J. Galan, M. Sidrach-de Cardona, and J. Andujar, "A New Application of the Buck-Boost-Derived Converters to Obtain the I-V Curve of Photovoltaic Modules," in 2007 IEEE Power Electronics Specialists Conference, vol. 36, pp. 413–417, IEEE, 2007
- E. Duran, M. Piliouquine, M. Sidrach-de Cardona, J. Galan, and J. Andujar, "Different methods to obtain the I-V curve of PV modules: A review," in 2008 33rd IEEE Photovoltaic Specialists Conference, pp. 1–6, IEEE, may 2008.
- Energia Fotovoltaica. Disponível em < <https://www.portalsolar.com.br/energia-fotovoltaica.html> > Acessado em 02 de setembro de 2019.
- E. van Dyk, A. Gxasheka, and E.Meyer, "Monitoring current-voltage characteristics of photovoltaic modules," in Conference Record of the Twenty-Ninth IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 2002., no. 603, pp. 1516–1519, IEEE, 2002.
- F. Spertino, J. Ahmad, A. Ciocia, P. Di Leo, A. F. Murtaza, and M. Chiaberge, "Capacitor charging method for I-V curve tracer and MPPT in photovoltaic systems," *Solar Energy*, vol. 119, pp. 461–473, sep 2015.
- J. Muñoz and E. Lorenzo, "Capacitive load based on IGBTs for on-site characterization of PV arrays," *Solar Energy*, vol. 80, pp. 1489–1497, nov 2006.
- M. Kazerani, "A High-Performance Controllable DC Load," in 2007 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, no. 1, pp. 1015–1020, IEEE, jun 2007.
- V. Leite and F. Chenlo, "An improved electronic circuit for tracing the IV characteristics of photovoltaic modules and strings," *International Conference on Renewable Energies and Power Quality*, vol. 1, no. 8, pp. 1224–1228, 2010.
- Y. Kuai and S. Yuvarajan, "An electronic load for testing photovoltaic panels," *Journal of Power Sources*, vol. 154, pp. 308–313, mar 2006.

TOPOLOGIES IN I-V CURVE TRACER FOR PHOTOVOLTAIC MODULES

Abstract. *Photovoltaic panel installations use equipment that verifies diagnostics, making sure photovoltaic module information, as well as assist in operations and maintenance. However, this equipment has a high value of obtaining for small businesses. The development of an I-V curve tracer is of significant importance for the evaluation of the photovoltaic module, verifying possible defects in the cells consisting of the module, from discontinuities in the characteristic curve tracer's. Thereby, will be addressed the variable loads that can be implemented together photovoltaic module, performing comparisons to obtain of the load with the best performance, quick response and low cost. Therefore, it will exhibit the variable load simulation, the DC-DC converter buck-boost with the photovoltaic panel, obtaining the characteristic curve I-V.*

Key words: *Photovoltaic Panels, I-V Curve Tracer, Variable Loads.*