

ESTUDO DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE UM PROTÓTIPO DE TELHA FOTOVOLTAICA DE PET

Michelle da Silva Sena de Assis (UNESA) E-mail: michellesilvasena@gmail.com

Clara Toledo Siqueira (UNESA) E-mail: claratsiqueira@gmail.com

Dayanna Dávilla da Silva Pereira (UNESA) E-mail: daay_dc@hotmail.com

Helton Santos Cavalcanti (UNESA) E-mail: heltonsc@hotmail.com.br

Richard Brandão Nogueira Vital (UNESA) E-mail: richardvital@gmail.com

Resumo: Os esforços para uma transição para uma matriz econômica de baixo carbono tem provocado o desenvolvimento de soluções energéticas eficientes e limpas. Neste contexto, a utilização da energia solar em sistemas distribuídos é reflexo de políticas públicas, desenvolvimento científico e tecnológico. Um novo conceito de construção chamado Sistemas Fotovoltaicos Integrados em Edificações (BIPV) considera a introdução de elementos fotovoltaicos em estrutura funcionais ou arquitetônicas. Dentre as diversas soluções vislumbradas no BIPV, as telhas fotovoltaicas apresentam vantagens conceituais como: facilidade de instalação e menor poluição visual. Apesar das vantagens, existem muitos aspectos que precisam ser estudados, visto que a eficiência de aproveitamento energético nos módulos fotovoltaico depende da irradiação recebida e temperatura de operação. Alguns pontos relacionados às telha fotovoltaicas precisam ser explorados com destaque para: tipo de material dos módulos fotovoltaicos que pode ser filmes cristalinos (monocristalinos ou policristalinos), filmes finos inorgânicos ou tecnologias orgânicas; ângulo de incidência da radiação solar, que sofrem influência do posicionamento e inclinação; presença de partículas ou gases atmosféricos, que podem provocar os espelhamento da energia; capacidade de dissipação de calor, visto que não é prevista a introdução de elementos no próprio telhado que exercessem essa função; certificação dos produtos, visto a possibilidade de conexão à rede pública de distribuição de energia possui alguns parâmetros de controle; dentre outros. Com o intuito de contribuir para o desenvolvimento das telhas fotovoltaicas, esse trabalho mostra os resultados dos experimentos realizados em um protótipo que empregou telhas do tipo PET e módulos policristalinos. Dessa forma, o objetivo deste trabalho é estudar o comportamento da geração de energia elétrica em um protótipo de telha fotovoltaica considerando as características climáticas da cidade de Parati.

Palavras-chave: Energia solar. Telha Fotovoltaica. PET.

STUDY OF ELETRIC POWER GENERATION USING A PROTOTYPE OF PHOTOVOLTAIC ROOF USING PET MATERIAL

Abstract: The transition for a low carbon economic matrix demands the development of efficient and clean solutions. In this context, the use of photovoltaic distributed systems is growing because of public policies, scientific and technological development. A new construction concept called Building Integrated Photovoltaic Systems (BIPV) considers the introduction of photovoltaics elements in the functional or architectural structures. Among the various promising solutions in BIPV, photovoltaic roof has conceptual advantages such as: easy installation and less visual pollution. Despite the advantages, there are many aspects that need to be studied, since the photovoltaic modules efficiency depends on the received solar irradiation and operating temperature. Some open points related to photovoltaic roofs are: type of module material, that can be crystalline (monocrystalline or polycrystalline), inorganic thin films or organic technologies; incidence angle of solar irradiation, which are influenced by position and inclination of the roof; presence of atmospheric particles or gases, which can cause energy mirroring; capacity to dissipate heat, since it is not foreseen the introduction of the elements in the roof; certification of products, since the technology considers the possibility of connection to the public energy grid that has some control parameters; among others. To contribute with the development of photovoltaic roofs, this paper shows the results of experiments carried out in a prototype that combine PET roof and polycrystalline modules. Thus, the objective of this work is to study the behavior of electric power generation in a photovoltaic roof considering the climatic characteristics of the Parati city.

Keywords: Solar energy. Solar roof. PET.

1. Introdução

O contínuo processo de construção e transmissão de conhecimento busca atender variadas demandas sociais (CAVALCANTI e GOMES, 2001). A transformação do conhecimento gera avanços tecnológicos quem visam garantir produção de riquezas e melhoria da qualidade de vida da sociedade, provendo soluções para diferentes áreas como: comunicação, educação, medicina, infraestrutura, transporte, segurança, lazer, dentre outras. Geralmente, o funcionamento das soluções tecnológicas está atrelado ao emprego de alguma fonte energética (hídrica, térmica, eólica, solar, biomassa, fóssil, nuclear ou de mares). Otimizar a utilização dos recursos naturais disponíveis para atender das demandas econômicas e sociais é um dos grandes desafios da atualidade (AGUIAR, 2004; LA ROVERE e SIMÕES, 2008). Para um sistema interligado de grandes dimensões como é o caso do Brasil, torna-se necessário um planejamento na integração de fontes de base, que garantem a estabilidade do sistema elétrico e fontes renováveis, que fornecem energia em períodos variáveis de acordo com o tipo de fonte primária disponível.

Dentre as fontes de energia classificadas como renováveis, a energia solar tem despertado interesse no Brasil e no mundo. As primeiras soluções para aproveitamento da energia solar eram baseadas em aquecimento de água e hoje temos soluções para produção direta de energia elétrica com o emprego de semicondutores, classificadas como fotovoltaicas. A expansão do parque produtor de energia, a partir das tecnologias fotovoltaicas, pode ser atribuída aos seguintes fatores: programas de incentivos governamentais, redução dos custos de componentes fotossensíveis e melhoria das técnicas de fabricação (DANTAS e POMPERMAYER, 2018). Segundo a Associação Brasileira de Energia Solar (ABSOLAR), em julho de 2021 o Brasil contabilizou uma potência instalada superior a 9,7 GW, valor que considera a geração fotovoltaica centralizada, que contabiliza a produção em usina solares fotovoltaica adicionada da geração distribuída, através de consumidores residenciais, comerciais, rurais, industriais e setor público (ABSOLAR, 2021).

O setor da construção civil abrange uma robusta cadeia de fornecimento e desenvolvimento de materiais e projetos, que possui um relevante impacto sobre a economia brasileira (SOARES et al., 2016). Apesar da heterogeneidade do setor, várias tecnologias têm sido desenvolvidas para atender as necessidades sociais. Uma inovação é a introdução de Painéis Solares Integrados à Construção (BIPV – *Building Integrated Photovoltaics*), que consiste no emprego de elementos fotovoltaicos integrados às estruturas de uma edificação (LANDEIRA, 2013).

A geração de energia através de elementos fotovoltaicos pode empregar células de silício monocristalino, policristalino ou amorfo, filmes finos inorgânicos e tecnologias orgânicas. Araujo et al. (2018) elaborou um estudo comparativo para se determinar a eficiência das células de silício monocristalino e policristalino. Esse estudo mostrou que a eficiência média das células esteve no intervalo de 14 a 18%. Outros estudos apresentam valores de eficiência próximos à faixa indicada por Araújo et al., indicando que os módulos monocristalino são mais eficientes (NIEDZIALKOSKI, 2013; ARAUJO et al., 2018; DIAS, 2018). Entretanto, independentemente das condições de teste ou material empregado, o valor de potência fornecida fica em patamares bem inferiores à potência nominal das células.

A energia produzida pelas células fotovoltaicas sofre influência da irradiação solar

e temperatura de operação (SANTOS e MICHELS, 2011). A irradiação recebida pode ser: direta, quando os raios solares atingem a superfície semicondutora; refletida, quando os raios atingem superfícies que promovem a reflexão alterando a direção dos mesmos; difusa, quando sofrem atenuação na atmosfera e podem sofrer alteração na direção (RIBEIRO, 2015). Estudos mostram que a irradiação varia de acordo com a posição da célula em relação a posição do sol, sendo caracterizada pelo ângulo de incidência (ALMEIDA et al., 2017; STAMBUK, 2017). Além disso, as condições do local de instalação como nebulosidade, presença de gases ou partículas também influenciam no nível que irradiação que atinge as células fotovoltaicas (BARBOSA et al., 2018). STAMBUK (2017) estudou a influência da temperatura de operação na eficiência de módulos fotovoltaicos e demonstrou o ganho decorrente do emprego de soluções de resfriamento.

A implantação de sistemas fotovoltaicos é justificada através de estudos de viabilidade econômico-financeira. Esses estudos levam em consideração uma previsão de produção de energia, o custo da energia distribuída e o tempo de vida útil dos equipamentos (ROSA e FERREIRA, 2019). Geralmente, os estudos de viabilidade consideram um padrão de irradiação solar relacionado a uma localização, através do parâmetro Hora de Sol Pleno (HSP). Entretanto, a energia produzida possui um comportamento inconstante durante os dias e diferentes estações, provocando incertezas nos cálculos. Algumas cidades brasileiras, como por exemplo as localizadas na costa verde fluminense, apresentam condições climáticas inconstantes, fato que podem provocar falhas na aplicação dos modelos padrão de análise de viabilidade.

Dentre as inovações do BIPV, as telhas fotovoltaicas se apresentam como uma solução promissora, visto que possuem vantagens em relação aos sistemas fotovoltaicos atuais (BODÃO, 2014; DIAS, 2018; RAGNINI, 2018; HORTA et al., 2019). Entretanto, para que essa inovação se torne realidade na matriz energética brasileira, muitos estudos precisam ser feitos para identificar os materiais mais adequados e eficientes, metodologias de análise de viabilidade mais adequadas às telhas fotovoltaicas e avaliação dos requisitos para certificação dos produtos junto aos órgãos competentes.

Diante do cenário apresentando e oportunidades identificadas, esse trabalho apresenta um estudo do comportamento de um protótipo de telha fotovoltaica com PET, instalado em um telhado já existente na cidade de Parati/RJ. Para atingir o objetivo apresentado, esse estudo descreve a montagem do protótipo, metodologia de extração de parâmetros e resultados experimentais alcançados.

2. Materiais e métodos

O planejamento dessa pesquisa foi estruturado em cinco fases como mostrado na Figura 1. Na fase de “Especificação de materiais” foram avaliados diferentes tipos de telhas, células solares e instrumentos para monitoração de parâmetros. A telha escolhida é constituída de Politereftalato de etileno (PET) translúcido, visto que ela possui alta resistência mecânica, térmica e química, além de permitir a penetração da irradiação solar (CAVALCANTE, 2011). A escolha das células policristalinas levou-se em consideração o fator econômico, visto que essas apresentam um menor custo que está associada ao tipo de material e processo de construção (STAMBUK, 2017). O modelo de célula especificado fornece uma tensão de saída de 12 V_{DC} e sua potência nominal é de 1,5 W. Outro fator que foi considerado na especificação da célula fotovoltaica foram as

dimensões, visto que elas precisam ser posicionadas de forma harmônica, possibilitando a sustentação na face inferior da telha. Para os registros dos parâmetros relacionados à produção de energia através da fonte solar, foi especificado um multímetro com memória interna, possibilidade de alimentação diretamente pelas células solares e medição de parâmetros em corrente contínua. Na tela do medidor é possível observar os seguintes parâmetros: temperatura, tensão, corrente, potência, energia gerada. O consumidor especificado foi um resistor, para evitar defasagem entre corrente e tensão, que podem ser monitorados pelo medidor. Durante a fase de “Aquisição de materiais” foram buscados fornecedores nacionais e internacionais com as melhores propostas comerciais.



Figura 1 – Etapas do estudo do comportamento de um protótipo de telha fotovoltaica

Na fase de “Montagem do protótipo”, duas células policristalinas foram fixadas na parte inferior da capa de PET. Após realizar as conexões elétricas entre as células, medidor e resistência, o protótipo foi instalado em um telhado já existente com a face superior voltada na direção sul, conforme indicado na bússola mostrada na Figura 2. O sensor de temperatura foi instalado abaixo das células policristalinas e sem contato direto

com elas, para se monitorar a temperatura ambiental.



Figura 2 – Protótipo da tela com duas células cristalinas instaladas voltadas para a direção sul

Durante a fase de “Coleta de dados do protótipo”, várias fotos foram tiradas na tela do medidor em diferentes dias e horários para se poder compreender o comportamento da geração. A Figura 3 ilustra uma das amostras coletadas no dia 11/04/2021.



Figura 3 – Informações relacionadas ao funcionamento do protótipo montado

Na fase de “Estudo de dados coletados”, uma planilha gerada incluindo todas as amostras obtidas no período de 04/04/2021 e 31/08/2021. Nessa planilha, os dados foram agrupado e deram origem a gráficos.

3. Resultados e discussões

O gráfico de energia gerada acumulada no período de observação é mostrado na Figura 4. Os dados mostram que o comportamento não foi constante e, que em alguns períodos não ocorreu a geração. Os períodos sem contabilização de geração de energia correspondem aos dias com condições climáticas desfavoráveis.

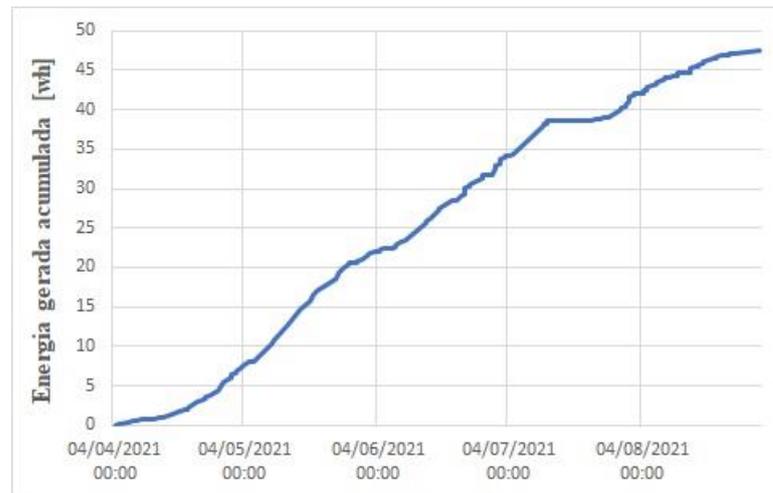


Figura 4 – Evolução da energia acumulada gerada pelo protótipo montado

A amostra representada na Figura 3 foi extraída às 14h54min indicando que a energia gerada já estava sendo apenas suficiente para o consumo do medidor, uma vez que os valores de corrente e potência instantânea estavam zerados. Nessa situação o valor de tensão também já estava reduzindo e se encontrava abaixo do valor nominal de 12 V_{DC}. Também vale ressaltar que o medidor possui imprecisões para valores de corrente e potência, visto que existem apenas duas casas decimais e, no caso da tensão, o valor apresentado possui apenas uma casa decimal de precisão.

Como o gráfico da Figura 4 não permite uma comparação diária clara, foi calculado um novo parâmetro chamado de energia média diária, que considera a relação entre a energia acumulada e o intervalo entre as amostras diárias. A Tabela 1 apresenta um comparativo da energia mensal acumulada e uma temperatura ambiente média, que foi obtida através da média aritmética simples das amostras registradas. A temperatura ambiente média não considera os períodos sem geração de energia registrada. Efetuando a comparação mensal, os dados mostram que no mês de maio foi registrado o maior valor de energia gerada.

Tabela 1 – Acompanhamento mensal da produção do protótipo de telha fotovoltaica

	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto
Período de observação (dias)	27	31	30	31	31
Energia mensal acumulada (wh)	5,84	14,96	10,33	8,02	6,59
Energia média diária (wh)	0,2163	0,4826	0,3443	0,2587	0,2126
Temperatura média (°C)	28,5676	26,1786	24,8036	23,6167	24,1397

Fonte: os autores.

Para demonstrar o comportamento inconstante de geração de energia, foi elaborada uma comparação da potência média fornecidas em cinco dias em diferentes meses, considerando no mínimo quatro amostras diárias, conforme mostrado na Figura 5. Os resultados indicam que existe uma variação temporal da energia produzida, sendo que os

maiores valores de produção se encontram no período entre 9 e 12 h. Considerando cada perfil de potência média, é de se imaginar que se o cálculo de viabilidade que despreze as variações temporais pode introduzir incertezas significativas.

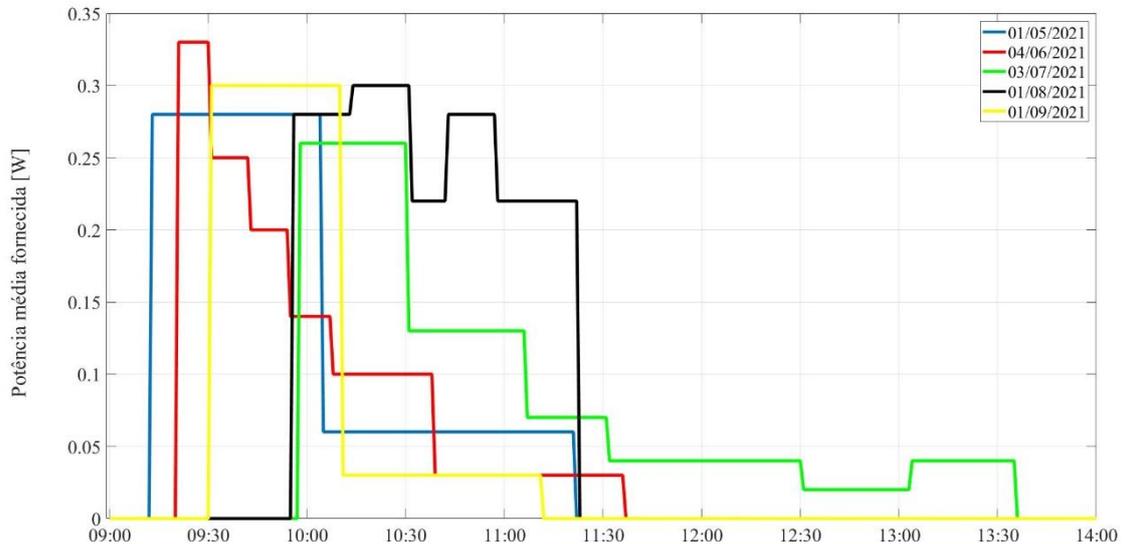


Figura 5 – Comparação do perfil de produção de energia no protótipo

4. Conclusões

Os resultados apresentados demonstram que o emprego de telhas do tipo PET aliada a células fotovoltaicas pode ser uma importante opção de geração de energia distribuídas em edificações. Entretanto, ainda existem outros estudos que precisam ser realizados considerando o ângulo de inclinação dos telhados e a orientação das telhas em relação aos pontos cardiais. A correlação entre os principais fatores relacionado à geração de energia elétrica também precisam ser estudadas e, para isso, torna-se necessário de desenvolver um registrador automatizado para monitorar além dos parâmetros mostrados neste trabalho, como: temperatura na superfície das células fotovoltaicas e irradiação solar.

Referências

ABSOLAR. *Energia Solar Fotovoltaica no Brasil – Infográfico.* N. 34, 2021.

AGUIAR, W. M. *O uso de fontes alternativas de energia como fator de desenvolvimento social para segmentos marginalizados da Sociedade.* Tese (Mestrado em Planejamento Estratégico) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

ALMEIDA, T. C., MENDES, M. S., GOMES, J. G. F., ESTEVES, E. S. J. *Análise de viabilidade da instalação de sistema fotovoltaicos para geração de energia elétrica no nordeste brasileiro com o uso da metodologia PMBOK.* XXXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção., Joinville, 2017.

ARAÚJO, G. P., RAMANAUSKAS, L. F. C., ZANESCO, I., MOEHLECKE, A. *Comparação e análise de módulos fotovoltaicos com células de silício cristalino.* VII Congresso Brasileiro de Energia Solar, Gramado, 2018.

BARBOSA, E. R., FARIA, M. S. F., GONTIJO, F. B. *Influência da sujeira na geração fotovoltaica.* VII

Congresso Brasileiro de Energia Solar, Gramado, 2018.

BODÃO, J. H. *Desenvolvimento colaborativo de telhas fotovoltaicas com RCD*. Dissertação (Mestrado em Design) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

CAVALCANTE, C. R. P. *O uso do PET em telhas translúcidas visando o conforto natural lumínico e térmico*. Dissertação (Engenharia do Meio Ambiente) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

CAVALCANTI, M.; GOMES, E. *Inteligência Empresarial: Um Novo Modelo de Gestão Para a Nova Economia*. Revista Produção, volume 10, nº 2, pp. 53-64, 2001.

DANTAS, S. G.; POMPERMAYER, F. M. *Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no Brasil e possíveis efeitos no setor elétrico*. Texto para discussão - IPEA. Rio de Janeiro, 2018.

DIAS, A. B. *Implantação de células solares fotovoltaicas em superfícies onduladas e planas: desenvolvimento de protótipo e projeto para aplicação no campus da UFRN*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

HORTA, R. A. S., PENNA, R. M., OLIVEIRA, R. D. *Viabilidade técnica e econômica de telhas fotovoltaicas aplicadas a uma residência unifamiliar em Belo Horizonte-MG*. XV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, João Pessoa, 2019.

LANDEIRA, J. L. F. *Análise técnico-econômica sobre a viabilidade de implantação de sistemas de geração fotovoltaica distribuída no Brasil*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

LA ROVERE, E. L., SIMÕES, A. F. *Climate change implications of the Brazilian energy outlook*. Terra, v. 3, n. 1, pp. 4-15, 2008.

MIRANDA, R. F. C. *Análise da inserção de geração distribuída de energia solar fotovoltaica no setor residencial brasileiro*. Dissertação (Mestrado em Planejamento Estratégico) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

NIEDZIALKOSKI, R. K. *Desempenho de painéis solares mono e policristalinos em um sistema de bombeamento de água*. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2013

RAGNINI, G. *Análise da viabilidade técnica e econômica da instalação de telhas fotovoltaicas conectada à rede de distribuição em novas residências eficientes*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

RIBEIRO, A. E. D. *Análise da influência da localização, área e forma de sítios no potencial de geração de energia elétrica de pequena escala no Brasil: um método para as fontes solar e eólica*. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

ROSA, G. P., FERREIRA, A. F. *Geração de energia elétrica através de Sistemas Fotovoltaicos para consumidores comerciais de pequeno porte*. Revista TECCEN, v. 12, n. 12, pp. 83-93, 2019.

SANTOS, J. A. A., MICHELS R. N. *Influência de fatores ambientais sobre o desempenho de um sistema de bombeamento fotovoltaico: um estudo de caso*. Revista Agroambiental, pp. 51-55, 2011.

SOARES, P. B., CARNEIRO, T. C. J., CALMON, J. L., CASTRO, L. O. C. O. *Análise bibliométrica da produção científica brasileira sobre Tecnologia de Construção e Edificações na base de dados Web of Science*. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 16, n. 1, pp. 175-185, 2016.

STAMBUK, R. H. *Influência da temperatura de operação no desempenho de sistemas fotovoltaicos*. Monografia (Especialização em Energias Renováveis).