



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA**

Autorizada pelo Decreto Federal nº 77.496 de 27/04/76  
Recredenciamento pelo Decreto nº 17.228 de 25/11/2016



**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
COORDENAÇÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

## **XXVI SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UEFS SEMANA NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA - 2022**

### **Proposta de Módulo de Gerenciamento, Ilhamento e Reconexão de Microrredes de Energia Solar**

**Cleyton Almeida da Silva<sup>1</sup>; João Bosco Gertrudes<sup>2</sup>**

1. Bolsista PIBIC-Af/CNPq, Graduando em Engenharia de Computação, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: [csa.cleyton@outlook.com](mailto:csa.cleyton@outlook.com)
2. Orientador, Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: [jbosco.cv@gmail.com](mailto:jbosco.cv@gmail.com)

**PALAVRAS-CHAVE:** Microgeração; Energia Solar; Gerenciamento.

### **INTRODUÇÃO**

O presente artigo descreve as atividades desenvolvidas pelo bolsista Cleyton Almeida da Silva sob orientação do professor João Bosco Gertrudes, entre setembro de 2021 e fevereiro de 2022, no projeto “Dimensionamento e Implantação de uma Microrrede Híbrida Para Geração de Energia Renovável com Finalidade de Pesquisa Aplicada, Ensino e Extensão”. Nesse projeto, o estudante foi financiado com bolsa de Iniciação Científica pela PIBIC/CNPq, atuando com o plano de trabalho intitulado “Proposta de Módulo de Gerenciamento, Ilhamento e Reconexão de Microrredes de Energia Solar”.

A matriz energética brasileira já é considerada como uma das mais limpas do mundo (AMERICADOSOL, 2022), com 88% da produção provenientes de fontes consideradas limpas (ABSOLAR, 2022). Ainda, é possível causar um maior impacto na redução de gases de efeito estufa a partir da produção de energia elétrica em mini e microgeração. Essas redes, além do fator ambiental, trazem o benefício de reduzir as faturas de energia de seus proprietários.

Com o surgimento de microrredes inteligentes, espera-se que o microgerador residencial de energia possa escolher, de acordo com a oferta e demanda por energia, quando vender ou armazenar a energia por ele produzida, ou mesmo quando consumir a energia proveniente da rede elétrica em seu lugar. Realizar esse controle é, portanto, um diferencial para as redes no quadro atual de geração energética no Brasil. Esses motivos fomentam a pesquisa e desenvolvimento de alternativas para controle dessas microrredes e estimulam a realização do presente trabalho.

A geração de energia em painéis solares é possível graças à tensão provocada por fotoluminosidade em alguns semicondutores. A tensão pode ser utilizada para gerar corrente elétrica. Nos semicondutores, os elétrons são excitados a uma energia que possibilita sua condução pelo material. Para obter uma corrente utilizável pelos aparelhos hoje encontrados nas residências, porém, é necessária a construção de uma estrutura conveniente. (SEGUEL, 2009) Nos modelos que representam as placas fotovoltaicas, leva-se em consideração características intrínsecas às células e, também, variações das características físicas do ambiente em que ela está submetida.

A partir de equações obtidas por análise de circuitos equivalentes, é possível simular o funcionamento de painéis solares em diferentes situações. Essas simulações auxiliam no entendimento do funcionamento dos painéis, bem como permitem realizar o

dimensionamento de elementos para construção de mini e microrredes e simulações de módulos de gerenciamento. Para que sejam realizadas simulações e análises com eficiência, comumente são utilizados softwares como o MATLAB.

Ainda, na geração de energia, é necessário manipular tensão e corrente nos terminais de saída da célula a fim de que seja gerada a máxima potência do painel fotovoltaico para todas as condições meteorológicas. Há diversas técnicas utilizadas para Rastreamento do Ponto de Máxima Potência (MPPT). Com os simuladores, é possível, através dessas técnicas, determinar a melhor metodologia para cada situação meteorológica dada.

A tensão gerada por um painel solar pode variar bastante durante o dia, de acordo com as oscilações de luminosidade, sombreamento, temperatura e demais características do ambiente. Os equipamentos utilizados como cargas da rede têm funcionamento projetado para receber uma tensão com curtos limites de variação. Assim sendo, é necessário empregar estratégias de controle na tensão de saída dos painéis solares. Para fazê-lo, pode-se utilizar os conversores estáticos CC-CC. Esse elemento pode ser utilizado no controle da tensão e corrente rastreados pelo método MPPT adotado no sistema. A estratégia de controle adotada depende do caso de uso.

### **MATERIAL E MÉTODOS OU METODOLOGIA (ou equivalente)**

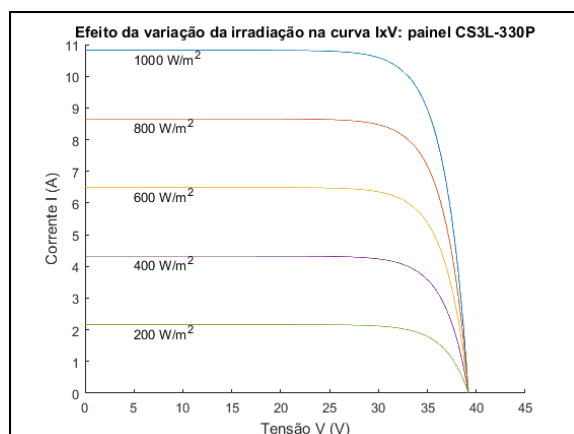
Como descrito, é possível monitorar efetivamente uma microrrede de energia solar a partir de sensores de tensão, corrente, radiação solar, temperatura ambiente e temperatura de operação do módulo. Esses dados permitem acompanhar em tempo real o estado do gerador solar, e também fornecem informações para o módulo de gerenciamento de energia, chaveamento, monitoramento e controle de energia.

O módulo de gerenciamento objeto deste trabalho conta com um centro de controle pelo lado da demanda (CCLD), Controladores de Carga (CGs) e de Fontes de Geração conectadas (CFs). Esses módulos permitem que a microrrede seja isolada ou conectada à rede da concessionária provedora de energia. O módulo de controle deve receber os valores medidos na microrrede e tomar decisões para a gestão e chaveamento necessários. O controle deve ser realizado de modo a proteger a rede e seus usuários das oscilações na rede da concessionária. Além disso, o módulo projetado deve permitir ao utilizador que decida entre injetar a energia na rede elétrica ou consumir essa energia localmente.

### **RESULTADOS E/OU DISCUSSÃO (ou Análise e discussão dos resultados)**

A fim de que fosse possível realizar a modelagem do sistema de controle, foram implementados algoritmos (scripts no MATLAB) para simulação do funcionamento dos painéis fotovoltaicos de acordo com diferentes modelos. A Figura 1 representa a curva Corrente versus Potência (IxV) obtida através de algoritmo implementado para representação do modelo apresentado por Carralero (2018) e inicialmente proposto por Ortiz-Rivera & Peng (2005). Nesse caso, foram utilizados parâmetros de referência para o painel CS3L-330P, com variação da irradiação efetiva sobre o painel.

Essa modelagem representa uma abordagem voltada à utilização do painel como fonte de potência. Assim, sua pretensão não reside na representação física de um modelo ideal, como no modelo proposto por Villalva, Gazolli e Filho (2009). Em lugar disso, sistematiza o funcionamento de um painel solar dadas suas características de fabricação. Essa modelagem pode ser utilizada no módulo de controle. Portanto, pôde-se comparar o resultado simulado com o apontado pelo manual do equipamento.

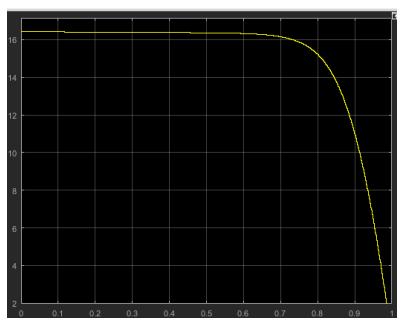


**Figura 1:** Curvas IxV obtidas por simulação do modelo Ortiz-Rivera & Peng.

Após essa análise, é possível afirmar que o modelo apresenta fidelidade ao representar o sistema real. Indo além, pode-se utilizar esse modelo para execução de simulações de funcionamento do circuito requerido, empregando-o como gerador de entrada na simulação da microrrede. Ele viabiliza então a realização de testes e a implementação de metodologias para projeto dos sistemas de controle tanto da tensão de saída, quanto da potência gerada, segundo os métodos de rastreamento MPPT, e o controle de carga na bateria.

A partir desse modelo, é possível encontrar curvas características de diversos painéis solares, uma vez conhecidos os parâmetros intrínsecos encontrados nos *datasheets* e manuais dos painéis. Dessa forma, foi possível realizar comparações entre o resultado obtido na simulação via algoritmos e as curvas apresentadas nos *datasheets* de alguns painéis e averiguar a adequação às curvas esperadas.

Os modelos apresentados anteriormente, o de Gow e Manning (1999) e o de Seguel (2009), também tiveram implementações realizadas por algoritmos, a fim de que fosse entendido o funcionamento de células solares, ao nível da ação de um elétron excitado, e da estrutura dos painéis no que concerne ao número de células e à disposição destas entre paralelo e serial. Não obstante, não é difícil comparar os resultados obtidos por esses modelos com os resultados dos painéis solares disponíveis no mercado.



**Figura 2:** Curva IxV obtida da implementação do modelo Villalva no SIMULINK.

A partir do modelo de Gow e Manning, Villalva et al. (2009), construiu-se um modelo robusto e completo capaz de, não somente reproduzir com fidelidade o fenômeno, mas também representar bem os painéis disponíveis a partir das características presentes nos *datasheets*. Embora não seja tão relevante discutir matematicamente o modelo por ele proposto, é interessante dar atenção à proposta apresentada para a simulação do sistema.

Embora fosse possível extrair os mesmos resultados a partir da metodologia adotada para os outros modelos, foi utilizado o SIMULINK, uma ferramenta do MATLAB muito utilizada para simular sistemas dinâmicos. Villalva apresenta o circuito montado

no SIMULINK na íntegra em suas publicações. Assim sendo, o modelo de Villalva foi implementado nessa ferramenta, com ênfase para a solução dada à corrente do circuito. Reproduzido o circuito, foi realizada a análise de curva I x V para o painel (Figura 2).

Com o SIMULINK, também, foram realizados ensaios de implementação de algoritmos de rastreamento de ponto de máxima potência. No entanto, esses estudos contiveram-se apenas na reprodução de circuitos disponibilizados por Seguel (2009). Foram realizadas tentativas de integrar esses circuitos à simulação criada por Villava, mas sem sucesso. Então, foram trabalhados algoritmos de perturbação e observação para tensão constante.

Por fim, foram trabalhados os conceitos relacionados ao funcionamento dos conversores estáticos CC-CC, já mencionados. Para compreender seu funcionamento, foram realizadas análises de circuitos conversores tendo como princípios as Leis de Kirchhoff auxiliadas por transformada de Laplace. Para validar a confluência das equações obtidas para com o comportamento do circuito, foi utilizada a ferramenta de simulação EasyEDA. A partir das análises, foram extraídas equações capazes de modelar o circuito. Aplicando transformadas de Laplace, os circuitos foram também analisados sob o viés da frequência, momento em que foram extraídas funções de transferências que representassem os circuitos trabalhados. A partir delas, foi possível implementar no SIMULINK simulações desses circuitos, aumentando a familiaridade com a ferramenta.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS (ou Conclusão)**

Os experimentos em bancada, em que serão realizadas implementações dos circuitos simulados, serão realizados nos próximos meses e intensificadas após a aquisição de um painel fotovoltaico. Serão realizados testes para o dimensionamento e a implementação do sistema dimensionado para o painel obtido, além da modelagem da rede e dos circuitos controladores. A realização das simulações de circuitos permitiu que fosse estabelecido o arcabouço teórico necessário para a pesquisa. Ademais, seguir-se-á para a elaboração do modelo dinâmico para controle da microrrede.

## **REFERÊNCIAS**

- ABSOLAR, (2022) *Panorama da solar fotovoltaica no Brasil e no mundo*. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>>. Acesso em: 12 de mar. de 2022.
- AMERICADOSOL, (2022) *Potencial solar no Brasil*. América do Sol, InCuca. Disponível em: <<https://americadosol.org/potencial-solar-no-brasil/>>. Acesso em: 12 de mar. de 2022.
- CARRALERO, L. L. O. C., (2009). *Emulador PV baseado em um Conversor CC-CC Buck-Boost de Quatro Interruptores*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia. Salvador, Bahia.
- GOW, J. A., & MANNING, C. D. (1999) *Development of a Photovoltaic Array Model for Use in Power Electronics Simulation Studies*. IEE Proc. On Electric Power Applications, vol. 146, no. 2, p. 193-200.
- ORTIZ-RIVEIRA, E. I., & PENG, F. Z. (2005). *Analytical model for a photovoltaic module using the electrical characteristics provided by the manufacturer data sheet*. In IEEE 36th Power Electronics Specialists Conference.
- SEGUEL, J. I. L., (2009). *Projeto de um sistema fotovoltaico autônomo de suprimento de energia usando técnica MPPT e controle digital*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Minas Gerais.
- VILLALVA, M. G., & GAZOLLI, J. R., & FILHO, E. R. (2009). *Modeling and circuit-based simulation of photovoltaic arrays*. In 2009 Brazilian Power Electronics Conference.