

Arrefecimento de módulo fotovoltaico flutuante pelo uso de aletas

Bruna de Oliveira Busson (UFC) - bruna.busson@yahoo.com.br

Matheus Albuquerque Melo (UFC) - matheus.a.melo3@gmail.com

Calil Nunes Souza (UFC) - calilnsouza@gmail.com

PAULO C. M. CARVALHO (UFC) - carvalho@dee.ufc.br

Clodoaldo de Oliveira Carvalho Filho (UFC) - clodoaldo@ufc.br

Resumo:

Um dos fatores limitantes no processo de geração fotovoltaica (FV) é a elevada temperatura de operação dos módulos FV que acarreta na redução da eficiência de conversão. Visando diminuir as perdas na geração de eletricidade, devido às altas temperaturas de operação que um módulo FV pode alcançar, têm sido utilizados a nível mundial módulos FV instalados sobre corpos d'água, módulos FV flutuantes. O principal objetivo do presente estudo é avaliar o efeito na temperatura de operação e na geração de eletricidade resultante do arrefecimento do módulo FV flutuante com o uso de aletas em contato com a água. Cinco aletas são fixadas na parte posterior de um módulo e em contato com a água de um tanque com 310 litros. O comportamento térmico desse módulo foi comparado ao comportamento térmico de outro módulo, de mesma especificação, instalado de maneira convencional sobre um telhado. Os dados obtidos a partir da utilização de sensores para medição de temperatura, irradiação solar, velocidade do vento, corrente contínua e tensão foram coletados por um controlador lógico programável (CLP). A máxima diferença de temperatura de operação entre os dois módulos FV ocorreu ao meio-dia, quando a temperatura do módulo convencional estava 3,2°C acima da temperatura do módulo flutuante com aletas. Além disso, durante 86,3% do período com irradiação incidente a temperatura do módulo convencional esteve acima da temperatura do flutuante com aletas. Devido à utilização das aletas de alumínio no módulo FV flutuante, foram obtidos ganhos de geração de eletricidade diária de cerca de 31,5%.

Palavras-chave: *Módulo FV Flutuante, Temperatura de Operação, Geração de Eletricidade*

Área temática: *Conversão Fotovoltaica*

Subárea temática: *Tecnologias e ensaios de módulos fotovoltaicos*

ARREFECIMENTO DE MÓDULO FOTOVOLTAICO FLUTUANTE PELO USO DE ALETAS

Bruna de Oliveira Busson– bruna.busson@yahoo.com.br
Universidade Federal do Ceará, Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
Matheus Albuquerque Melo– matheus.a.melo3@gmail.com
Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Elétrica
Calil Nunes Souza– calilnsouza@gmail.com
Universidade Federal do Ceará, Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Materiais
Paulo Cesar Marques de Carvalho– carvalho@dee.ufc.br
Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Elétrica
Clodoaldo de Oliveira Carvalho Filho– clodoaldo@ufc.br
Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Mecânica

4.2 Tecnologias e ensaios de módulos fotovoltaicos

Resumo. *Um dos fatores limitantes no processo de geração fotovoltaica (FV) é a elevada temperatura de operação dos módulos FV que acarreta na redução da eficiência de conversão. Visando diminuir as perdas na geração de eletricidade, devido às altas temperaturas de operação que um módulo FV pode alcançar, têm sido utilizados a nível mundial módulos FV instalados sobre corpos d'água, módulos FV flutuantes. O principal objetivo do presente estudo é avaliar o efeito na temperatura de operação e na geração de eletricidade resultante do arrefecimento do módulo FV flutuante com o uso de aletas em contato com a água. Cinco aletas são fixadas na parte posterior de um módulo e em contato com a água de um tanque com 310 litros. O comportamento térmico desse módulo foi comparado ao comportamento térmico de outro módulo, de mesma especificação, instalado de maneira convencional sobre um telhado. Os dados obtidos a partir da utilização de sensores para medição de temperatura, irradiação solar, velocidade do vento, corrente contínua e tensão foram coletados por um controlador lógico programável (CLP). A máxima diferença de temperatura de operação entre os dois módulos FV ocorreu ao meio-dia, quando a temperatura do módulo convencional estava 3,2°C acima da temperatura do módulo flutuante com aletas. Além disso, durante 86,3% do período com irradiação incidente a temperatura do módulo convencional esteve acima da temperatura do flutuante com aletas. Devido à utilização das aletas de alumínio no módulo FV flutuante, foram obtidos ganhos de geração de eletricidade diária de cerca de 31,5%.*

Palavras-chave: *Módulo FV Flutuante, Temperatura de Operação, Geração de Eletricidade*

1. INTRODUÇÃO

Segundo a *International Energy Agency* (IEA), a produção mundial de eletricidade por fonte solar fotovoltaica (FV) mundial em 2005 foi de 4 TWh, enquanto em 2015, a produção alcançou a marca de 247 TWh (IEA, 2018), o que demonstra o crescimento da participação dessa fonte na mudança nas matrizes elétricas e no desenvolvimento sustentável dos países.

A energia do Sol tem sido bastante usada na obtenção de energia com baixos impactos ao meio ambiente. Considerado uma fonte de energia inesgotável na escala terrestre de tempo, tanto como fonte de luminosidade como de calor (Pinho e Galdino, 2014). Muitos países tratam a energia solar como alternativa para geração de energia elétrica com baixo impacto ao meio ambiente para tentar superar os danos provocados pelo uso de combustíveis fósseis (Hosenuzzaman *et al.*, 2015).

Os módulos FV convertem fótons de luz solar em corrente elétrica, oferecendo diversas vantagens em relação às demais formas de conversão de energia, tais como: ausência de emissão de CO₂ durante a operação, autonomia (visto que não necessariamente precisa de conexão com a rede elétrica ou qualquer suplemento de combustíveis fósseis), baixo custo de manutenção, capacidade de expansão, fonte inesgotável de energia, tempo de vida longo dos módulos (Valente, 2011).

No Brasil, a geração FV tem enorme possibilidade de ganho de espaço no mercado de eletricidade, principalmente após a Resolução Normativa N° 482/2012, alterada pela N° 687/2015. Essa resolução é considerada um marco regulatório, pois define as condições gerais para microgeração e minigeração distribuída (ANEEL, 2015).

Apesar de ter pequena participação na matriz energética nacional, a geração FV apresentou a maior taxa de crescimento nos últimos anos. Por exemplo, a produção de energia solar FV saltou de 85 GWh, em 2016, para 832 GWh, em 2017, ou seja, apresentou um crescimento de 875,6% (EPE, 2017). Segundo o Programa Mensal de Operação Energética (PMO) no final de 2018, o Brasil já possuía 1.780 MW de capacidade instalada solar FV no Sistema Interligado Nacional (SIN), representando 1,1% da capacidade total do SIN (ONS, 2019).

Um módulo FV converte cerca de 10-20% da irradiação incidente, o restante é acumulado, principalmente, na forma de calor. Esse calor eleva a temperatura de operação do módulo e, conseqüentemente, reduz a eficiência de conversão

FV. Quanto maior for a temperatura de operação de um módulo FV menor será sua eficiência de conversão, pois há um efeito adverso na eficiência causado pelo aumento da temperatura de operação. Com o propósito de compensar a perda na geração de eletricidade provocada pela temperatura elevada do módulo, aplica-se módulos FV sobre estruturas flutuantes para diminuir a temperatura de operação e, conseqüentemente, aumentar a eficiência de conversão (Sahu *et al.*, 2016).

A implementação de plantas flutuantes sobre corpos d'água gera mais energia elétrica do que plantas FV convencionais (instaladas em solo ou telhado) devido ao efeito de resfriamento pela água. Além disso, as plantas flutuantes não ocupam terrenos que podem ser utilizados em outras atividades humanas, atenuam as perdas d'água por evaporação e diminuem o crescimento de algas causadoras da eutrofização (Sahu *et al.*, 2016).

O principal objetivo do presente artigo é avaliar o efeito na temperatura de operação e na geração de eletricidade do arrefecimento do módulo FV flutuante com o uso de aletas em contato com a água. Por meio de gráficos, o comportamento térmico do módulo FV flutuante com aletas em contato com a água é avaliado e comparado ao comportamento térmico de um módulo FV de mesma especificação instalado de forma convencional.

2. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS FLUTUANTES

Segundo Cazzaniga *et al.* (2017), há muitos fatores que podem limitar a aplicação da tecnologia FV convencional em projetos de larga escala. Os principais são a ocupação territorial, a perda de eficiência devido à alta temperatura de operação FV e a intermitência. Esses fatores limitantes podem ser, parcialmente ou totalmente, solucionados com a implementação do conceito de instalação flutuante que procura romper o paradigma de que módulos FV sobre superfícies aquáticas é um processo caro e complicado.

Visando principalmente a menor ocupação de terrenos, os estudos envolvendo plantas FV flutuantes têm ganhado destaque nos últimos anos em várias partes do mundo, tornando-se alternativa para regiões com escassez de áreas secas para a instalação de módulos FV (Cazzaniga *et al.*, 2017). Um sistema FV instalado sobre estrutura flutuante gera mais eletricidade se comparado a um sistema FV convencional de mesma capacidade instalada devido à diminuição da temperatura de operação dos módulos pelo vapor d'água. Também há a redução das perdas d'água por evaporação (Sahu *et al.*, 2016).

Para a planta FV flutuante, os tipos de módulos FV utilizados são os mesmos aplicados em instalações convencionais, concentrando-se em módulos de silício cristalino. Ademais nos primeiros projetos-pilotos, era comum a aplicação de módulos de células de silício monocristalino por sua maior eficiência de conversão. No entanto, seu maior custo fez com que fossem substituídos por módulos de silício policristalino, como representado na Fig. 1 (Strangueto, 2013).



Figura 1 - Primeira usina solar flutuante do Brasil em Sobradinho, Bahia (Camargo, 2019).

As estruturas de suporte em plantas FV flutuantes diferem das plantas convencionais, principalmente, pela capacidade de resistência ao impacto de ondas e ao deslocamento causado pelo movimento da água. Dessa forma, como os módulos FV rígidos são expostos ao vento, às ondas e às forças externas, agentes de formação de fissuras e/ou microfissuras nos módulos que acarretam perdas de eficiência e durabilidade. Então, exige-se estruturas flutuantes flexíveis e resistentes que sejam capazes de garantir a vida útil dos módulos FV (Borba e Novak, 2018).

Dentre as vantagens das plantas FV flutuantes estão (Choi, 2014; Sahu *et al.*, 2016; Costa, 2017):

- Aumento de eficiência: a diminuição da temperatura de operação dos módulos FV proporciona aumento da eficiência em relação às plantas FV convencionais.
- Redução da evaporação: o sombreamento e a redução da área exposta causado pelas plantas FV flutuantes podem reduzir as perdas por evaporação em até 33% em lagos e lagoas naturais e em cerca de 50% em reservatórios artificiais.
- Melhoria da qualidade da água: a baixa incidência direta da irradiação solar na área abrangida pela instalação e a diminuição da temperatura da água abaixo da estrutura, reduz a proliferação de algas, responsáveis pela eutrofização.

- Redução da sujeidade: comparada às plantas instaladas em solo, as flutuantes sofrem menos perdas de geração por presença de poeira sobre os módulos FV.
- Otimização do uso de terrenos: os territórios que, antes seriam utilizados para instalação de plantas FV, podem ser destinados à produção agrícola, pecuária, turismo, construção civil, entre outras atividades.
- Diminuição dos custos: devido à redução dos custos com obtenção de terras, o que viabiliza economicamente a implementação de projetos de sistemas FV flutuantes.

Dentre as desvantagens de plantas FV flutuantes estão (Costa, 2017; Borba e Novak, 2018):

- Impactos ambientais: a diminuição da incidência direta de irradiação solar na água abaixo da estrutura e a consequente redução da temperatura da água podem comprometer a produtividade primária do ecossistema com a diminuição do crescimento das algas, afetando assim a biodiversidade local.
- Vida útil dos equipamentos: devido à proximidade com o meio aquático, os módulos FV e os condutores elétricos podem ser afetados pela umidade e sofrer com a corrosão. Além disso, o tempo de vida útil do sistema FV flutuante pode ser comprometido por condições ambientais adversas, como vibrações causadas pelas ondas e ocorrência de temporais que podem gerar microfissuras nas células FV e/ou acidentados.
- Restrição de uso do espaço: pesca, navegação e outras atividades podem ser afetadas no caso de alguns reservatórios.

O Brasil foi o pioneiro a explorar reservatórios de hidrelétricas para a instalação de módulos FV. A primeira usina solar flutuante instalada foi em Presidente Figueiredo, no Amazonas, implementada no lago da hidrelétrica de Balbina, como mostra a Fig. 2. Inicialmente, em março de 2016, foram instalados 16 módulos FV, com potência instalada de 4 kWp. No fim de 2017, a instalação já contava com 1 MWp de potência instalada e deverá ser ampliada para 5 MWp, passando a ocupar uma área de 50.000 m². Caso os resultados sejam positivos quanto a impactos à flora aquática, a usina pode ser expandida para 300 MWp, sendo capaz de abastecer 540.000 famílias (Portal Solar, 2017).



Figura 2 - Usina solar flutuante no reservatório da Usina Hidrelétrica de Balbina (Portal Solar, 2017).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Energias Alternativas da Universidade Federal do Ceará (LEA/UFC), objetivando analisar a geração de eletricidade de dois módulos FV de 20 Wp modelo KS20T, o primeiro instalado de forma convencional sobre telhado (Fig. 3) e o segundo instalado sobre estrutura flutuante com aletas para ampliação do efeito do arrefecimento (Fig. 4) em um tanque d'água de 310 L.



Figura 3 - Módulo modelo KS20T instalado de forma convencional em telhado no LEA/UFC.



Figura 4 - Módulo modelo KS20T com aletas em sua superfície posterior sobre tanque d'água.

Módulos FV flutuantes usam o movimento do ar para perda do calor acumulado. Neste estudo, é proposta a fixação de aletas metálicas na superfície inferior do módulo FV em contato com a água. Com a maior perda de calor devido ao uso de aletas, espera-se que haja redução da temperatura de operação do módulo FV, o que promoverá um aumento da eficiência do módulo, pois as duas grandezas são inversamente proporcionais.

Dois pesquisas envolvendo módulos FV flutuantes foram realizadas anteriormente no LEA/UFC, um por Sacramento (2015) e outro por Alencar Filho (2018). Alencar Filho (2018) constata que por não haver contato direto com a superfície da água, o módulo FV flutuante praticamente não apresentava redução na temperatura de operação. Esse resultado é semelhante ao encontrado por Sacramento (2015), já que o autor mostra que o contato direto do módulo FV com a água diminuiu efetivamente a temperatura do módulo FV levando a ganhos na eficiência de conversão. Contudo, o contato direto do módulo FV flutuante com a superfície da água pode degradar os componentes do módulo a longo prazo.

As aletas são utilizadas como intuito de permitir o contato indireto entre a superfície inferior do módulo FV e a água. Uma aleta é caracterizada por ser uma superfície estendida que eleva a taxa de transferência de calor entre um sólido e um fluido adjacente. Portanto, as aletas terão o papel de intensificar a superfície de contato, otimizando o arrefecimento do módulo.

As aletas utilizadas no experimento são fabricadas em alumínio e com seção retangular em formato de “L”, com uma de suas abas fixada na superfície posterior do módulo FV e a outra imersa no meio líquido, cada uma com 5 cm de largura. Optou-se pelo alumínio devido à sua relação-custo benefício, pois quando comparado ao cobre o alumínio, que tem menor condutividade térmica, tem um valor econômico inferior, viabilizando economicamente sua utilização.

Cinco aletas foram aplicadas na superfície posterior do módulo FV flutuante sobre um tanque d'água de 310 litros, sendo o módulo FV instalado em estrutura flutuante que mantém apenas 2 cm da aba vertical da aleta penetrada na água (Fig. 4). A comparação do comportamento térmico dos dois módulos FV é possível devido à medição dos mesmos dados para ambos.

A análise comparativa do comportamento térmico entre os dois módulos FV é possível pois os sensores medem temperatura, irradiação solar, velocidade do vento, corrente contínua e tensão. A Tab. 1 apresenta a lista com os sensores utilizados nos experimentos e as medições realizadas.

Tabela 1 - Sensores utilizados nos experimentos no LEA/UFC.

SENSOR	PARÂMETRO MEDIDO
PT100	Temperatura do módulo FV
	Temperatura da água
	Temperatura ambiente
Piranômetro	Irradiância incidente
Anemômetro	Velocidade do vento local
Sensor de corrente	Corrente e tensão

Nos testes realizados no LEA/UFC, os sensores PT100 foram conectados a transmissores de temperatura modelo TxRail com saída programável de 4 – 20 mA. A saída de cada módulo FV, por sua vez, é conectada a uma carga composta por duas lâmpadas incandescentes em série de 4 W e 12 V em corrente contínua. Além da conexão à carga, os módulos FV estão conectados diretamente aos sensores de corrente que, por sua vez, estão interligados ao módulo de comunicação. Tanto o módulo de comunicação quanto os transmissores estão conectados ao sistema supervisorio composto por Controladores Lógicos Programáveis (CLP) que envia os dados para o Sistema de Aquisição de Dados (SAD) *TeamViewer* presente no computador do LEA/UFC. Na Fig. 5 está representada a tela de interação com o usuário do SAD referente ao dia 19 de junho de 2019.

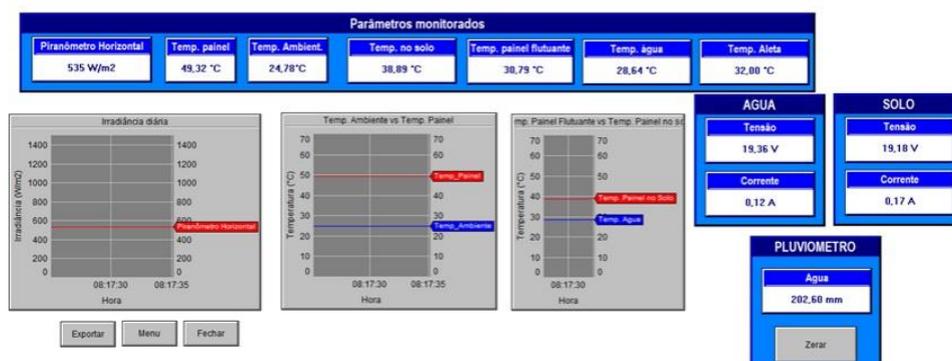


Figura 5 - Interface SAD apresentada ao usuário.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados colhidos pelos sensores diariamente e utilizados no estudo foram obtidos a partir de aferições contínuas minuto a minuto no período de 09/02/2019 a 16/06/2019. A faixa horária de análise utilizada nos gráficos a serem apresentados está entre 6:00 e 18:00 horas, já que fora desse intervalo os valores de irradiação solar são nulos. No ano de 2019, os índices pluviométricos em Fortaleza tiveram precipitação mensal de 467, 679, 548, 367 e 218 milímetros nos meses de fevereiro, março, abril, maio e junho, respectivamente.

A Fig. 6 apresenta a média de irradiação solar diária no período em análise.

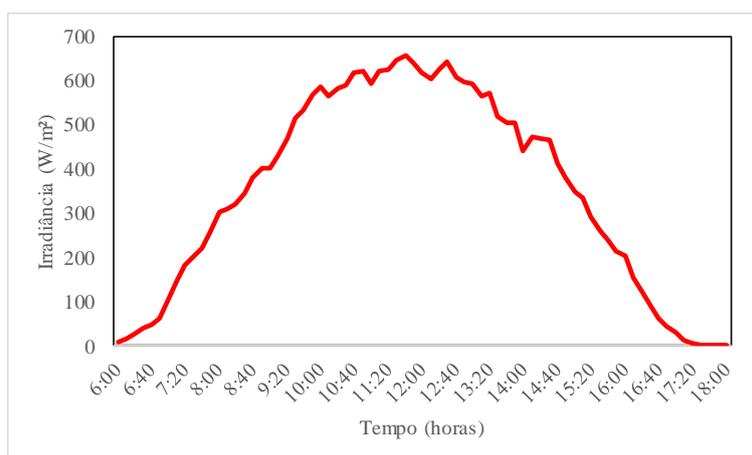


Figura 6 - Irradiação diária média.

A Fig. 7 mostra as curvas de temperaturas médias do ambiente e da água do tanque ao longo do período em análise. A média da temperatura ambiente ao longo do dia é de 25,4 °C e da temperatura da água do tanque de 310 L é de 29,3 °C.

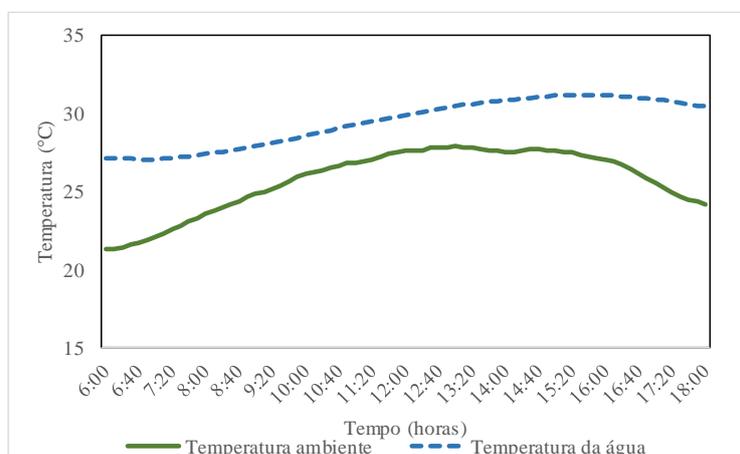


Figura 7 - Curvas de temperatura ambiente e da água ao longo do dia.

A Fig. 8 apresenta o comparativo entre as médias de temperatura de operação dos dois módulos FV estudados, flutuante e convencional. A partir das curvas da Fig. 8, é possível analisar as temperaturas máximas alcançadas pelos módulos FV, assim como o momento em que ocorre a maior diferença entre essas temperaturas.

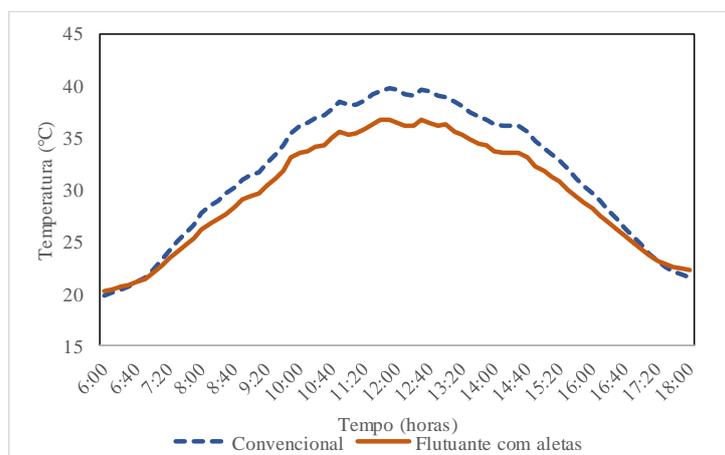


Figura 8 - Comparativo de temperaturas dos módulos FV flutuante com aletas e convencional.

No horário de 11:50 horas, tanto o módulo FV convencional como o módulo FV flutuante atingem a máxima temperatura de operação. O primeiro apresenta uma temperatura de $39,7^{\circ}\text{C}$, enquanto o segundo encontra-se a uma temperatura de $36,7^{\circ}\text{C}$. Isto é, o efeito do resfriamento do módulo FV flutuante causa uma redução na temperatura de $3,0^{\circ}\text{C}$.

A máxima diferença entre a temperatura dos dois módulos FV ocorre ao meio-dia quando a temperatura de operação do módulo convencional está $3,2^{\circ}\text{C}$ acima da temperatura do módulo flutuante com aletas. Essa diferença máxima de temperatura ocorreu no horário em que a irradiação incidente era de $617,8 \text{ W/m}^2$ e a temperatura ambiente era igual a $27,6^{\circ}\text{C}$.

Além disso, durante 86,3% do período com irradiação incidente a temperatura do módulo FV convencional esteve acima da temperatura do flutuante com aletas. A diferença média entre as temperaturas dos dois módulos foi de $1,8^{\circ}\text{C}$.

O efeito de resfriamento do corpo d'água sobre módulos FV flutuantes eleva a geração de energia elétrica pelo sistema FV. Bem como foi observado por Sacramento (2015), o módulo FV flutuante apresenta ganhos de 9,5% a 14,5% se comparado ao módulo instalado em solo. Já Choi (2014) observa um ganho na geração de eletricidade de 11%.

Para análise da geração de energia elétrica dos módulos FV estudados no presente artigo, foram obtidos valores de corrente e tensão instantâneos sobre as cargas instaladas. A geração de eletricidade média do módulo FV convencional foi de $17,2 \text{ Wh/dia}$ enquanto a geração média do módulo FV flutuante foi de $22,7 \text{ Wh/dia}$. Portanto, diariamente os ganhos na geração do módulo flutuante com aletas foi cerca de 31,5% superior à geração do módulo convencional.

Além disso, durante todo o período com irradiação incidente, o módulo flutuante com aletas gerou mais energia elétrica do que o módulo convencional, como pode ser verificado na Fig. 9. Assim, foi atestada a efetividade dos ganhos na conversão de eletricidade devido ao efeito do arrefecimento do módulo FV pela condução de calor ampliada da superfície inferior do módulo até a água por causa das aletas.

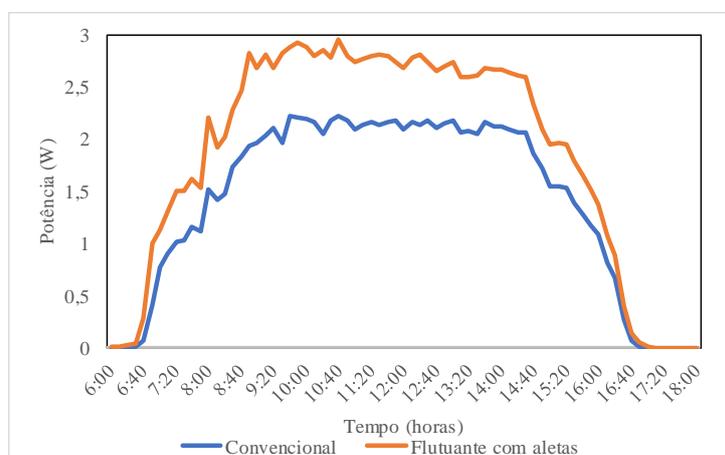


Figura 9 - Geração de eletricidade diária dos dois módulos FV.

5. CONCLUSÕES

Os experimentos com dois módulos FV em configurações diferentes possibilitaram a análise do efeito do arrefecimento pelas aletas na redução da temperatura e nos ganhos na geração de eletricidade. O aparato experimental era composto por um módulo FV instalado de forma convencional sobre telhado e o segundo, sobre estrutura flutuante com uso de aletas em contato com água. O diferencial dessa proposta é que, além do efeito do resfriamento já alcançado pelo uso de módulo FV flutuante, as aletas otimizaram o processo de transferência de calor do módulo para a água, sem o consumo de energia extra para circulação de água.

A máxima diferença de temperatura entre os dois módulos FV ocorreu ao meio-dia quando a temperatura de operação do módulo convencional estava 3,2°C acima da temperatura do módulo flutuante com aletas. Além disso, durante 86,3% do período com irradiação a temperatura do módulo convencional esteve acima da temperatura do flutuante com aletas, com uma diferença média entre as temperaturas dos dois módulos de 1,8°C.

Foi observado que o módulo FV flutuante esteve operando com temperatura média inferior ao módulo convencional durante os horários de maior irradiação do dia. No entanto, nos horários de baixa irradiação (início da manhã e fim da tarde), observa-se o contrário, a temperatura de operação do módulo FV flutuante é superior à do módulo convencional.

Por meio dos dados obtidos pelo sistema de sensoriamento, foi possível realizar análises da geração de eletricidade referentes a cada módulo estudado. Devido à utilização das aletas de alumínio na parte posterior do módulo FV flutuante, foram obtidos ganhos de geração de eletricidade diária de cerca de 31,5%. Além disso, durante todo o período com incidência de irradiação o módulo flutuante com aletas gerou mais eletricidade do que o módulo convencional. Dessa maneira foi atestada a efetividade dos ganhos na conversão de eletricidade devido à maior redução na temperatura de operação do módulo FV pela maior transferência de calor da superfície inferior do módulo até a água por causa das aletas.

Com os resultados obtidos neste estudo foi possível confirmar uma das vantagens da implementação de plantas FV flutuantes, o aumento na geração de energia elétrica, além de expor o grande potencial a ser explorado com a implementação de plantas FV flutuantes e a possibilidade de desenvolvimento de técnicas que busquem acelerar sua difusão.

Agradecimentos

Agradecemos à Capes pela bolsa de estudos de mestrado da primeira autora. Ao CNPq pela bolsa de produtividade em pesquisa 2 para o quarto autor. Agradecemos também ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará (UFC).

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, 2015. Resolução Normativa N° 687, ANEEL.
- Alencar Filho, A. A. R., 2018. Avaliação da influência da temperatura na eficiência de módulo fotovoltaico sobre estrutura flutuante, Dissertação de Mestrado, PPGEM, UFC, Fortaleza.
- Borba, R. A., Novak, L. H., 2018. Sistemas Fotovoltaicos Flutuantes: Aspectos positivos e desafios, VII CBENS – VII Congresso Brasileiro de Energia Solar, Gramado.
- Camargo, S., 2019. Entra em operação a primeira usina solar flutuante do Brasil. Conexão planeta: inspiração para a ação. Disponível em: < <http://conexaoplaneta.com.br/blog/entra-em-operacao-a-primeira-usina-solar-flutuante-do-brasil/>>. Acesso em: 28 out. 2019.
- Cazzaniga, R., Cicu, M., Rosa-Clot, M., Rosa-Clot, P., Tina, G. M., Ventura, C., 2017. Floating photovoltaic plants: Performance analysis and design solutions, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 81, n. Abril, pp. 1730–1741.
- Choi, Y. K., 2014. A study on power generation analysis of floating PV system considering environmental impact, International Journal of Software Engineering and its Applications, vol. 8, n. 1, pp. 75–84.
- Empresa de Pesquisa Energética – EPE, 2017. Balanço energético nacional, EPE. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2017.pdf>. Acesso em: 27 mai. 2019.
- Costa, S. G., 2017. Impactos ambientais de sistemas fotovoltaicos flutuantes, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Hosenuzzaman, N., Selvaraj, J., Hasanuzzaman, M., Malek, A., Nadar, A., 2015. Global prospects, progress, policies, and environmental impact of solar photovoltaic power generation, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 41, pp. 284–297.
- International Energy Agency – IEA, 2018. Key World Energy Statistics 2016, IEA.
- Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS, 2019. O Sistema em números, ONS. Disponível em: < <http://ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>>. Acesso em: 16 fev. 2019.
- Pinho, J. T., Galdino, M. A., 2014. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos, CEPEL - CRESESB.

- Portal Solar, 2017. Usina solar fotovoltaica flutuante começa a ser produzida na região do Amazonas. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energiasolar/usina-solar-fotovoltaica-flutuante-comeca-a-ser-produzida-na-regiao-doamazonas.html>>. Acesso em: 30 jan. 2019.
- Sacramento, E. M., 2015. Modelo elétrico-térmico para representar o comportamento de módulos fotovoltaicos flutuantes em água a partir das condições climáticas do semiárido brasileiro, Tese de Doutorado, PPGEM, UFC, Fortaleza.
- Sahu, A., Yadav, N., Sudhakarar, K., 2016. Floating photovoltaic power plant: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 66, pp. 815–824.
- Strangueto, K. M., 2016. Estimativa do Potencial Brasileiro de Produção de Energia Elétrica através de Sistemas Fotovoltaicos Flutuantes em Reservatórios de Hidroelétricas, Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP, Campinas.
- Valente, M., 2011. Caracterização automática de um painel fotovoltaico, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

COOLING OF FLOATING PHOTOVOLTAIC MODULE WITH FINS

Abstract. *One of the limiting factors in the photovoltaic (PV) generation process is the high PV module operating temperature, which results in reduced energy conversion efficiency. Aiming to decrease the impact on electricity generation losses, due to high operating temperature that a PV module may enhance, PV modules installed on water bodies are being used around the world, called floating PV modules. The main objective of this paper is to evaluate the cooling effect on operating temperature and electricity generation for use floating PV module with fins in contact with water. Five fins are attached to the back of the module and in contact with water from a 310-liter tank. The thermal behavior of this module was compared to the thermal behavior of another module of the same specification, installed conventionally on a roof. Data obtained from the use of sensors to measure temperature, solar radiation, wind speed, direct current and voltage were collected by a programmable logic controller (PLC). The maximum difference in operating temperature between the two PV modules occurred at noon when the temperature of the conventional module was 3.2°C above the floating module temperature with fins. Also, during 86.3% of the incident irradiation period, the temperature of the conventional module was above the temperature of the floating module. Due to the use of aluminum fins in the floating PV module, the gains in daily electricity generation of around 31.5% were achieved.*

Key words: *Floating PV Module, Operating Temperature, Electricity Generation*