



XVIII CONBRAVA - CONGRESSO BRASILEIRO DE REFRIGERAÇÃO, AR-CONDICIONADO, VENTILAÇÃO, AQUECIMENTO E TRATAMENTO DO AR
São Paulo Expo – 13 à 15 de setembro de 2023

ECOENERGIA ATRAVÉS DA ASSOCIAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS E TROCADORES DE CALOR ROLL-BOND

PAPER 57

RESUMO

Utilização de painéis solares fotovoltaicos (PSF) para produção de energia limpa vem crescendo consideravelmente nos últimos anos, os quais se mostram eficientes na conversão da radiação solar em energia elétrica. Entretanto, os PSFs podem sofrer perda significativa de desempenho devido à temperatura elevadas, nas quais as cargas eletrostáticas contidas nos PSFs tendem a diminuir e, conseqüentemente reduzindo a eficiência na geração de energia elétrica. Uma forma eficaz de prevenir essas perdas é adicionar trocadores de calor Roll-bond (RBB) à estrutura dos painéis fotovoltaicos, possibilitando assim a montagem do sistema híbrido (PVT). Os RBBs são projetados para absorver o calor dissipado pelos painéis fotovoltaicos e realizar a condução deste calor através do fluido refrigerante que escoam internamente. O benefício trazido pelo uso destes trocadores é melhorar o rendimento elétrico do PSF e a capacidade de utilização do calor absorvido em outros ambientes ou reservatórios, pois o fluido irá absorver calor e conduzirá até outro trocador de calor onde dissipará em outro ambiente ou em reservatório com líquidos em menor temperatura. Portanto, os RBBs são componentes que aprimoram a eficiência energética do PSF e possibilitam a reutilização do calor absorvido, sendo assim uma forma sustentável e aprimorada de um sistema eco eficiente.

Palavras-chave: Resfriamento fotovoltaico. Ecoenergia. Reaproveitamento energético com Roll-Bond. Calor. Trocadores de calor.

ABSTRACT

The use of photovoltaic solar panels (PSF) for clean energy production has been growing considerably in recent years, which are efficient in converting solar radiation into electrical energy. However, the PSFs can suffer significant loss of performance due to the high temperature, in which the electrostatic charges contained in the PSFs tend to decrease and, consequently, reducing the efficiency in the generation of electric energy. An effective way to prevent these losses is to add Roll-bond (RBB) heat exchangers to the structure of the photovoltaic panels, thus enabling the assembly of the hybrid system (PVT). RBBs are designed to absorb the heat dissipated by the photovoltaic panels and perform the conduction of this heat through the refrigerant fluid that drain internally. The benefit brought by the use of these exchangers is to improve the electrical performance of the PSF and the ability to use the heat absorbed in other environments or reservoirs, because the fluid will absorb heat and lead to another heat exchanger where it will dissipate in another environment or in a reservoir with liquids at a lower temperature. Therefore, RBBs are components that improve the energy efficiency of the PSF and enable the reuse of absorbed heat, thus being a sustainable and improved form of an eco-efficient system.

Keywords: Photovoltaic cooling. Ecoenergy. Energy reuse with Roll-Bond. Heat. Heat exchangers.

1 INTRODUÇÃO

Preservação do meio ambiente, futuro do planeta, emissão de gases poluentes, destruição de ecossistemas, reservas de combustíveis fósseis e sustentabilidade são conceitos cada vez mais presentes na atualidade.

Uma solução para substituir as energias não renováveis é a utilização da energia solar fotovoltaica que funciona pelo princípio da conversão da radiação incidindo nos módulos em corrente elétrica.

A Associação Europeia mostrou que no mundo existem 40GW potência instalada sendo China, Estados Unidos e Alemanha alguns dos países com maior contribuição, provando assim ser possível mesmo em países onde a radiação solar não é tanto alta quanto aqui (EPIA,2015).

O Brasil por ter diversos climas e relevos tem condições favoráveis para instalar várias fontes diferentes de energia. Conforme o Balanço Energético Nacional (EPE, 2016),64% da oferta interna é proveniente das hidrelétricas, mas há um potencial grandioso para aproveitar os benefícios da luz solar já que segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar (INPE, 2006) tem-se valores anuais baixos entre 4,25kWh/m² e 6,5kWh/m², considerando que o Brasil possui no total 4584 empreendimentos de geração de energia em operação, totalizando 147.873.369kW de potência instalada, porém destes, apenas 41 empreendimentos são centrais geradoras solar fotovoltaica, totalizando apenas 0,02% da potência instalada do país. A utilização de painéis fotovoltaicos no Brasil tem crescido significativamente nos últimos anos. Esta tecnologia possibilita a geração de energia elétrica limpa, renovável e sustentável, o que se torna extremamente importante para a preservação do meio ambiente. Além disso, estes painéis são muito versáteis e podem ser instalados em qualquer tipo de localidade, seja urbana ou rural.

Os benefícios da instalação destes painéis vêm sendo reconhecidos pelas autoridades brasileiras que têm incentivado sua adoção por meio da oferta de subsídios financeiros às pessoas interessadas em adquiri-los. Estes subsídios podem variar desde descontos na conta de luz até isenções fiscais para aqueles que optarem por investir nestas fontes energéticas limpas e renováveis. Algumas iniciativas foram tomadas pelo governo federal para promover maior conscientização sobre os benefícios dos painéis solares entre as populações mais carentes do país; alguns projetos comunitários já foram implementados nas regiões Norte e Nordeste visando melhorar as condições socioeconômicas desses locais através da promoção do uso desta tecnologia verde.

Em suma, é evidente que a utilização dos painéis fotovoltaicos está cada vez mais presente na realidade brasileira devido a seus inúmeros benefícios ambientais e sociais. Espera-se que este movimento continue avançando nos próximos anos para que possamos contar com uma energia limpa e renovável em todo o território nacional. O mercado de energia fotovoltaica tem crescido a nível mundial, e o Brasil também espera um aumento na potência instalada.

No entanto, em comparação com países como Alemanha e China, o desenvolvimento deste tipo de tecnologia no nosso país está atrasado devido à necessidade de grandes investimentos para sua implementação. A Associação Europeia das Indústrias Fotovoltaicas (EPIA, 2015) informou que os preços dos módulos vêm diminuindo anualmente, sendo possível adquiri-los abaixo de 1 euro por Watt instalado quando se trata da produção acima de 1MW.

Com isso, tornou-se mais interessante financeiramente a utilização da energia solar em detrimento de outro meio gerador tradicional pois traz custos benéficos além do fato de ser uma fonte limpa que não causa impactos ambientais negativos comuns em usinas hidrelétricas (inundações e destruições ecossistemas). Além disso há também a energia solar térmica cuja finalidade é aquecer fluidos para transformar em energias úteis - exemplificando: aquecer água para usufruto domiciliar.

O mercado mundial de aquecedores solares começou a crescer a partir da década de 1970 e expandiu significativamente a partir da década de 1990 (ELETROBRÁS, 2012). A energia solar é renovável e oferece vantagens para o usuário, pois pode gerar economias na conta de luz. Além disso, ela também traz benefícios ao sistema elétrico nacional, já que os chuveiros representam uma grande parcela do consumo de energia das residências brasileiras.

Por isso, quanto mais coletores solares forem instalados, menos serão os investimentos necessários em geração e transmissão de energia. Uma boa ideia para unir esses dois sistemas em um único equipamento é o híbrido solar fotovoltaico-térmico (PVT). A montagem de trocadores de calor Roll-bond na área traseira dos painéis fotovoltaicos, alcança dois propósitos: aquecer a água destinada às atividades domiciliares e evitar sobreaquecimento dos módulos solares, pois quando o painel fotovoltaico sobreaquece acima de 50°C, as células operam com baixas taxas de rendimento de eletricidade, reduzindo a eficiência de todo o sistema.

Este estudo tem como objetivo avaliar se há viabilidade técnica no emprego desse tipo de sistema híbrido PVT para produzir eletricidade enquanto aquece água domiciliar.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Painéis fotovoltaicos

Os painéis fotovoltaicos são dispositivos que convertem a luz solar em energia elétrica.

A energia fotovoltaica é um processo tecnológico que converte luz em corrente contínua, a partir da iluminação dos semicondutores por fótons. Esta conversão é conhecida como efeito fotovoltaico, descoberta por Edmond Becquerel em 1839.

Entretanto, só foi possível a criação de protótipos para produzir energia elétrica suficiente para alimentar equipamentos apenas na década de 1950.

A partir dos anos 1970, motivados pela crise energética internacional, houve uma grande pesquisa no campo da geração solar.

Uma célula solar típica contém silício como material base: o metal semicondutor tem quatro elétrons que se ligam a outros átomos formando uma rede cristalina; quando exposta à luz do Sol os fótons provocam a formação de pares elétron-lacuna que geram corrente elétrica através da junção das extremidades da célula conectadas por um cabo condutor (CRESESB, 2006).

Existem várias tipologias destes dispositivos convertendo luz solar diretamente em eletricidade entre as quais se destacam as placas monocristalinas e policristalinas agrupadas num módulo fotovoltaico cujo número depende da potência do conjunto e do fabricante (ONUDI, 2013).

Os painéis fotovoltaicos são constituídos por uma camada de vidro temperado com um revestimento anti-refletor para proteger o dispositivo e melhorar sua eficiência térmica. Esta é seguida por uma camada de Etileno-Vinil-Acetato (EVA) que funciona como barreira protetora para a próxima, que é formada pelas células de silício. Outra camada EVA vem depois daquelas, na qual está localizado o Tedlar - polietileno tereftalato, que tem a função de ser uma barreira contra umidade. Logo após, há um revestimento de alumínio para isolar o painel e dar-lhe resistência. Por fim, existe uma moldura de alumínio para proteger o módulo (ARCURI; REDA; SIMONE, 2014).

2.2 Sistemas Híbridos (PVT)

A tecnologia híbrida é um sistema no qual estão presentes duas formas de geração de energia em apenas um sistema, a geração de energia elétrica e a energia térmica.

Um Sistema PVT consiste na combinação de componentes que convertem a energia solar em eletricidade e calor, para aquecer o fluido de trabalho.

O módulo fotovoltaico transforma entre 4% e 17% da radiação incidente em energia elétrica (LISBOA, 2010).

Contudo, grande parte da luz é perdida como calor para a célula, gerando temperaturas elevadas na operação do módulo. Essa alta temperatura gera uma redução de eficiência aproximada de 0,4% por grau Celsius acima da temperatura máxima operacional (CHOW, 2010).

Estudos sobre sistemas PVT com ar ou outro fluido foram realizados desde 1970. Bhargava, Garg e sua equipe estudaram esses sistemas híbridos entre 1980 até 1990 e concluíram que os coletores com duas camadas de isolamento são mais eficientes do que aqueles com uma camada, apesar de serem mais caros (BHARGAVA; GARG; AGARWAL, 1991; CHOW, 2010).

Em 1995, Bergene e Lovvik propuseram um modelo de coletor PVT com água para avaliar o desempenho. Eles obtiveram entre 60% e 80% de eficiência total do sistema. Estes estudos também mostraram que a quantidade de água no tanque influencia na temperatura final da água; quando os tanques eram

muito grandes, a temperatura não se elevava tanto quanto nos menores (BERGENE; LOVVIK, 1995; CHOW, 2010).

Chow citou experimentos realizados na Arábia Saudita em 1998 que mostraram que, no verão, as altas temperaturas podem levar a uma redução de até 30% da eficiência elétrica dos sistemas PVT. Por outro lado, nos meses de inverno os módulos tiveram boa performance elétrica, mas com baixa eficiência térmica (HARBI; EUGENIO; ZAHRANI, 1998; CHOW, 2010).

A partir dos anos 1990 houve um interesse crescente na indústria da construção devido à possibilidade de integrar os módulos fotovoltaicos na arquitetura do prédio (BiPV). No Japão, projetou-se casas solares com sistemas PVT/água, mas a construção não foi realizada devido à ausência de demanda (CHOW, 2010).

Zondag et. al., desenvolveram modelos para simular sistemas PVT/água e obtiveram curvas de eficiência que variaram entre 52% e 65%.

A posição dos tubos, a configuração e os tipos de células solares utilizados causaram essa variação. Os módulos de silício monocristalino tiveram o melhor desempenho elétrico (ZONDAG et al., 2003; CHOW, 2010).

Sandnes e Rekstad (2002) examinaram um coletor com células solares de silício revestidas por uma camada adicional de polímero para absorver calor. Esta pesquisa mostrou que as células reduziram a absorção de calor em cerca de 10% da radiação solar, enquanto a camada de vidro temperado reduziu a eficiência óptica em 5%.

A conclusão foi que esta aplicação é efetiva para aquecer água sem necessidade de altas temperaturas.

O estudo de sistemas PVT tem se concentrado na análise da configuração da tubulação para melhorar a transferência de calor.

Chow (2003) destacou a importância do contato térmico entre as placas solares e o prato absorvedor, assim como o contato entre este último e os canos. Assim, quanto mais longa for a conexão e maior o nível de contato dessas camadas, melhor será a transmissão por condução, resultando em um maior aquecimento do fluido.

Uma revisão bibliográfica dos estudos mais relevantes foi realizada, e o trabalho de Ibrahim et al. (2009), conforme figura 1 abaixo, se destacou por avaliar os desempenhos térmicos e elétricos de coletores com sete configurações diferentes de tubulação.

O objetivo era encontrar a melhor forma para maximizar a transferência de calor, concluindo que quanto mais próximas as camadas ficarem entre si, maior será a eficiência térmica, o que foi corroborado pelos resultados obtidos com a configuração em espiral (50,12% de eficiência térmica e 11,98% de eficiência elétrica).

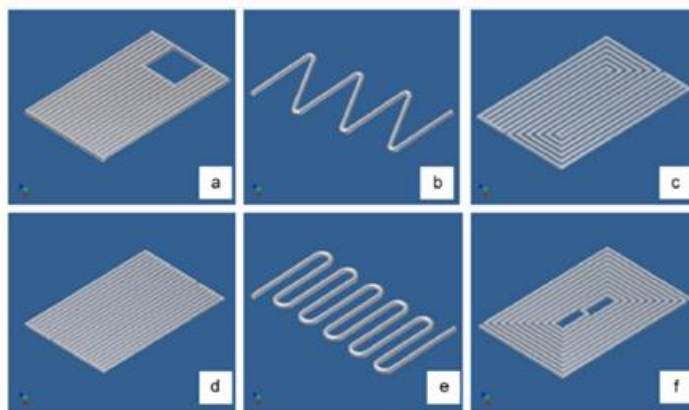


Figura 1 – Simulação de diferentes configurações de coletores.

(a) fluxo direto, (b) fluxo em serpentina, (c) fluxo em serpentina paralela, (d) fluxo modificado de serpentina paralela, (e) fluxo oscilatório, (f) fluxo em espiral. Fonte: adaptado de Ibrahim et al., 2009.

Em 2014, Aste et al. realizaram uma análise entre sistemas PVT/água com células de silício amorfo e células de filme fino para comparar a eficiência total com a daqueles sem os tubos.

O estudo foi conduzido durante o inverno, momento em que se notou que a energia elétrica produzida pelos painéis fotovoltaicos era maior do que aquela gerada pelos sistemas PVT.

Porém, quando medida na forma de eficiência total, o PVT apresentou melhores resultados por gerar tanto energia elétrica quanto energia térmica.

Simulações foram feitas para os sistemas criados e as medições experimentais e numéricas mostraram pequenas variações, devido à precisão dos equipamentos de medição (ASTE; PERO; LEONFORTE, 2014).

Já PEÑARANDA et al. publicou um estudo que descreve uma pesquisa experimental sobre um sistema híbrido fotovoltaico-térmico (PV/T) que visa melhorar a eficiência dos sistemas fotovoltaicos em condições climáticas tropicais. Sabe-se que a eficiência dos sistemas fotovoltaicos diminui com o aumento da temperatura, e uma solução para esse problema é resfriar os painéis fotovoltaicos. Nesse contexto, o sistema PV/T foi projetado para produzir energia elétrica e térmica simultaneamente, para múltiplos usos.

O experimento envolveu o uso de uma bobina de circuito único de 10 fileiras em tubos de cobre, com escoamento de água por convecção natural. Diferentes configurações do sistema PV/T foram analisadas, incluindo a presença de tanques de energia térmica de tamanhos diferentes, com isolamento total ou parcial. Para obter dados de referência, os testes foram realizados sem refrigeração e recuperação de calor.

Os resultados mostraram que a implementação da configuração de camada de isolamento de melhor desempenho resultou em uma melhoria de 7,5% na eficiência elétrica do arranjo fotovoltaico. Além disso, a eficiência total do sistema PV/T aumentou para 69,7%. Esses resultados indicam que o resfriamento dos painéis fotovoltaicos por meio do sistema PV/T pode ser uma estratégia eficaz para melhorar o desempenho dos sistemas fotovoltaicos em climas tropicais. (PEÑARANDA et al., 2021).

2.3 Trocadores de Calor Roll-Bond

Os trocadores de calor do tipo *Roll-bond*, como mostrado na Fig. 2.1, são fabricados pelo processo de caldeamento, no qual duas chapas de alumínio normalmente da série 1000, passam através de um laminador, onde por meio de aquecimento e da pressurização, essas chapas são fixadas uma na outra, exceto nas regiões onde são previamente pintadas com uma tinta com base de grafite.

Essas regiões são infladas com ar, formando os canais no interior do qual o fluido refrigerante escoar. Tais canais são separados por filetes que atuam como uma aleta única, originando uma transferência de calor por condução significativa na placa. O processo de fabricação pode ser melhor observado na Fig. 2.2 (, 2023)

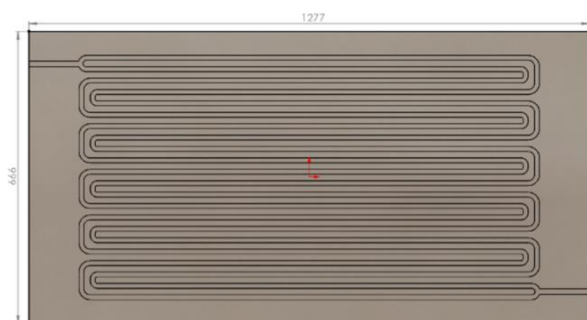


Figura 2.1 - Exemplo de Trocador de calor do tipo *Roll-bond*.

Fonte: (BUNDY, 2023)

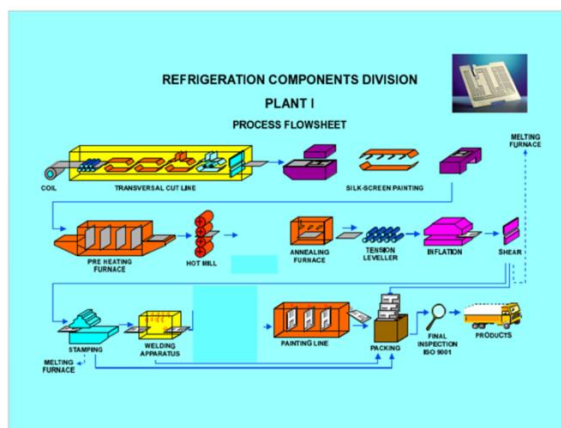


Figura 2.2 – Processo de fabricação Trocadores de Calor *Roll Bond*.

Fonte: (BUNDY, 2023)

Os trocadores de calor *Roll Bond* oferecem um *design* exclusivo e com flexibilidade para sistemas de refrigeração com resfriamento direto.

Onde há a possibilidade de serem *two-side*, produto que há tubos em ambos os lados da placa, ou o modelo *one-side-flat*, produto que possui um de seus lados plano sem tubos para passagem do fluido refrigerante(, 2023).

As Figura 2.3 e 2.4 mostram alguns exemplos de seções transversais típicas de trocadores de calor *Roll-bond one side flat* e *two side*.

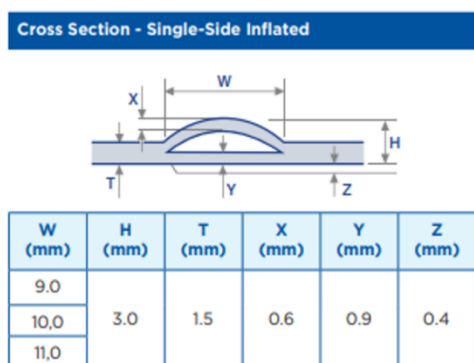


Figura 2.3 - Seções transversais típicas de evaporadores *Roll-bond one side flat*.

Fonte: (BUNDY, 2023)

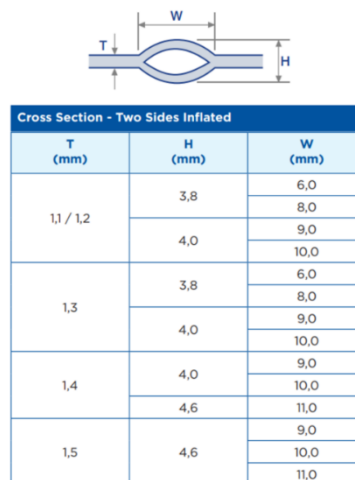


Figura 2.4 - Seções transversais típicas de evaporadores *Roll-bond two side*.

Fonte: (BUNDY, 2023)

Por conta de sua grande área de contato, o evaporador one-side-flat está sendo bastante requisitado em projetos de mobilidade elétrica e geradores de energia limpa, fazendo com que sua utilização não seja a mesma de anos atrás.

Atualmente, há desenvolvimentos para uma nova aplicação como trocador de calor em alguns sistemas, tais como, resfriamento de *pack* baterias de veículos elétricos, resfriamento/aquecimento em sistemas fotovoltaicos, dentre outras utilidades.

Desta maneira a utilização dos fluidos refrigerantes também são alterados. Ao invés da utilização dos convencionais R600a, R134a, R490, dentre outros o mercado está utilizando Etilenoglicol, utilizado em sistemas de arrefecimento automotivo (, 2023).

3 METODOLOGIA

3.1 Estudo de caso: Implementação

As placas *Roll-bond* são usadas como absorvedores em diferentes instalações onde uma das aplicações é como absorvedores térmicos em painéis fotovoltaicos (PV), conforme mostrado na Figura 3.1 o resfriamento do PV pode aumentar a sua eficiência de geração de energia.

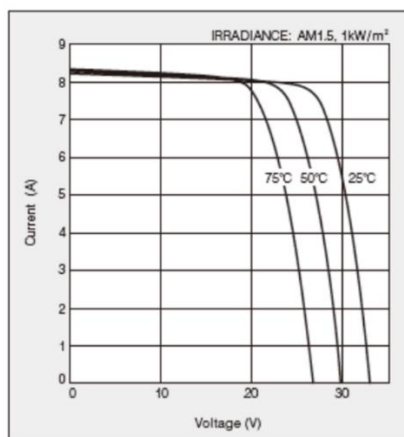


Figura 3.1 – Curva tensão versus corrente para temperaturas de um painel fotovoltaico.

Fonte: [Kyocera Solar 2018].

Foram realizados medições e análises afim de obter informações de *feedback* para melhorar a eficiência de painéis fotovoltaicos. Para a análise dos PV utilizando trocador de calor *Roll-bond*, uma câmera de termovisão (IR) foi usada para ver a distribuição e as diferenças de temperatura.

Na primeira análise de termovisão no PV sem o trocador de calor *Roll-bond* foi observado que na parte de trás do painel em um dia ensolarado normal, um PV atinge uma temperatura de até 70°C, o que tem um impacto negativo na eficiência do PV painel (Figura 3.2).

A mesma análise de termovisão foi realizada em um PV, com trocador de calor Roll-bond fixado na sua parte traseira (Figura 3.3). Onde foi observado uma grande redução da temperatura do PV, pois com as mesmas condições externas o PV se manteve com a temperatura em torno de 30°C. Essas análises e medições facilitam o desenvolvimento e a integração de trocadores de calor Roll-bond para esse tipo de aplicação (TALUM, 2019).

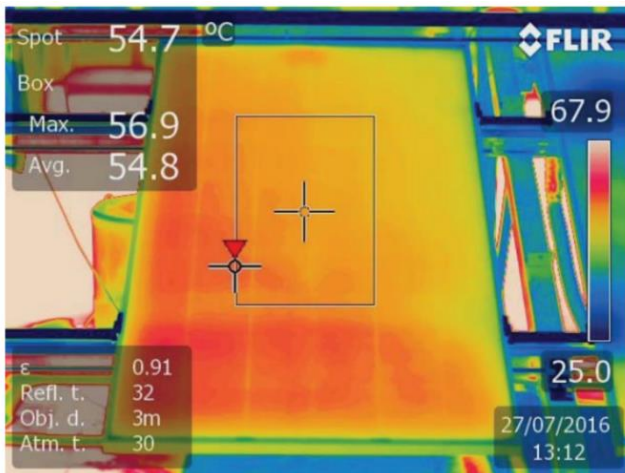


Figura 3.2 – Painel fotovoltaico sem trocador de calor Roll-bond.

Fonte: (TALUM, 2019)

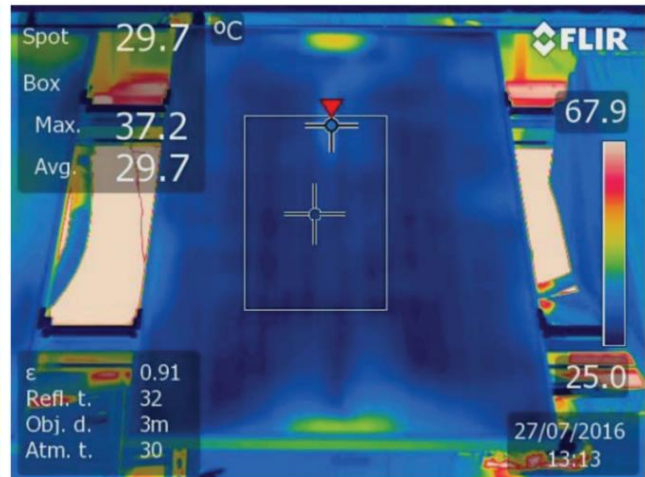


Figura 3.3 – Painel fotovoltaico com trocador de calor Roll-bond

Fonte: (TALUM, 2019)

O sistema de resfriamento do painel fotovoltaico utilizando trocador de calor Roll Bond é ilustrada conforme figura 3.4 abaixo.

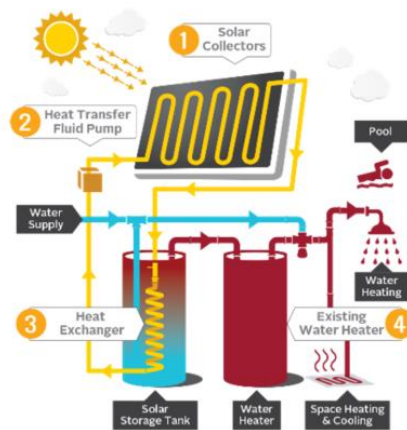


Figura 3.4 – Sistema híbrido

É realizado a montagem de um trocador de calor Roll Bond logo abaixo da placa fotovoltaica. Neste trocador percorre através de seu circuito Etilenoglicol, fluido de arrefecimento, que é responsável pela redução da temperatura placa fotovoltaica, após a passagem do fluido pelo Roll Bond, o mesmo é redirecionado a passar por uma serpentina de cobre, onde o calor absorvido da placa fotovoltaica é transferido para um recipiente com água no seu interior, realizando assim o aquecimento da mesma. Esta água pode ser utilizada para diversos fins.

Outro ponto que pode ser aplicado é a instalação de ventiladores sob a serpentina envolta ao recipiente de água gerando ar quente que pode ser direcionado para o aquecimento de ambientes.

Após estas etapas o Etilenoglicol retorna para placa para que se reinicie o ciclo.

5 CONCLUSÕES

A análise da literatura sobre o tema evidencia que a transferência de calor entre a placa fotovoltaica e o painel Roll-bond é fundamental para se obter uma elevada eficiência elétrica, além da possibilidade de reaproveitar o calor dissipado pelas placas fotovoltaicas em outro ambiente, gerando assim uma possibilidade de reaproveitamento energético.

Devido à possibilidade de produção energética associada a preocupações ambientais, espera-se que o mercado PVT cresça nos próximos anos.

Assim sendo, investigar mais profundamente estas tecnologias é essencial para que elas possam ser comercializadas a preços justos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio e incentivo de todo o time da empresa Refrigeration, o qual não poupou esforços para que pudéssemos ter sucesso nesta jornada de conhecimentos e aprendizados.

REFERÊNCIAS

ARCURI, N.; REDA, F.; SIMONE, M. Energy and thermo-fluid dynamics evaluations of photovoltaic panels cooled by water and air. In: Solar Energy. [S.l.: s.n.], 2014. v. 105, p. 147–156.

ASTE, N.; PERO, C. del; LEONFORTE, F. Water flat plate pv-thermal collectors: a review. Solar Energy, Elsevier, v. 102, p. 98–115, 2014.

BERGENE, T.; LOVVIK, O. M. Model calculations on a flat-plate solar heat collector with integrated solar cells. Solar energy, Elsevier, v. 55, n. 6, p. 453–462, 1995.

BHARGAVA, A. K.; GARG, H.; AGARWAL, R. K. Study of a hybrid solar system—solar air heater combined with solar cells. Energy Conversion and Management, Elsevier, v. 31, n. 5, p. 471–479, 1991.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO. Tutorial de Energia Solar Fotovoltaica. Rio de Janeiro, 2006.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO. Potencial Solar: Sun Data. Rio de Janeiro, 2015.

CHOW, T. Performance analysis of photovoltaic-thermal collector by explicit dynamic model. Solar Energy, Elsevier, v. 75, n. 2, p. 143–152, 2003.

CHOW, T. T. A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology. In: Applied Energy. [S.l.]: Elsevier, 2010. v. 87, n. 2, p. 365–379.

ELETROBRÁS. Energia Solar para Aquecimento de Água no Brasil: Contribuição da Eletrobras Procel e Parceiros. Rio de Janeiro, 2012.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. Balanço Energético Nacional 2016. Ano base:2015 - relatório final. Rio de Janeiro, Brasil, 2016.

EUROPEAN PHOTOVOLTAIC INDUSTRY ASSOCIATION. Global market outlook for solar power: 2015-2019. Bruxelas, 2015.

HARBI, Y. A.; EUGENIO, N.; ZAHRANI, S. A. Photovoltaic-thermal solar energy experiment in saudi arabia. Renewable energy, Elsevier, v. 15, n. 1, p. 483–486, 1998.

IBRAHIM, A. et al. Performance of photovoltaic thermal collector (pvt) with different absorbers design. WSEAS Transactions on Environment and Development, v. 5, n. 3, p.321–330, 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Atlas Brasileiro de Energia Solar: Ministério da ciência e tecnologia - mct. São José dos Campos, 2006.

LISBOA, D. S. Dimensionamento de um sfvcr: Estudo de caso do prédio central do campus universitário de tucuruí - pa: Trabalho de conclusão de curso em engenharia elétrica. In: . [S.l.: s.n.], 2010.

PEÑARANDA, LUZ & ABUBAKAR, IBRAHIM & PARISE, JOSÉ ALBERTO REIS & MENDOZA, OSCAR & BANDARRA FILHO, ENIO. Comparative study of a tropical-climate natural-convection hybrid PV/T system operating with full or partial (tube-only) water coil insulation and two different sizes of thermal energy reservoirs. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering. 43. 10.1007/s40430-021-03025-1. 2021.

SANDNES, B.; REKSTAD, J. A photovoltaic/thermal (pv/t) collector with a polymer absorber plate. experimental study and analytical model. Solar Energy, Elsevier, v. 72, n. 1, p. 63–73, 2002.

ZONDAG, H. et al. The yield of different combined pv-thermal collector designs. Solar energy, Elsevier, v. 74, n. 3, p. 253–269, 2003.