MODELAGEM COMPUTACIONAL DE SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA IRRADIAÇÃO SOLAR SOBRE O SEU DESEMPENHO

Mateus Bezerra Farias [1], Francisco Werley Ferreira do Nascimento [2], Ligia Maria Carvalho Sousa Cordeiro [3]

RESUMO

A energia irradiada do sol pode ser aproveitada pelo homem para geração de energia elétrica, através de painéis fotovoltaicos. A energia elétrica obtida através da aplicação de painéis fotovoltaicos é denominada de energia solar fotovoltaica. A temperatura do painel e a irradiação solar sobre ele são os principais fatores que influenciam na geração fotovoltaica. Quanto maior a irradiação solar sobre um painel, maior a corrente elétrica gerada por ele, porém haverá também um aumento na temperatura de operação do mesmo, fazendo com que a tensão gerada diminua consideravelmente e, assim, haverá uma diminuição de potência elétrica produzida. Considerando isso, sabe-se que a irradiação solar é um fator que influencia a potência elétrica produzida por um painel fotovoltaico e, consequentemente, influencia em seu desempenho. Portanto, é de fundamental importância que seja realizado um estudo detalhado dessa variável climática na região onde um sistema fotovoltaico está/será instalado e também dos efeitos que tais condições geram em seu rendimento. Pensando nisso, o projeto se propôs inicialmente a realizar a modelagem computacional de um modelo típico de painel fotovoltaico, para posteriormente obter dados de irradiação solar da região do Maciço de Baturité, para assim, em seguida, poder-se analisar computacionalmente a influência dessa variável no desempenho de um sistema fotovoltaico.

Palavras-chave:

Energia Solar Fotovoltaica. Irradiação Solar. Desempenho. Maciço de Baturité. Modelagem computacional.

[1] Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-brasileira, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Discente, e-mail: farias_mateus@hotmail.com
[2] Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-brasileira, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Discente, e-mail: werleyfn@gmail.com
[3] Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-brasileira, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Docente, e-mail: ligia@unilab.edu.br

INTRODUÇÃO

A energia que é irradiada pelo sol é indispensável para a vida na terra, a mesma é responsável por diversos processos que ocorrem em nosso planeta, desde a fotossíntese que é realizada pelas plantas e vegetais, ao ciclo da água e a outros fenômenos atmosféricos. Atualmente, o homem através de painéis fotovoltaicos utiliza essa energia do sol para gerar energia elétrica, sendo essa energia denominada de energia solar fotovoltaica. A energia solar fotovoltaica é a energia obtida através da conversão direta da irradiação solar em eletricidade. Essa conversão ocorre por meio de uma célula fotovoltaica ou um conjunto delas que formam um painel fotovoltaico.

Ao incidir a luz sobre uma célula, os fótons que a integram chocam-se com os elétrons da estrutura do silício tipo P dando-lhes energia e transformando-os em condutores. Devido ao campo elétrico gerado, os elétrons são orientados e fluem, gerando assim um fluxo de elétrons, corrente elétrica, na conexão. Enquanto a luz continuar a incidir na célula, o fluxo de elétrons se manterá. A intensidade da corrente elétrica gerada varia proporcionalmente conforme a intensidade da luz incidente.

Os principais fatores que influenciam a geração de energia solar fotovoltaica são: o material que constitui a célula fotovoltaica, a intensidade luminosa e a temperatura de operação das células, que por sua vez, dependem das condições climáticas locais, ou seja, onde o dispositivo está instalado, tais como irradiação solar, temperatura ambiente e a velocidade dos ventos.

Segundo Pinho e Galdino (2014) a corrente elétrica gerada por um painel fotovoltaico em operação aumenta linearmente com o aumento da irradiação solar. Todavia, segundo PALZ (1995) esse aumento de irradiação solar gera um aumento na temperatura de operação do painel/célula fotovoltaica, o que causa uma diminuição na tensão elétrica gerada e, consequentemente, na eficiência de geração em comparação aos valores padrões de fábrica. Geralmente, os fabricantes de painéis fotovoltaicos informam a eficiência dos mesmos nas condições padrões de testes (STC - Standard Test Conditions), o qual considera que a temperatura da célula é de 25°C e a irradiação solar é de 1000W.m-2.

Em regiões de alta insolação, a temperatura ambiente é mais elevada fazendo com que a temperatura de operação do painel fotovoltaico se torne maior do que o valor considerado em testes de fabricantes, que é 25°C. Assim, a eficiência painel fotovoltaico na prática se torna menor do que a informada pelo fabricante em seu datasheet.

Muitos estudos de sistemas fotovoltaicos negligenciam o efeito do aumento da temperatura no desempenho dos painéis fotovoltaicos, e se baseiam apenas nos valores estipulados pelos fabricantes (MALAGNINO, 2015), (SPADUTO et al, 2013), (SOUZA et al, 2016). Contudo, em condições reais do ambiente, tais sistemas fotovoltaicos apresentarão um desempenho inferior ao especificado no projeto.

Alguns trabalhos existentes na literatura analisam o efeito das condições climáticas na eficiência de um sistema fotovoltaico. Em (BÜHLER et al., 2011), os autores analisaram a eficiência de módulos de diferentes tecnologias em função da temperatura e da irradiação solar. O trabalho descrito em (BELTRÃO, 2008) desenvolve uma ferramenta que permite avaliar a eficiência de um painel típico instalado nas condições climáticas de regiões distintas de Pernambuco (litoral e sertão).

Assim, diante do exposto anteriormente, percebe-se que a temperatura ambiente e a irradiação solar são fatores determinantes no rendimento do painel fotovoltaico e na eficiência do sistema como um todo. Logo, é de fundamental importância que seja realizado um estudo detalhado sobre as condições climáticas da região onde um sistema fotovoltaico está/será implantado, e também do efeito que tais condições climáticas geram na eficiência do sistema.

METODOLOGIA

As fases principais da metodologia empregada no primeiro ano de projeto estão descritas abaixo:

• Estudos conceituais: Foram realizados estudos mais conceituais sobre diversos aspectos da proposta de pesquisa, tais como, componentes e princípio de funcionamento de um sistema fotovoltaico, tratamento e análise de dados solarimétricos, modelagem matemática e computacional de sistemas fotovoltaicos, análise das características elétricas de um sistema fotovoltaico, curva característica V x I, ferramentas matemáticas avançadas, dentre outros. Tais estudos caracterizaram a fase inicial da pesquisa e foram realizados sobretudo pelos alunos integrantes do projeto na perspectiva de se obter um nivelamento da equipe em

relação aos conceitos básicos.
• Pesquisa bibliográfica aprofundada: Os estudos conceituais iniciais foram seguidos por uma pesquisa bibliográfica de soluções clássicas. O estudo de artigos científicos especializados constitui o principal mecanismo de aprofundamento do conhecimento necessário para o desenvolvimento das novas proposições/simulações/modelos para os problemas abordados no projeto. A pesquisa bibliográfica se deu de forma concentrada nos primeiros seis meses e de forma continuada ao longo da execução do projeto.
• Simulações computacionais: Um painel fotovoltaico foi modelado matematicamente, considerando as suas características elétricas disponibilizadas no datasheet do fabricante, e implementado através do software Simulink/Matlab. O desempenho do sistema fotovoltaico operando nas condições climáticas do Maciço de Baturité será comparado ao desempenho do mesmo sistema em outras condições climáticas, dentre elas a estipulada pelo fabricante. Em seguida, as perdas na eficiência obtidas diante das variações climáticas serão analisadas e quantificadas. Os modelos a serem desenvolvidos poderão ser comparados com soluções existentes em diferentes configurações de sistema.
• Produção científica: Foram preparados relatórios internos visando documentar gradativamente os avanços obtidos. Entre esses, tem-se o relatório parcial e final da bolsa. A geração de artigos científicos para congressos e/ou periódicos especializados e conceituados a partir destes relatórios constituirá um produto final importante deste projeto.
Os passos acima descritos constituíram o nosso ciclo fundamental de investigação durante o primeiro ano de projeto, sob o qual foram baseadas as atividades gerais e específicas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO
Inicialmente, através da pesquisa bibliográfica, encontrou-se um artigo científico que tratava da modelagem matemática e da simulação computacional de um painel fotovoltaico de determinado modelo. Nele continha todas as equações da modelagem matemática utilizada e o script (código computacional) em Matlab da simulação do modelo. Tomou-se o artigo e o script apresentado nele como base inicial, implementou-se o mesmo no Matlab e verificou-se a sua validade para o mesmo modelo utilizado no artigo. Tendo verificado a validade do script, adotou-se como base para adequação ao modelo de painel fotovoltaico adotado na pesquisa, o Canadian Solar Maxpower (1500V) – CS6U 330P. Assim como foi feito na implementação inicial do script, tendo o conhecimento do modelo de painel adotado para a pesquisa, baixou-se o datasheet na página de internet do fabricante e, assim, passou-se a ter algumas informações das características elétricas do modelo de painel fotovoltaico adotado. Porém, existia parâmetros que eram necessários para implementar no script e que não havia no datasheet do fabricante. Então a ideia, era estipular esses parâmetros, como a resistência séria (Rs), a resistência paralela (Rp) e o fator de idealidade (n). Iniciando-se a busca por tais parâmetros, utilizou-se a imagem 1 da curva corrente versus tensão do fabricante para extrair e isolar apenas a curva produzida nas condições de 1000W/m2 e 25°C.

A curva extraída está na imagem acima. Utilizou-se essa curva para realizar a leitura com um código em linguagem Java, afim de coletar os dados da relação corrente versus tensão da curva e posteriormente encontrar os valores de resistência série e paralela e fator de idealidade, os quais buscava-se. Com a obtenção dos dados da curva de 1000W/m2 a 25°C, plotou-se esses em uma planilha do Excel e além da curva digitalizada para comparação com a do fabricante, estipulou-se os valores de resistências e do fator de idealidade. Abaixo segue a imagem da curva digitalizada gerada com os dados obtidos e plotados no Excel. Essa curva se mostrou semelhante a curva do fabricante, apresentada na imagem anterior.

Com os dados obtidos pode-se calcular a resistência série por meio do inverso inclinação da curva no ponto de tensão de circuito aberto, ou seja, em Voc. Utilizando o valor da inclinação obtido na imagem abaixo e calculando o seu valor inverso encontrou-se a resistência série (Rs) e implementou-se no modelo computacional.

Posteriormente, utilizando novamente os dados obtidos calculou-se a resistência paralelo do painel em

estudo, por meio da inclinação da curva no ponto de corrente de curto-circuito, ou seja em Isc. Utilizando o valor da inclinação obtido na imagem abaixo e calculando o seu valor inverso encontrou-se a resistência paralelo (Rp) e implementou-se no modelo computacional.



Com os valores de resistências série e paralela e fator de idealidade, implementou-se esses no modelo computacional e pode-se obter uma curva para uma irradiação de 1000W/m2 a 25 °C. Na imagem abaixo tem-se a curva gerada pelo modelo computacional juntamente da curva gerada pelos dados digitalizados.



Na comparação das curvas observou-se uma boa semelhança entre as mesmas, mostrando que o modelo computacional representara bem o comportamento do painel, segundo as suas curvas características.
Afim de assegurar segurança aos resultados obtidos com o script do modelo computacional, obteve-se os parâmetros resistências série e paralela e fator de idealidade utilizando o método Solver do software Excel. Utilizando os valores de Rs e Rp e fator de idealidade obtidos implementou-se no modelo computacional e simulou-se a curva juntamente com a curva plotado a partir dos dados obtidos pela leitura com o código em Java. Na imagem abaixo está representado a comparação.



Como os dois métodos empregados, método das inclinações da curva digitalizada e o método do Excel, o Solver, resultaram em bons resultados para a adequação do modelo computacional ao painel adotado, fez-se uma análise entre os dois métodos por meio da plotagem das curvas em um mesmo eixo e análise de erros. Na imagem abaixo está representado a comparação entre os métodos.



A curva em vermelho, é a curva de referência, pois foi criada a partir da digitalização da curva do datasheet do painel disponibilizado pelo fabricante. A curva em azul foi obtida por meio da simulação com o modelo computacional considerando os valores de resistências e de fator de idealidade obtidos por meio do metodo Solver. A curva em amarelo foi obtida por meio da simulação com o modelo computacional considerando os valores de resistências e de fator de idealidade obtidos por meio das inclinações da curva digitalizada. As outras duas curvas tracejadas representam os erros de cada método. Como pode ser visto, utilizando os valores de resistências e fator de idealidade obtidos pelo método Solver obteve-se uma curva com maior semelhança a digitalizada, sendo assim esse método é o mais adequado e os valores obtidos por ele apresentaram melhor correspondência com os valores reais. Por enquanto adotou-se os valores obtidos de resistências e fator de idealidade obtidos pelo método Solver.
Com os valores dos parâmetros estipulados, tem-se script do modelo computacional parcial para o painel Canadian Solar Maxpower (1500V) – CS6U 330P.

CONCLUSÕES

A temperatura ambiente e a irradiação solar são os principais fatores externos que determinam o rendimento de um painel fotovoltaico ou de um sistema como um todo. Sendo assim, é de fundamental importância que seja realizado um estudo detalhado sobre as condições climáticas da região onde um sistema fotovoltaico está/será implantado, e também do efeito que tais condições climáticas geram na eficiência do sistema.
Muitos estudos negligenciam os efeitos desses fatores no desempenho dos painéis fotovoltaicos e baseiam-se apenas nos valores estipulados pelos fabricantes. No entanto, sabe-se que em condições reais do ambiente, tais sistemas fotovoltaicos apresentarão um desempenho inferior ao especificado pelo fabricante.
Considerando o que foi dito, esse projeto propôs modelar e simular computacionalmente um modelo de painel fotovoltaico para posteriormente fazer análises da influência dos fatores externos citados característicos da região do Maciço de Baturité sobre o desempenho de um sistema fotovoltaico. Obteve-se um modelo computacional parcial para o painel fotovoltaico Canadian Solar Maxpower (1500V) – CS6U 330P, tendo ficado a parte das análises da influência da irradiação solar sobre o seu desempenho para o segundo ano de projeto. Considerando que poucos trabalhos fazem análise dos efeitos dos fatores externos sobre o desempenho de painéis fotovoltaicos, o presente trabalho se mostra relevante para sanar tal falta.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-brasileira – UNILAB por através do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação Científica – PIBIC fomentar a pesquisa.
Agradeço a orientadora Ligia Maria Carvalho Sousa Cordeiro pela oportunidade e confiança e pelos conhecimentos partilhados.
Agradeço ao Francisco Werley Ferreira do Nascimento pela colaboração e parceria.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, J. P. M. UTILIZAÇÃO DE MÉTODO DE INTERPOLAÇÃO PARA ANÁLISE E ESPACIALIZAÇÃO DE DADOS CLIMÁTICOS: O SIG COMO FERRAMENTA. CAMINHOS DE GEOGRAFIA, v. 9, p.85 – 96.

BELTRÃO, R. E. de A. “Efeito da temperatura na geração de energia de módulos fotovoltaicos submetidos a condições climáticas distintas. Estudo de caso para as localidades de Recife e Araripina”. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, 2008.

BÜHLER, A. J., KRENZINGER, A., ROMERO, F. C., "Análise da Variação da Eficiência de Módulos Fotovoltaicos de Diferentes Tecnologias em função da Temperatura e Irradiância", Revista Brasileira de Energia Solar, vol. 2, no. 2, pp. 98-104, Dezembro, 2011.

CABRAL, Claudia V. T. et al. Modelagem e Simulação de Gerador Fotovoltaico. Scientific Eletronic Library Online – SCIELO. Disponível em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022004000200019&script=sci_arttext.

CHENCHE, L. E. PEÑARANDA. AVALIAÇÃO DOS MÉTODOS DE MODELAGEM E PARAMETRIZAÇÃO DE DISPOSITIVOS FOTOVOLTAICOS MONO E MULTI JUNÇÃO. 2015. Dissertação (Mestre em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG.

COSTA, W. T. DA. MODELAGEM, ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS E MÉTODO MPPT PARA MÓDULOS FOTOVOLTAICOS. Tese (Doutor em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória – ES.

PALZ, P. C., “Energia solar e fontes alternativas”. Hemus: São Paulo/SP. 1995.

PINHO, J. T. GALDINO, M. A. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, Edição Revisada, Rio de Janeiro, 2014.
NEVES, G. Marques. Influência do Espectro da Radiação Solar em Módulos Fotovoltaicos. 240 f. Dissertação (Mestrado) – Pós-graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Ciência e Tecnologia de Materiais e Sensores, INPE, 2016.

SOUZA, A. Costa de; MELO, F. Cardoso; JÚNIOR, J. R. Macedo. Modelagem Computacional de Módulos Fotovoltaicos. Universidade Federal de Uberlândia – UFU. Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica – CEEL. Campus Santa Mônica, Uberlândia – MG, 2015. P. 1-6. [Artigos, 2015]. Disponível em: http://www.ceel.eletrica.ufu.br/artigos2015/ceel2015_artigo031_r01.pdf.

WALKER, G. Evaluating MPPT converter topologies using a Matlab PV Model. Journal of electrical and electronics engineering, Australia, 2001.