

ESTUDO PARA MELHORIA NA PERFORMANCE E EFICIÊNCIA DE PLACAS FOTOVOLTAICAS: ATRAVÉS DE UM SISTEMA DE RESFRIAMENTO

*ESTUDIO PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO Y EFICIENCIA DE PLACAS
FOTOVOLTAICAS: MEDIANTE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN*

*STUDY TO IMPROVE THE PERFORMANCE AND EFFICIENCY OF
PHOTOVOLTAIC PANELS: THROUGH A COOLING SYSTEM*

Francesco Jurinic¹; Jorge Luis Palacios-Felix ²; Fabiano Cassol², Carla Kornowski Jurinic⁴.

1. Mestre no Programa de Pós Graduação em Ambiente e Tecnologias Sustentáveis da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) Campus Cerro Largo, RS. E-mail: francesco.jurinic@hotmail.com
2. Doutor em Engenharia Mecânica pela UNICAMP. Professor efetivo do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária e do Programa de Pós Graduação em Ambiente e Tecnologias Sustentáveis da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) campus Cerro Largo, RS. E-mail: jorge.felix@uffs.edu.br
3. Doutor em Engenharia Mecânica pela UFRGS, Professor na Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) Campus Cerro Largo, RS. E-mail: fabiano.cassol@uffs.edu.br
4. Mestre no Programa de Pós Graduação em Ambiente e Tecnologias Sustentáveis da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) Campus Cerro Largo, RS. E-mail: carlakornowski@yahoo.com.br

PALAVRAS-CHAVE

Efeito da temperatura; Resfriamento; Rendimento; Energia solar.

PALABRAS CLAVE

Efecto de la temperatura; Enfriamiento; Rendimiento; Energía solar.

KEY WORDS

Temperature effect, Cooling, Yield; Solar energy.

RESUMO

Este trabalho apresenta uma metodologia para geração de energia solar através do sistema fotovoltaico, detalhando seus componentes e demonstrando sua eficiência, sendo que um dos principais motivos de redução em sua eficiência são as elevadas temperaturas de operação. Como objetivo pretende-se analisar a influência da temperatura em uma placa fotovoltaica de 150 Watts (W) e produzir um sistema de resfriamento contínuo utilizando água como fluido de resfriamento (propiciando arrefecimento na superfície da placa fotovoltaica). As placas foram instaladas em uma

estrutura metálica, afastada a 1 metro do chão, sobre um gramado. Para a construção do sistema de resfriamento foi utilizado uma bomba submersa, que bombeia a água de um reservatório de 500 litros, até o topo de uma placa e distribui uniformemente sobre toda a superfície, retornando a mesma sem nenhum desperdício, para o reservatório. Os experimentos foram realizados no período das 9:00 às 16:00 horas (h) ao longo de diversos dias, observando-se a incidência solar, durante o mês de janeiro de 2020. A inclinação média utilizada ao longo do ano foi de 28,0 °. Com o sistema de resfriamento conseguiu-se reduzir uma média de aproximadamente 22 °C em relação a um sistema de placa fotovoltaica convencional, com essa redução da temperatura obteve-se ganhos na potência gerada e eficiência que chegaram até 15,08 W e 1,61 %, respectivamente. Conclui-se que o sistema de resfriamento contínuo com água e com inclinação de 28 ° é eficiente na redução da temperatura das placas fotovoltaicas, conseqüentemente no aumento do rendimento e eficiência.

RESUMEN

Este trabajo presenta una metodología para la generación de energía solar a través del sistema fotovoltaico, detallando sus componentes y demostrando su eficiencia, siendo una de las principales razones de la reducción de su eficiencia las altas temperaturas de operación. El objetivo es analizar la influencia de la temperatura en una placa fotovoltaica de 150 Watt (W) y producir un sistema de enfriamiento continuo utilizando agua como fluido refrigerante (proporcionando enfriamiento en la superficie de la placa fotovoltaica). Las placas se instalaron en una estructura metálica, a 1 metro del suelo, sobre un césped. Para la construcción del sistema de refrigeración se utilizó una bomba sumergida, la cual bombea agua desde un depósito de 500 litros hasta la parte superior de una placa y la distribuye uniformemente por toda la superficie, devolviéndola sin desperdicio al depósito. Los experimentos se realizaron de 9:00 am a 4:00 pm (h) durante varios días, observando la incidencia solar, durante el mes de enero de 2020. La inclinación promedio utilizada durante todo el año fue de 28.0°. Con el sistema de enfriamiento se logró reducir un promedio aproximado de 22 °C con relación a un sistema de placa fotovoltaica convencional, con esta reducción de temperatura se obtuvieron ganancias en la potencia generada y eficiencia, llegando hasta 15.08 W y 1,61 %, respectivamente. Se concluye que el sistema de refrigeración continuo por agua y con una inclinación de 28° es eficiente en la reducción de la temperatura de las placas fotovoltaicas, consecuentemente en el aumento del rendimiento y la eficiencia.

ABSTRACT

This work presents a methodology for generating solar energy through the photovoltaic system, detailing its components and demonstrating its efficiency, and one of the main reasons for the reduction in its efficiency is the high operating temperatures. The objective is to analyze the influence of temperature on photovoltaic panel of 150 Watt (W) and produce a continuous cooling system using water as the cooling fluid (providing cooling on the surface of the photovoltaic panel). The panels were installed in a metallic structure, 1 meter away from the ground, on a lawn. For the construction of the cooling system, a submerged pump was used, which pumps water from a 500 liter reservoir to the top of a panel and distributes it evenly over the entire surface, returning it without any waste to the reservoir. The experiments were carried out from 9:00 am to 4:00 pm (h) over several days, observing the solar incidence, during the month of January 2020. The average inclination used throughout the year was of 28.0°. With the cooling system, it was possible to reduce an average of approximately 22 °C in relation to a conventional photovoltaic panel system, with this temperature reduction, gains in the generated power and efficiency were obtained, reaching up to 15.08 W and 1,

61%, respectively. Therefore, the continuous water cooling system and with an inclination of 28° is efficient in reducing the temperature of the photovoltaic panels, consequently in increasing the yield and efficiency.

1 INTRODUÇÃO

A geração de energia elétrica está relacionada diretamente com o conforto da humanidade no mundo (devido ao surgimento de novos sistemas eletrônicos voltados ao lazer e comunicação, refrigeração e climatização, etc.). Esse setor energético influencia em praticamente todos os aspectos da nossa vida, incluindo os setores de saúde, alimentação, comércio, indústrias, lazer entre outros. Porém para garantirmos a continuidade desta comodidade, precisamos encontrar soluções futuras para produção de novas formas de geração de energia, sendo elas limpas, sustentáveis e através de recursos inesgotáveis.

Durante o século passado, combustíveis fósseis proveram a maioria da energia necessária, porque eram mais baratos e mais convenientes do que a energia fornecida pelas fontes renováveis e até recentemente a questão ambiental era apenas uma pequena preocupação (KALOGIROU, 2009).

Assim, fontes menos poluentes tendem a ganhar espaço, mesmo não sendo viáveis economicamente em um primeiro momento. Nesta escolha, deve-se atentar para eventuais trade-offs entre fontes, como da dicotomia entre impactos locais e globais (CARSALADE, 2013).

A geração de energia fotovoltaica consiste basicamente em converter a luz do sol em eletricidade através de placas fotovoltaicas (PV). Os sistemas de geração de energia solar, como qualquer outro sistema, precisam ser operados com o máximo possível de desempenho. Isso pode ser conseguido através de projeto, construção, instalação e orientação adequados.

Este trabalho tem como objetivo produzir um sistema de resfriamento para uma placa fotovoltaica, com o intuito de reduzir a temperatura da placa, e assim analisar se interfere no seu rendimento e eficiência na geração de energia. Comparando a geração de energia através de outro painel convencional.

As energias renováveis são fontes de energia que são continuamente reabastecidos pela natureza. Podem ser classificadas como sendo derivadas diretamente do sol (térmica, fotoquímica e fotoelétrica), indiretamente do sol (eólica, hidrelétrica e energia fotossintética armazenado na biomassa), ou a partir de outros movimentos e mecanismos do ambiente natural (geotérmica e energia das marés) (ELLABBAN et al., 2014).

A principal utilização de sistemas de geração de energia através de células fotovoltaicas foi na corrida espacial, no qual era necessário algum equipamento que lhes possibilitasse gerar energia elétrica no espaço sem a utilização de combustíveis levados do planeta terra (pois estes oneravam as viagens espaciais). As células fotovoltaicas são basicamente dispositivos compostos de materiais semicondutores, que transformam a energia luminosa, proveniente do sol ou outra fonte de luz, em energia elétrica.

Alguns dos fatores que contribuem para o material semicondutor mais tradicional para fabricar células fotovoltaicas ser o silício é que este, além de não ser tóxico, é o segundo elemento mais abundante da Terra com mais de 28 % da massa da crosta terrestre (BUTZ, 2002). Uma despreocupação se pensarmos no possível fim dessa matéria prima.

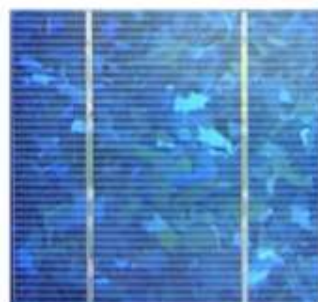
Existem três tipos principais dessas células fotovoltaicas: Célula de silício monocristalina, Célula de silício policristalina e Célula de silício amorfo. A Figura 1 ilustra os três tipos de célula fotovoltaica citados. As Células de silício monocristalina (mono-Si) apresentam rendimentos de 16 % podendo chegar a 23 % em laboratório, já as de policristalinas (multi-Si), possuem rendimento inferior (entre 11 a 18 %) contudo está última são mais baratas, já que o processo de fabricação das células é menos rigoroso. Quanto as células de silício amorfo (a-Si), possuem menor eficiência ainda (8 a 13 %), e necessita de uma área de instalação maior, por outro lado, possuem processo de fabricação simples e barato, e são mais resistente ao efeito do sombreamento e da temperatura (REIS, 2017).

Não é obrigatório utilizar estes títulos específicos para as seções conforme esse arquivo, esses servem apenas de modelo (Strunk; White, 2000).

Figura 1: Tipos de células fotovoltaicas mais utilizadas.



Silício monocristalino
(mono-Si)



Silício Policristalino
(multi-Si)

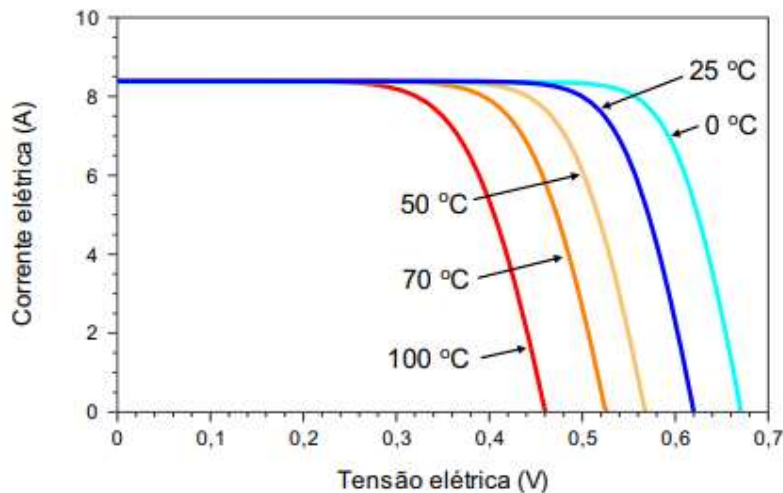


Silício amorfo
(a-Si)

Fonte: Montezano, 2010.

Sistemas fotovoltaicos raramente operam em condições perfeitas e nominais. A temperatura de operação dos módulos fotovoltaicos está relacionado com a variação da irradiação e a temperatura incidente. A corrente gerada pelo sistema é diretamente relacionada com a irradiação e é muito pouco influenciada pela temperatura, em contra partida, a tensão e, conseqüentemente, a potência elétrica é reduzida com o aumento da temperatura, significativamente, como podemos observar na Figura 2.

Figura 2: Influência da temperatura da célula fotovoltaica na curva I-V (para irradiação constante em 1.000 W/m^2 , espectro AM 1,5).



Fonte: GTES, 2014.

Uma célula FV, converte a luz solar em eletricidade pelo efeito fotovoltaico. Entretanto, apenas uma pequena parte da radiação solar incidente é convertida em energia elétrica (5 a 25 % em sistemas comerciais), o restante é refletido ou transformado em calor (TIWARI; MISHRA; SOLANKI, 2011). O calor gerado no sistema FV é parcialmente transferido de volta para o meio ambiente, enquanto a outra parte provoca o aumento da temperatura do próprio painel FV (KANT et al., 2016).

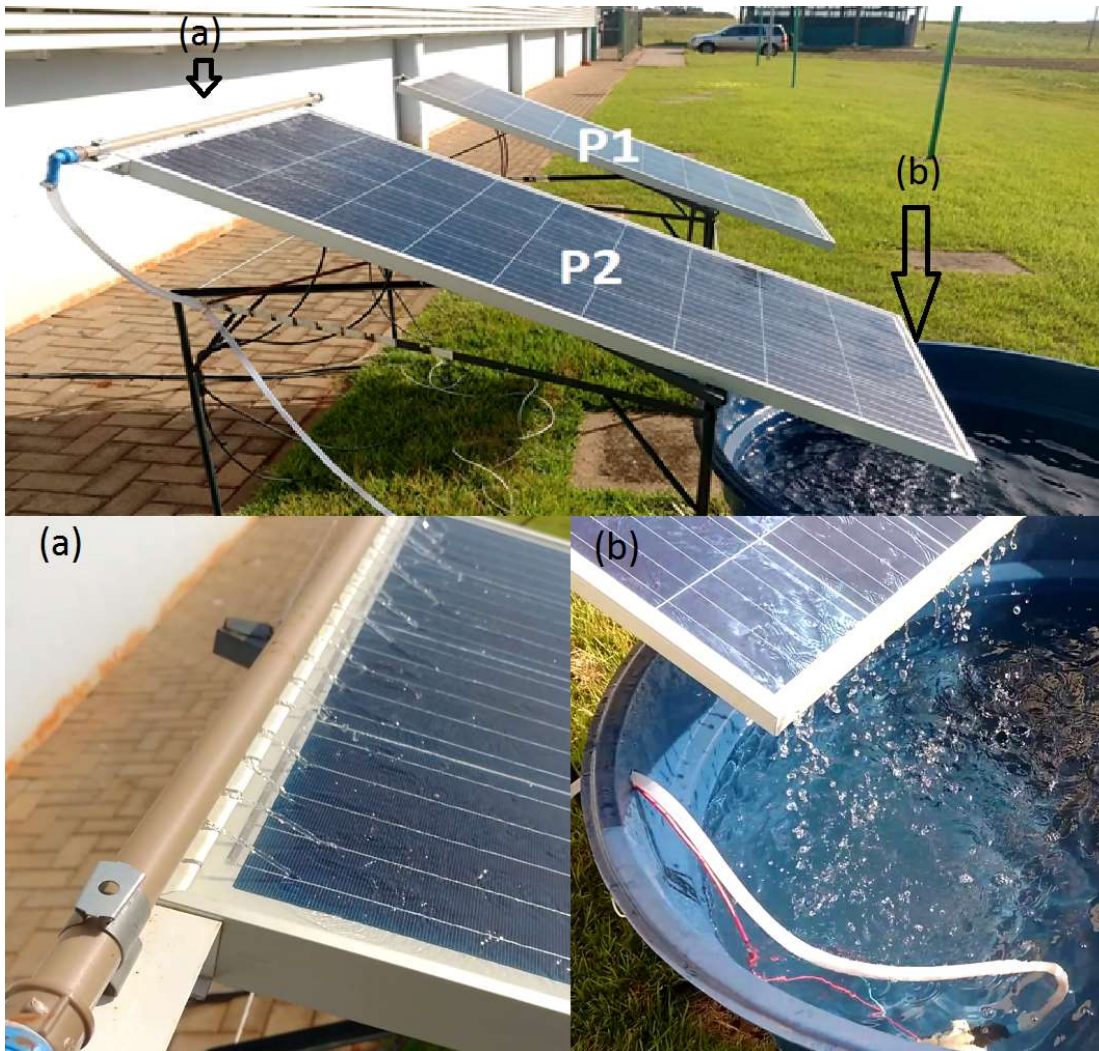
2 MATERIAL E MÉTODOS

Este experimento consiste em descrever e demonstrar a construção de um sistema de resfriamento para uma das placas fotovoltaicas, comparando com uma outra placa fotovoltaica sem o sistema instalada ao lado.

Para realizar os experimentos e ensaios foram utilizadas duas placas fotovoltaicas policristalinas de 150 W, modelo comercial da marca Yingli Solar, as placas fotovoltaicas foram instaladas afastadas em 1,5 metros do prédio dos laboratórios do Campus Cerro Largo da Universidade Federal da Fronteira Sul, sobre um gramado e a um metro do chão, visando assim aumentar o rendimento conforme demonstrado por (PINTO; PLATA, 2019), que demonstra que painéis instalados sobre o gramado a um metro do chão podem aumentar a energia média diária em $3 \pm 0,4$ % em relação ao mesmo painel instalado sobre piso de concreto.

O método utilizado para a construção do sistema foi de autoria própria, apenas baseando no princípio de resfriamento com água descrito por Silva, 2015. Em uma das placas fotovoltaicas, sendo ela a placa 2 (P2), foi produzido um sistema de resfriamento com água, no qual consiste em um reservatório de 500 litros, instalado na parte de baixo da placa, logo à frente a estrutura de fixação. Dentro do reservatório instalado uma bomba submersa de 34 W, com vazão de 10 litros/minuto (l/m), na qual bombeada através de mangueiras de silicone, ao topo da placa, através de vários furos de 3 milímetros (mm) espaçados a cada 2 centímetro (cm) em 1 metro de cano PVC de 20 mm de diâmetro, com um tampão na ponta, fazendo com que a água, seja distribuída uniformemente sobre toda a extensão da placa. Formando assim um película contínua de água sobre toda a superfície da placa fotovoltaica, conforme mostra a Figura 3, ao lado da outra placa 1 (P1) sem o sistema.

Figura 3 - Sistema de resfriamento através de uma fina camada de água na P2, e sem o sistema na P1. (Local 'a' - parte de cima da placa com o sistema de resfriamento, onde o cano de PVC distribui a água pela superfície por furos de 3 mm a cada 2 cm e o Local 'b' - parte de baixo da placa onde a água retorna para o reservatório onde fica a bomba submersa completando o ciclo de recirculação de água).



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

As placas foram ligadas diretamente a 3 lâmpadas incandescentes de 60 W 24 Volt (V) cada, como mostra a Figura 4, utilizadas como carga do sistema, para obter a máxima potência do sistema. As lâmpadas foram ligadas em paralelo, para aumentar a corrente do sistema, e manter a mesma tensão em todas.

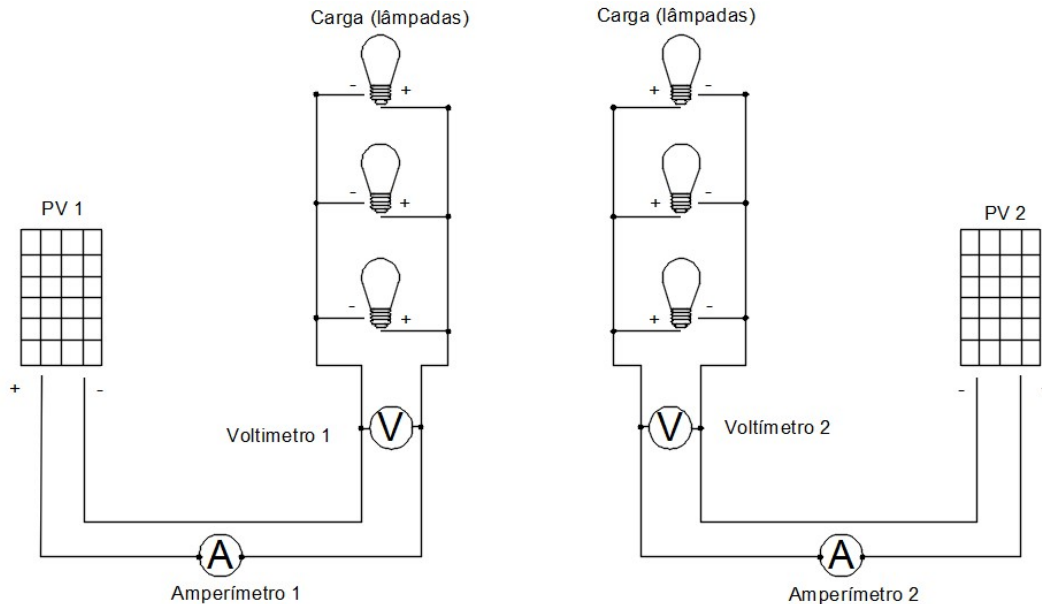
Figura 4 - Ligação das lâmpadas incandescentes em paralelo as Placas fotovoltaicas, como carga do sistema.



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Para as medições elétricas, foram utilizados 4 multímetros digitais, de mesma marca e modelo (Tozz Dt-830B), dois na opção de tensão (voltímetro) com precisão de $\pm 0,5\%$ em Corrente Contínua (CC), estes em paralelo a carga, sendo sempre um em cada placa, e dois na opção de corrente elétrica (amperímetro) com precisão de $\pm 1,0\%$ em CC, ligação em série, como pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 - Esquema de ligação dos dois Sistemas Fotovoltaicos Isolados com equipamentos de medições.



Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

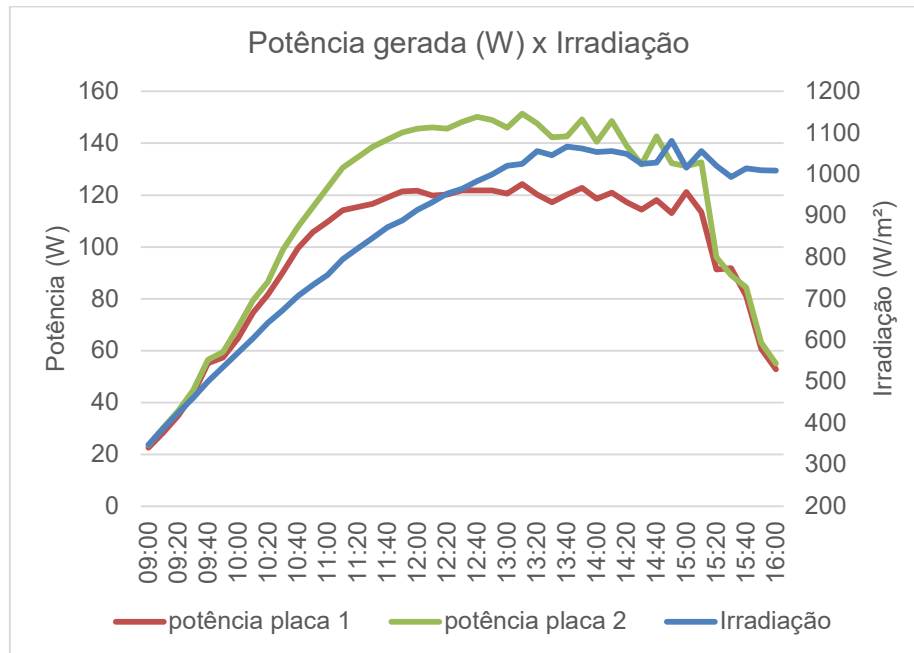
Para as medições de irradiação (W/m^2) foram obtidas da estação meteorológica do próprio Campus Cerro Largo (IRIOGRAN38), que está a 130 metros de distância dos experimentos. Além das medições elétricas, nesta etapa foram feitas medições de temperaturas com termômetros com dois canais de termopar (tipo K), no centro da parte de trás e da frente, das duas placas.

O experimento foi realizado em alguns dias do mês de janeiro de 2020, durante o período das 9:00 até 16:00 h do dia, com no mínimo 3 repetições.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram realizados os ensaios do sistema com resfriamento em P2 e a placa ao lado P1 sem resfriamento, onde ambas placas foram inclinadas com a inclinação de 28° direcionadas ao norte. A Figura 6, mostra o desenvolvimento da geração de energia em potência de ambas as placas durante o período das 09:00 às 16:00 h do dia 24/01/2020, incluindo a incidência de irradiação solar.

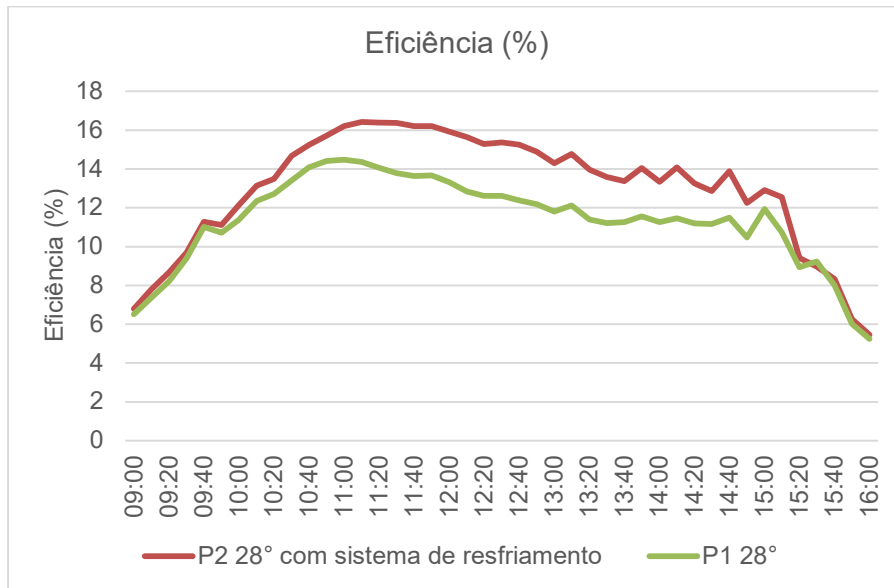
Figura 6 - Potência gerada entre as duas placas, comparadas com a irradiação, sendo P1 convencional e P2 com sistema de resfriamento no dia 24/01/20.



Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

Foi encontrado uma potência média de 98,17 W em P1 e 113,25 W na P2 com sistema de resfriamento, uma diferença de 15,08 W significando um aumento de 15,36 % no rendimento. Como mostra na figura 6, a diferença na potência gerada é maior quando a irradiação vai aumentando e as temperaturas das placas. As variações na potência gerada são similares a vários outros autores, como o trabalho do Gimenes et al. 2018, podem se explicar pela passagem momentânea de nuvem ou pequenos picos de geração. Na Figura 7, demonstra-nos a eficiência incidente, de ambas as placas fotovoltaicas, sendo a P1 convencional e P2 com o sistema de resfriamento.

Figura 7 - Eficiência das placas fotovoltaicas, P1 convencional e P2 com sistema de resfriamento. No dia 24/01/20.

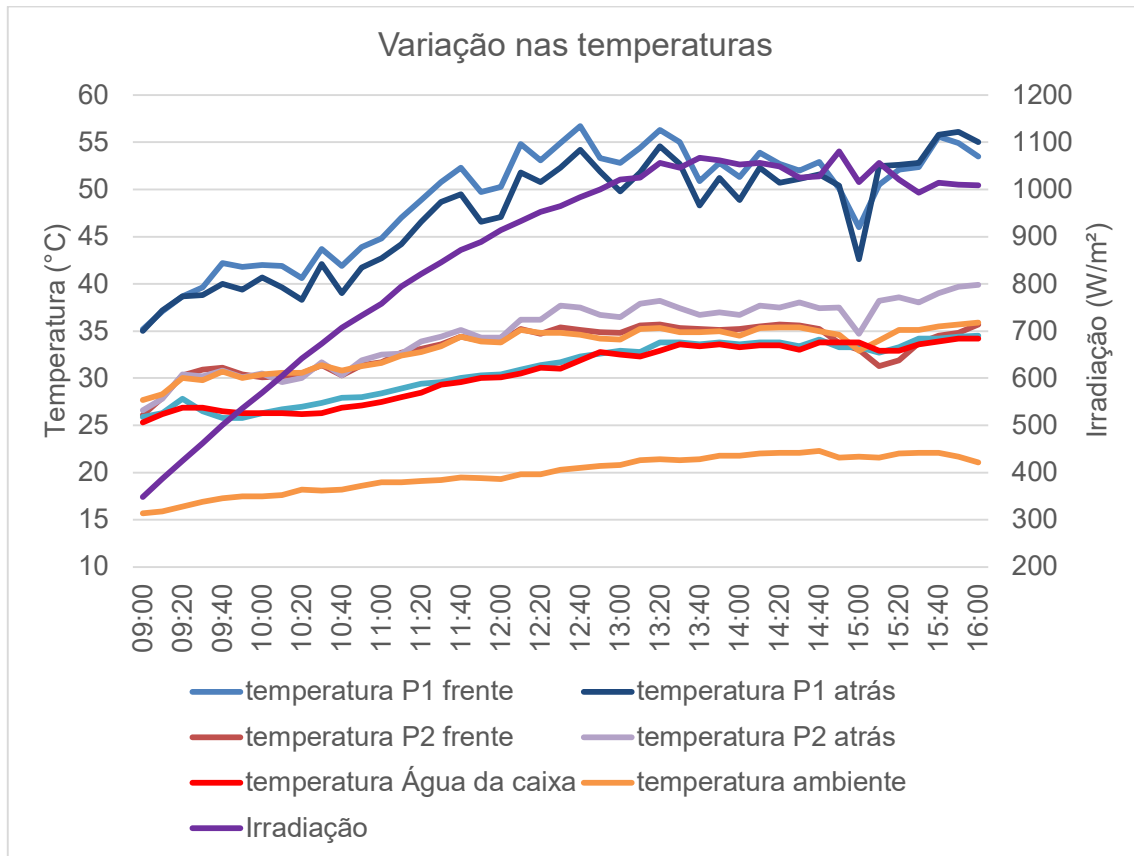


Fonte: Elabora pelos autores (2020).

Como pode ser observado na figura 7, obteve-se diferenças significativas na eficiência, tal diferença chegando a 1,61 %, corroborando com os resultados de GIMENES, et al. 2018, que obteve resultados e gráficos de potência e temperatura muito similares, gerando uma linearidade na eficiência em relação a temperatura dos módulos.

Na Figura 8, demonstra a variação da temperatura, em ambas as placas, com medições no centro de cada uma, em conjunto com medições na parte de trás de cada placa, temperatura do ambiente e da água do reservatório.

Figura 8 - Variações nas temperaturas ao longo do dia 24/01/2020, sendo P1 convencional e P2 com sistema de resfriamento.



Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

Na figura 8, observa-se um aumento gradativo em todas as temperaturas ao longo do dia, porém as temperaturas da placa convencional, tanto na parte da frente quando atrás, ficaram muito mais altas que todas as outras. As temperaturas na superfície das placas ficaram com uma diferença na média do dia do experimento de 15,77 °C e na parte de trás de 12,55 °C. Comprovando a grande influência do sistema de resfriamento com água na redução da temperatura e no aumento das potências geradas e na eficiência elétrica.

As temperaturas da P2 se igualarem praticamente a da água do reservatório, significando que se a temperatura desta água fosse menor, conseguiria reduzir ainda mais a temperaturas das células da placa fotovoltaica, resultando então um maior rendimento comparada ao método convencional.

Resultados semelhantes foram obtidos por Endecon Engineering (2001) que também obtiveram 15 % de aumento com sistema de resfriamento na potência gerada nas placas fotovoltaicas e Krauter (2004) obteve uma aumento de 10,3 % e uma redução de 22 °C na temperatura da célula.

4 CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo analisar o desempenho de placas fotovoltaicas no município de Cerro Largo – RS e produzir um sistema de resfriamento com água para uma das placas, instalado ao lado uma placa de modo convencional, comparando entre elas seus desempenhos. A metodologia utilizada para medir os ganhos de geração de energia do sistema com resfriamento, em relação ao métodos convencional foi adequado.

Conforme os resultados obtidos, o sistema de resfriamento com água contínuo para placas fotovoltaicas mostra-se de grande influência no aumento da potência gerada, chegando a um ganho médio em um dia de até 15,36 % e uma diferença máxima de 23,26 %, e teve uma diferença média na eficiência de até 1,61 %, desta forma, além de aumentar a potência gerada, melhorou a eficiência do equipamento, para uma mesma irradiação solar.

Reduzindo a temperatura da água do reservatório poderia aumentar ainda mais os ganhos na geração de energia por placas fotovoltaicas, devido a placa solar com o sistema se igualar praticamente a temperatura da água do reservatório.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio financeiro parcial da FAPERGS pelo EDITAL FAPERGS/CAPES 03/2018 PRÓ-EQUIPAMENTOS na aquisição dos equipamentos fotovoltaicos necessários para realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

BUTZ, D. S. Science of Earth Systems. Cengage Learning, 2002.

CARSALADE, A. M. Interações entre Mudanças Climáticas Globais e Poluição Atmosférica Local: Implicações para a Expansão do Setor Elétrico Brasileiro. Dissertação de Mestrado—

- Rio de Janeiro: Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós Graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE) - Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), 2013.
- ELLABBAN, O.; ABU-RUB, H.; BLAABJERG, F. Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 39, p. 748-764, 2014.
- ENDECON ENGINEERING. A guide to photovoltaic (PV) system design and installation. Energy technology development division, consultant report. California Energy Commission; p. 1-40, 2001.
- GIMENES, A. L. V. et al. Desenvolvimento experimental de um sistema de resfriamento para geradores fotovoltaicos em escala real. *Espacios*, V. 39, No. 04, p. 33, 2018.
- GTES. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Edição especial. Rio de Janeiro: Editora CEPEL/CRESESB, GTES – Grupo de Trabalho de Energia Solar, 2014.
- IRIOGRAN38 - Estação meteorológica didática do Campus Cerro Largo da Universidade Federal da Fronteira Sul. Dados 2018/2019. Disponível em: <
<https://www.wunderground.com/dashboard/pws/IRIOGRAN38>>. Acesso em: 10 set. 2019.
- KALOGIROU, S. *Solar Energy Engineering*. San Diego: Academic Press, 2009. Disponível em: <
<http://1.droppdf.com/files/AvIdq/solar-energy-engineering-processes-and-systems-2nd-ed-2014-.pdf>>. Acesso em 09/01/2020.
- KANT, K.; SHUKLA, A.; SHARMA, A.; BIWOLE, P. H. Thermal response of poly-crystalline silicon photovoltaic panels: Numerical simulation and experimental study. *Solar Energy*, v. 134, p. 147-155, Set. 2016.
- KRAUTER, S. “Increased electrical yield via water flow over the front of photovoltaic panels.” *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 82, p.131–137, 2004.
- MONTEZANO, B. As energias solar e eólica no Brasil. Rio de Janeiro, 21/10/10 DTE Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - Cepel CASA SOLAR | 2011. Disponível em: <
<https://pt.slideshare.net/afermartins/casasolar2011>>. Acesso em 26 de set 2019.
- PINTO, G. O.; PLATA, G. O. Measuring factors influencing performance of rooftop PV panels in warm tropical climates. *Solar Energy*, 185 p.112–123, 2019.
- REIS, P. Principais tipos de células fotovoltaicas constituintes de painéis solares. Disponível: <
<https://www.portal-energia.com/principais-tipos-de-celulas-fotovoltaicas-constituintes-de-paineis-solares/>>. Acesso em 26 set 2019.
- TIWARI, G. N.; MISHRA, R. K.; SOLANKI, S. C. Photovoltaic modules and their applications: A review on thermal modelling. *Applied Energy*, v. 88, p. 2287-2304, Fev. 2011.