



ESTUDO DE SISTEMAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DE PEQUENO PORTE BASEADOS EM PAINÉIS SOLARES FOTOVOLTAICOS

STUDY OF SMALL ELECTRIC POWER GENERATION SYSTEMS BASED ON PHOTOVOLTAIC SOLAR PANELS

Oswaldo Jackson S. V. dos Santos *, Leonardo Bruno G. Campanhol †

RESUMO

Considerando o aumento da demanda de energia residencial, comercial e industrial, juntamente com a crescente busca por geração alternativa e sustentável de energia elétrica, o presente trabalho tem como objetivo avaliar as principais características de operação dos painéis fotovoltaicos (PV - Photovoltaic), bem como o modo que os mesmos são empregados em sistemas isolados (off grid) e/ou conectados à rede elétrica (on grid) de distribuição em corrente alternada (CA), operando em sistema de Geração Distribuída e Microrredes CA. Levando em consideração o impacto das variações climáticas que afetam diretamente a geração de energia nos painéis, curvas características de corrente e potência são levantadas através de simulação computacional, com base em modelos matemáticos que descrevem a geração de energia elétrica de um arranjo fotovoltaico, dessa forma um condicionador de energia se faz necessário com adequado estágio de controle para extração e processamento da geração proveniente dos painéis fotovoltaicos para aplicação em sistemas off grid e/ou sistemas on grid. Visto que as variações na geração impactam na potência entregue pelo sistema, estratégia de rastreamento do ponto máximo de potência e modulação por largura de pulso são apresentadas. Ensaio computacionais para validar certas características de operação dos sistemas, bem como para evidenciar a importância de se estudar os estágios de geração são expostos.

Palavras-chave: Painéis fotovoltaicos, condicionador de energia, on grid, off grid.

ABSTRACT

Considering the increasing demand for residential, commercial and industrial energy, together with the growing search for alternative and sustainable electricity generation, the present work aims to evaluate the main operating characteristics of photovoltaic panels (PV), as well as the mode that they are used in isolated systems (off grid) and/or connected to the electrical network (on grid) of distribution in alternating current (AC), operating in a Distributed Generation system and AC Microgrids. Taking into account the impact of climatic variations that directly affect the energy generation in the panels, current and power characteristic curves are raised through computer simulation, based on mathematical models that describe the generation of electrical energy from a photovoltaic arrangement, in this way an energy conditioner is needed with an adequate control stage for the extraction and processing of generation from photovoltaic panels for application in off-grid systems and/or on-grid systems. Since variations in generation impact the power delivered by the system, the maximum power point tracking strategy and pulse width modulation are presented. Computational tests to validate certain operating characteristics of systems, as well as to highlight the importance of studying the generation stages are exposed.

Keywords: Photovoltaic panels, power conditioner, on grid, off grid.

*Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil; osvaldosantos@alunos.utfpr.edu.br

†Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Apucarana; campanhol@utfpr.edu.br



1 INTRODUÇÃO

A utilização de painéis fotovoltaicos como fonte de energia alternativa, vem cada vez mais ganhando espaço e sendo uma das primeiras opções quando se fala em energia limpa e geração sustentável quando comparada com os métodos tradicionais de geração, como termelétricas, hidráulicas ou usinas nucleares, que causam grandes impactos ambientais por conta do processo de geração (EIA, 2016).

Além da grande importância de se buscar fontes de energia que impactem da menor forma possível ao meio ambiente, as fontes de energia alternativas vêm sendo grandes responsáveis por atender à crescente demanda de energia residenciais, comerciais e industriais, descentralizando a geração de energia, criando o que conhecemos hoje por microrredes de geração. (MME, 2021)

Com isso uma nova tendência de usuários vem surgindo e ganhando espaço, com sistemas de geração própria, caracterizado por sistemas conectados à rede elétrica (On grid) e aqueles onde não tem conexão com a rede (Off grid). Sistemas On grid atuam como compensadores de energia, onde o usuário pode ter seu retorno a partir da geração injetada à rede, registrada pela concessionária e compensada em seu registro de consumo, já sistemas Off grid normalmente são empregados onde não se tem acesso à rede de energia, logo se faz necessária a utilização de armazenadores de energia para momentos de baixa ou nenhuma produção do (PV), assim de forma independente atende cargas em CA isoladas da rede elétrica (PINHO; GALDINO, 2014).

Por se tratar de geração em corrente contínua (CC) um condicionador de energia é necessário para que se possa injetar a energia produzida na rede ou atender uma carga em corrente alternada (CA), normalmente este condicionamento é feito por conversores de potência CC-CC e/ou CC-CA, onde os conversores CC-CC são utilizados tanto para elevar a tensão obtida dos terminais do arranjo fotovoltaico como para extrair a máxima potência ativa de geração, já o conversor CC-CA é utilizado para injetar a energia produzida na rede ou atender uma carga em CA (CAMPANHOL, 2017).

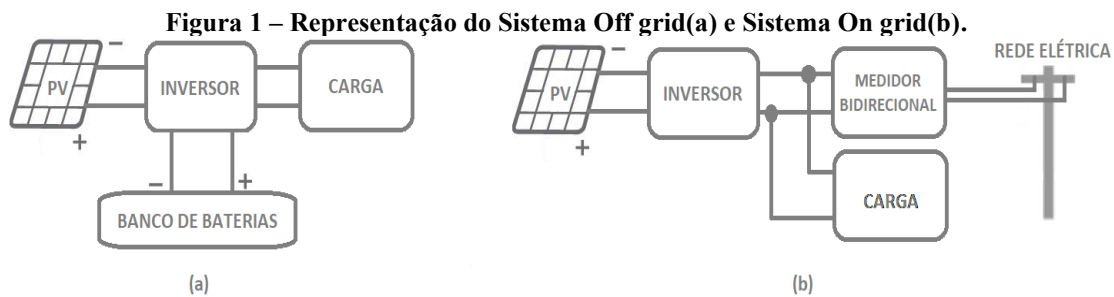
Desta forma, algumas indagações surgem referente ao sistema fotovoltaico, o quanto as variações climáticas afetam sua produção e de que forma é feita sua aplicação em utilizações práticas? De que forma a geração pode ser útil ao usuário que é atendido pela concessionária e como condicionadores de energia tornam possível esta utilização? Visando estes questionamentos o presente trabalho tem por finalidade estudar as principais características de operação dos painéis fotovoltaicos bem como o método de aplicação para sistemas on grid e off grid, compreendendo todo o estágio de condicionamento de energia para as duas diferentes aplicações do sistema de geração, e assim, através de simulação computacional poder produzir resultados da geração de energia em CC bem como o condicionamento para obtenção de energia em CA.

2 MÉTODOS

Sistema On grid. Sistemas de geração fotovoltaico on grid trabalham como compensador de energia, já que sua construção não é projetada para suportar uma alta demanda de potência instantânea quando comparado aos sistemas off grid. Sua configuração na prática consiste em geração (PV), condicionamento da energia (inversor) e conexão à rede elétrica (medidor bidirecional), podendo conter ou não carga conectada à rede elétrica (figura 1 (b)). Como o sistema on grid é responsável pela compensação de energia, este injeta energia na rede de forma contínua respeitando as limitações do sistema de geração, assim a demanda de carga caso exista não interfere no quantitativo produzido pelo sistema.

Para que o usuário tenha retorno de sua produção injetada, a concessionária vigente deve contabilizar a energia produzida bem como a energia consumida, isso é feito através de um medidor bidirecional, que possibilita aplicar a compensação de toda energia injetada sobre a demanda consumida, dessa forma caso haja excedente de energia o usuário passa a ter créditos em sua fatura, o qual é acumulativo por tempo definido, como estabelece a resolução 482, de 2012 da Agencia Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

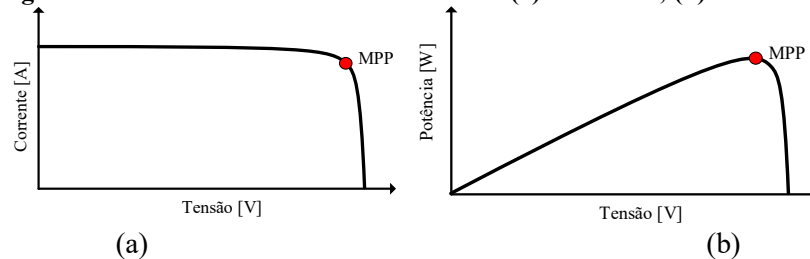
Sistema Off grid. Este sistema traz uma configuração sem conexão à rede elétrica, assim é necessário que exista um armazenamento de energia para momentos de baixa ou zero produção do PV, normalmente este armazenamento é feito por banco de baterias, conectadas em serie afim de se obter níveis de tensão que permitam ao inversor realizar o correto condicionamento de energia, mantendo a entrega de potência esperada. Para que o banco de baterias atenda o fornecimento de corrente continua adequadamente é necessário acompanhar os níveis de tensão do mesmo, para isso um controlador de carga é empregado mantendo o correto carregamento do banco, preservando a vida útil das baterias bem como a geração de energia como um todo. Sua configuração na pratica consiste em geração (PV), condicionamento da energia (inversor), armazenamento de energia (banco de baterias) e carga, como ilustra a figura 1 (a).



Fonte: Próprio autor, 2021.

Sistema de geração fotovoltaico. O sistema de geração de energia fotovoltaico seja ele conectado à rede elétrica (on-grid) ou isolado (off-grid), dispõe do mesmo princípio de geração, no qual através dos painéis fotovoltaicos responsáveis por gerar, a partir da irradiação solar, energia elétrica em corrente contínua (CC), possibilita um condicionador de energia utilizar sua geração para alimentar cargas em corrente alternada (CA) e/ou alimentar bancos de baterias em níveis de tensão adequados e/ou injetar a energia gerada à rede da concessionária para compensação de consumo. Para a geração de energia de um PV, cinco características são importantes para se extrair a máxima eficiência, sendo: potência máxima (P_{max}), tensão de circuito aberto (V_{oc}); corrente de curto-circuito (I_{sc}); tensão do ponto de potência máximo (V_{mpp}) e corrente no ponto de potência máximo (I_{mpp}). Normalmente tais parâmetros são fornecidas pelo fabricante do PV, considerando condições de teste padrão (STC – Standard Test Conditions). Nas figuras 2(a) e 2(b) estão representadas as curvas características de um PV, corrente por tensão (I-V) e potência por tensão (P-V), respectivamente. A sigla MPP (Maximum Power Point) exemplifica o ponto de operação em máxima potência do PV (Oliveira, 2015).

Figura 2 – Curvas características de um PV: (a) curva I-V; (b) curva P-V



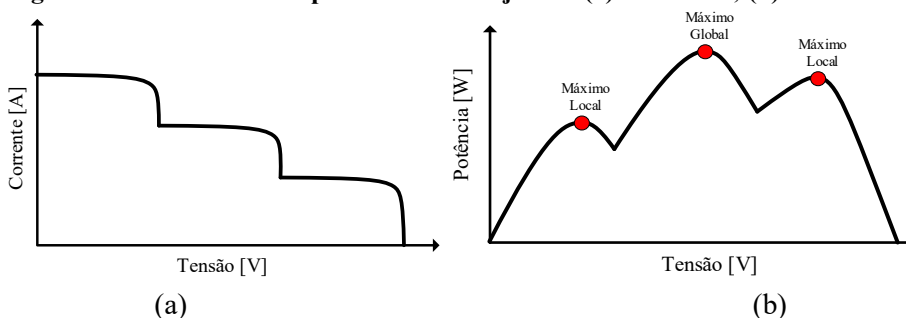
Fonte: (OLIVEIRA, 2015).

Em condições de STC é possível predefinir o comportamento do PV conhecendo sua aplicação, no entanto em sistemas reais práticos raramente são mantidos os padrões ideais de trabalho e com as variações de temperatura, sombreamentos parciais e/ou acúmulo de sujeira sobre os módulos, sua produção é afetada diretamente, resultando em variações de níveis de corrente, tensão e potência gerada. Considerando o circuito equivalente para uma única célula fotovoltaica (CASARO et al., 2008) e partindo de sua

modulação matemática, através de simulação computacional, é possível identificar o impacto causado em um arranjo fotovoltaico em seus níveis de tensão e corrente e conseqüentemente o MPP.

Tendo em vista que um arranjo fotovoltaico se forma por mais de um módulo (string), estes podem ser interligados em serie ou paralelo, a fim de se obter maiores níveis de tensão ou corrente respectivamente. Assim, se por algum fator o sistema sofra sombreamento parcial, para a ligação serie, será notado um impacto significativo na potência gerada, resultando em mais de um MPP onde se dividiram entre máximos locais e máximo global como mostrado a seguir (figura 3). Para ligações em paralelo esse impacto não é significativo, quando comparado ao sistema em serie, no entanto podem ocorrer a circulação de correntes reversas entre os módulos por conta do sombreamento parcial, sendo necessário a utilização de diodos de potência em série com cada string para evitar tal circulação (OLIVEIRA, 2015).

Figura 3 – Sombreamento parcial em arranjo PV: (a) curva I-V; (b) curva P-V.



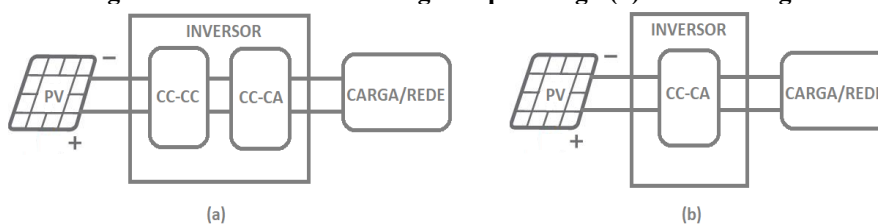
Fonte: (OLIVEIRA, 2015).

Condicionadores de energia. Os condicionadores de energia têm um importante papel dentro da geração fotovoltaica, pois possibilita que a energia fornecida em corrente contínua possa ser convertida em corrente alternada. Isso é possível através de uma modulação por largura de pulso (PWM - Pulse-Width Modulation) o qual consiste na comparação entre um sinal referência (modulante) e uma portadora (triangular) resultando no controle de chaveamento do conversor o qual mantém frequência fixa e largura de pulso variável, podendo ser implementado em dois e três níveis.

Além da conversão CC-CA pode também realizar a conversão CC-CC com finalidade de elevar os níveis de tensão advindos da geração, bem como extrair a potência máxima de geração do sistema rastreando o ponto de máxima potência (MPPT), caracterizando assim um sistema de condicionamento de duplo estágio. Outra alternativa são os sistemas de condicionamento de único estágio, estes não apresentam conversão CC-CC, logo os terminais da geração são conectados diretamente ao conversor CC-CA reduzindo a estrutura do inversor e melhorando sua eficiência. Por outro lado, é necessário manter níveis elevados de tensão no barramento CC para atingir uma geração em CA adequada, assim aumentando o número de painéis fotovoltaicos do arranjo (CAPANHOL, 2017).

Assim como para o conversor CC-CC de duplo estágio, o conversor CC-CA em único estágio tem a finalidade de rastrear o ponto de máxima potência (MPPT) através de um algoritmo de comparação, onde realiza o cálculo de potência instantâneo fornecido pelo do PV, definindo assim o ponto de máxima potência do arranjo fotovoltaico para qualquer nível de irradiação (CAMPANHOL, 2012).

Figura 4 – Conversor de energia duplo estágio(a) e único estágio.

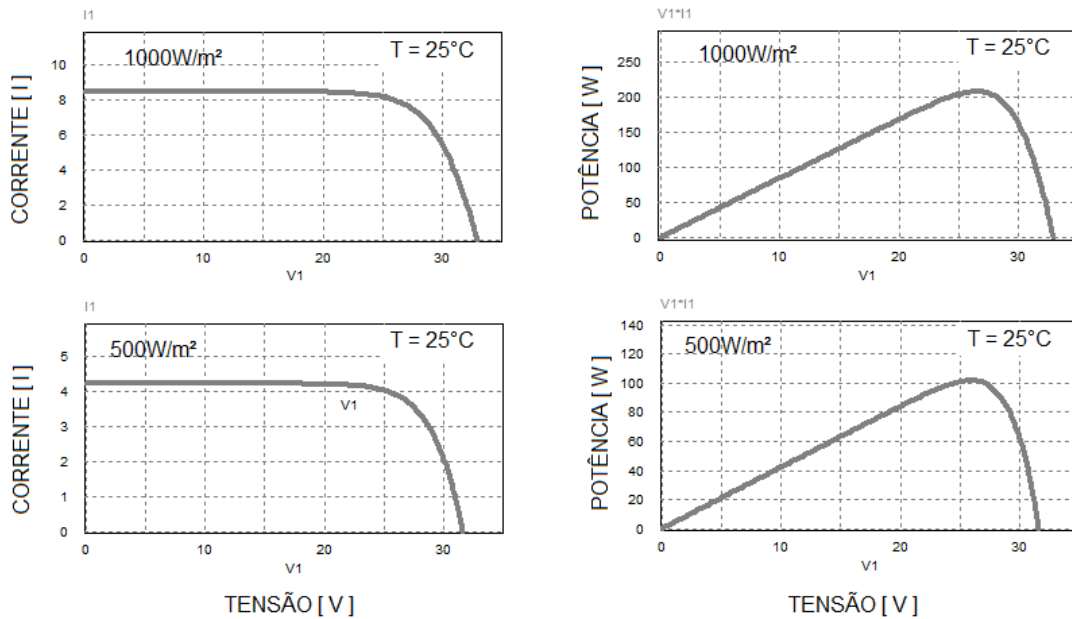


Fonte: Próprio autor, 2021.

3 RESULTADOS

A partir do modelo matemático que representa uma única célula fotovoltaica e implementação via simulação através do software PSIM, é possível obter resultados de geração de um módulo fotovoltaico, podendo representar o sistema trabalhando em diferentes níveis de radiação solar, como na figura 5.

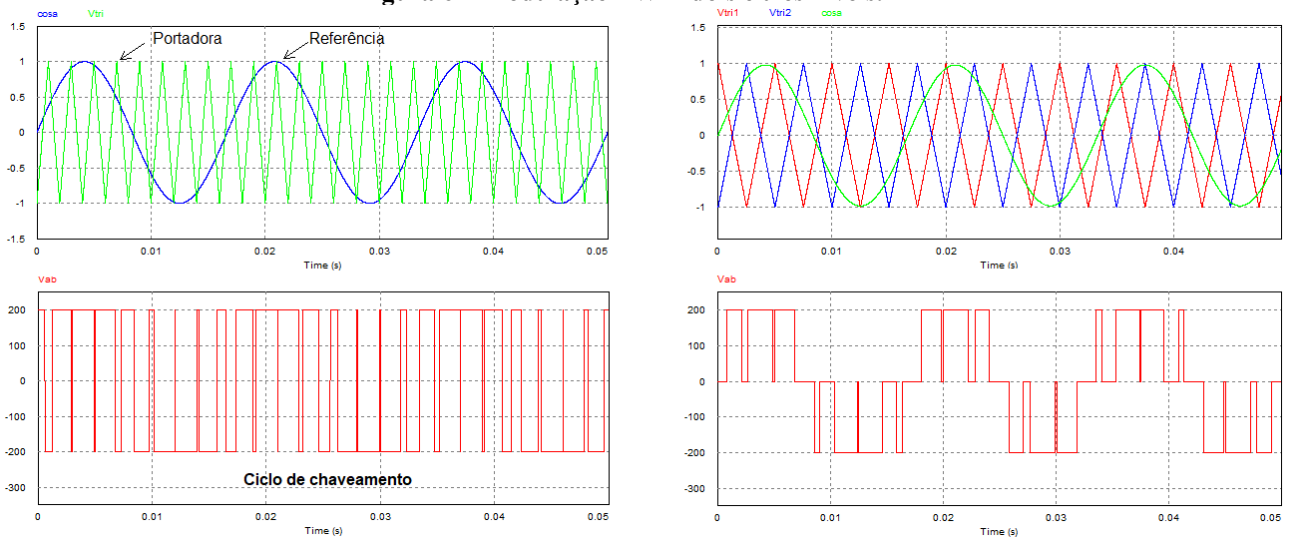
Figura 5 – Geração de um módulo fotovoltaico para diferentes níveis de irradiação.



Fonte: Próprio autor, 2021.

Dessa forma se torna evidente a necessidade de um correto condicionamento de energia, para isso é implementado a modulação por largura de pulso (PWM) dois e três níveis.

Figura 6 – Modulação PWM dois e três níveis.



Fonte: Próprio autor, 2021.



4 CONCLUSÃO E PROPOSTA DE CONTINUIDADE

As modulações PWM dois e três níveis apresentam dois e três níveis de tensão na saída do inversor respectivamente, sendo tensão positiva e negativa para modulação dois níveis e para modulação três níveis tensão positiva, negativa e nível zero, como ilustra a figura 6. Além desta característica, nota-se que a modulação 3 níveis apresenta o dobro da frequência de chaveamento, o que para implementações práticas é interessante por se tratar de alta frequência e assim torna possível a análise e comparação de métodos de modulação a fim de se melhorar o desempenho do condicionador como também sua estrutura física.

Dados tais resultados este trabalho segue com continuidade em pesquisa já iniciada, com objetivo de estudar algoritmos de geração de referência de controle, técnicas de rastreamento de máxima potência e sistemas de sincronismo (PPL) aplicados ao sistema fotovoltaico.

REFERÊNCIAS

EIA. International Energy Outlook 2016. U. S. Energy Information and Administration - EIA 2016.

Ministerio de Minas e Energia: GERAÇÃO E ENERGIA ELÉTRICA. Disponível em <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/energia-eletrica/energia-1/geracao-e-energia-eletrica>.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro, Março 2014.

CAMPANHOL, Leonardo Bruno Garcia. SISTEMA FOTOVOLTAICO TRIFÁSICO DE ÚNICO ESTÁGIO CONECTADO A SISTEMAS DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA OPERANDO COMO CONDICIONADOR DE QUALIDADE DE ENERGIA UNIFICADO USANDO UMA ESTRATÉGIA DUAL DE COMPENSAÇÃO ATIVA DE POTÊNCIA. 253. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2017.

OLIVEIRA, F. M. Rastreamento da máxima potência em arranjos fotovoltaicos sob efeito de sombreamento parcial baseado no método de otimização por enxame de partículas. 2015. Dissertação de mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, PR.

CAMPANHOL, Leonardo Bruno Garcia. FILTRO ATIVO DE POTÊNCIA PARALELO UTILIZANDO INVERSORES MONOFÁSICOS FULL-BRIDGE APLICADO EM SISTEMAS TRIFÁSICOS A QUATRO-FIOS. 2012. 147 f. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2012.

CASARO, M. M.; MARTINS, D. C. Modelo de Arranjo Fotovoltaico Destinado a Análises em Eletrônica de Potência via Simulação. Eletrônica de Potência, vol. 13, no. 3, pp. 141-146, Agosto 2008.

CAMPANHOL, Leonardo Bruno Garcia. FILTRO ATIVO DE POTÊNCIA PARALELO UTILIZANDO INVERSORES MONOFÁSICOS FULL-BRIDGE APLICADO EM SISTEMAS TRIFÁSICOS A QUATRO-FIOS. 2012. 147 f. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2012.