

## TECNOLOGIA SOLAR HÍBRIDA

**Ramos C.A.F.\*, \*\*, Alcaso A.N.\*, \*\*, Cardoso A.J.M.\*\***

\*Instituto Politécnico da Guarda, Av. Dr. Francisco Sá Carneiro, Guarda, 6300-559, Portugal, [framos@ipg.pt](mailto:framos@ipg.pt),  
[aderitona@ipg.pt](mailto:aderitona@ipg.pt)

\*\*CISE - Centro de Investigação em Sistemas Electromecatrónicos, Universidade da Beira Interior, Calçada Fonte do Lameiro, P - 6201-001, Covilhã, Portugal, [ajmcardoso@icee.org](mailto:ajmcardoso@icee.org)

<https://doi.org/10.34637/cies2020.1.2062>

## RESUMO

Presentemente, a tecnologia solar converte a energia da radiação solar em energia eléctrica e energia térmica, através do efeito fotovoltaico (PV) das células solares, e dos coletores térmicos de absorção da radiação para aquecimento, respectivamente. Estas formas de conversão são geralmente realizadas separadamente. Contudo, a eficiência da célula PV decresce devido ao seu natural aquecimento, quando exposta à radiação solar. Esta situação ocorre para a maioria das instalações PV, tornando-se necessário o seu arrefecimento, através de um fluido térmico, para que possa ter uma maior eficiência na geração de electricidade e, ao mesmo tempo, aproveitar o calor extraído. Este equipamento, agora de cogeração, denomina-se de coletor solar híbrido termofotovoltaico (PVT). Neste artigo são examinados os diversos tipos de tecnologia solar, com especial relevo para a tecnologia PVT, e é apresentado um estudo teórico-experimental de um sistema PVT. As principais vantagens do uso do PVT, comparativamente ao PV e ao coletor térmico convencionais, centram-se essencialmente numa maior eficiência por unidade de área e numa diminuição da área de instalação necessária.

PALAVRAS-CHAVE: Energia Solar, Tecnologia Solar, Coletor Híbrido Termofotovoltaico

## ABSTRACT

Currently, solar technology converts solar radiation into electric and thermal energy, through the photovoltaic (PV) effect of solar cells, and thermal collectors that absorb radiation for heat generation, respectively. These types of conversion are generally accomplished separately. However, due to the natural heating of the PV cell, when exposed to solar radiation, its efficiency decreases. This situation occurs in the majority of PV setups and makes it necessary to have cooling, by the means of a thermal fluid, so that it can achieve an increased electric efficiency, and at the same time take advantage of the extracted heat. This cogeneration equipment is called a Photovoltaic-Thermal hybrid solar collector (PVT). In this paper various types of solar technologies are examined, in particular the PVT technology, and a theoretical-experimental study of a PVT system is presented. The main advantages of PVT, relative to PV and thermal collectors, is essentially a larger efficiency per unit of area and a reduction in the required installation area.

KEYWORDS: Solar Energy, Solar Technology, Photovoltaic-Thermal Hybrid Collector

## INTRODUÇÃO

A tecnologia solar existente converte a energia da radiação solar em energia elétrica, através do efeito fotovoltaico das células solares que compõem um painel fotovoltaico (*PV*, da sigla em inglês), e em energia térmica, através de coletores térmicos que aproveitam a absorção da radiação infravermelha para aquecimento. Estes dois tipos de conversão são realizados tradicionalmente em separado.

Nas células solares fotovoltaicas de tecnologia de silício cristalino, que constituem a maior parte das células solares existentes no mundo, quando sujeitas à radiação solar e à temperatura do meio envolvente, pode verificar-se uma tendência de aumento da sua temperatura, o que implica o seu aquecimento, fazendo com que naturalmente a sua eficiência decresça. Esta situação deve-se principalmente à absorção, por parte das células, da radiação solar incidente na sua forma de energia infravermelha, que não é convertida em energia elétrica.

Num painel PV convencional o calor gerado pelas células solares não é usado, sendo rejeitado para a envolvente. Parece, assim, ser uma situação atrativa extrair o calor da célula, o que significa um arrefecimento ativo, e ao mesmo tempo fazer uso desta energia. Assim, a solução a considerar traduz-se num equipamento que converta a radiação solar em energia útil, nomeadamente em energia elétrica, através do módulo fotovoltaico, e simultaneamente produza energia térmica, num módulo térmico, tendo em conta a transferência do calor extraído do módulo fotovoltaico para um fluido térmico. Este equipamento de cogeração, que produz em simultâneo eletricidade e calor, denomina-se de coletor solar híbrido termofotovoltaico (em inglês, *Photovoltaic-Thermal solar collector* ou tipicamente abreviado por PVT). A investigação da tecnologia PVT começou a partir da década de 70 do século passado (Chow, 2010), tendo vindo a aumentar desde aí o interesse no seu desenvolvimento para que seja considerada uma opção na produção de energia renovável, no contributo do mix global das energias de fontes renováveis.

As principais vantagens do uso do PVT relativamente ao PV e ao coletor térmico convencionais centram-se essencialmente numa maior eficiência por unidade de área, o que traduz não só o aumento da eficiência elétrica pelo arrefecimento do PV e conseqüentemente o aproveitamento das perdas de calor das células solares, e numa diminuição da área de instalação de equipamentos solares. Ao combinar a geração de eletricidade e calor num mesmo equipamento, esta tecnologia pode alcançar uma elevada eficiência global comparativamente à presente tecnologia solar PV e térmica instaladas em separado.

No presente trabalho, são examinados os diversos tipos de tecnologia solar, incidindo principalmente na tecnologia PVT, sendo ainda apresentado um estudo teórico-experimental de um sistema PVT. Este estudo foi efetuado no CISE | Centro de Investigação em Sistemas Electromecatrónicos, nas suas instalações da Guarda International Research Station on Renewable Energies (GIRS-RES).

O coletor PVT onde se realizaram os ensaios experimentais tem como termofluido de arrefecimento um líquido composto por água e anticongelante, à semelhança de um coletor térmico convencional. O PVT está integrado num sistema composto por uma parte elétrica, que é constituída essencialmente pelo controlador de carga, pela bateria e pelo conversor DC/AC, e por uma parte térmica, que tem como equipamentos constituintes o permutador de calor e o tanque de armazenamento da água quente que suportará o consumo de água quente. Os dados dos testes do sistema solar proposto são expressos em termos da eficiência global do PVT, que é a soma direta das eficiências elétrica e térmica deste coletor. Como resumo da conclusão, poder-se-á dizer que o PVT, relativamente ao painel PV e ao coletor térmico em separado, tem como principais vantagens uma maior eficiência por unidade de área, devido ao aumento da eficiência elétrica pelo arrefecimento das células solares, e conseqüentemente o aproveitamento das perdas de calor das mesmas células. Devido à sua própria morfologia, o PVT apresenta também uma diminuição da área de instalação, comparativamente aos outros equipamentos solares convencionais.

## ENERGIA E TECNOLOGIA SOLAR

De seguida abordar-se-á a energia solar e a tecnologia aplicada para a conversão da radiação solar em energia útil, nomeadamente energia elétrica e térmica. Como mais valia da conversão da energia solar, e embora esse não seja o principal assunto deste trabalho, poder-se-á também obter a produção de frio, tendo, para isso, de se associar ao sistema PVT uma máquina de adsorção ou de absorção.

### Energia Solar

A previsão da procura de energia até ao ano 2040 é de um crescimento de cerca de 25% (IEA, 2017). A médio prazo a realidade no setor da energia será diferente da atual, prevendo-se que o consumo nos países da OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico) estabilizará ou poderá mesmo decrescer, enquanto noutras partes do mundo a tendência é de crescimento.

Atualmente, a produção mundial de eletricidade por fontes renováveis é de 26,5%, sendo a conversão de energia solar ainda reduzida; menos de 2% (REN21, 2018).

Para se conhecer melhor a energia da radiação solar e a sua conversão em outro tipo de energia útil através de equipamentos ditos solares (como são os casos dos painéis solares e dos coletores térmicos), é útil conhecer o espectro da radiação solar. A Fig. 1 apresenta o espectro típico da radiação solar, distinguindo a distribuição espectral da radiação

solar extraterrestre, com o coeficiente de Massa de Ar correspondente (AM0), bem como a radiação ao nível do mar cujo ângulo de incidência com a normal é de  $0^\circ$  (AM1) e o espectro de referência de um corpo negro a 6000 K. De referir que o espectro de emissão do sol pode ser considerado como o de um corpo negro cuja temperatura seja de aproximadamente 5800 K.

As bandas a amarelo da Fig. 1 (Adaptada de Ramos *et al.*, 2019) mostram onde a energia é absorvida mais severamente pelos gases presentes ao longo da atmosfera terrestre, nomeadamente o vapor de água ( $H_2O$ ), o dióxido de carbono ( $CO_2$ ), o ozono ( $O_3$ ) e outros gases de efeito de estufa e onde se pode visualizar os efeitos da atenuação atmosférica sobre a distribuição espectral da radiação solar.

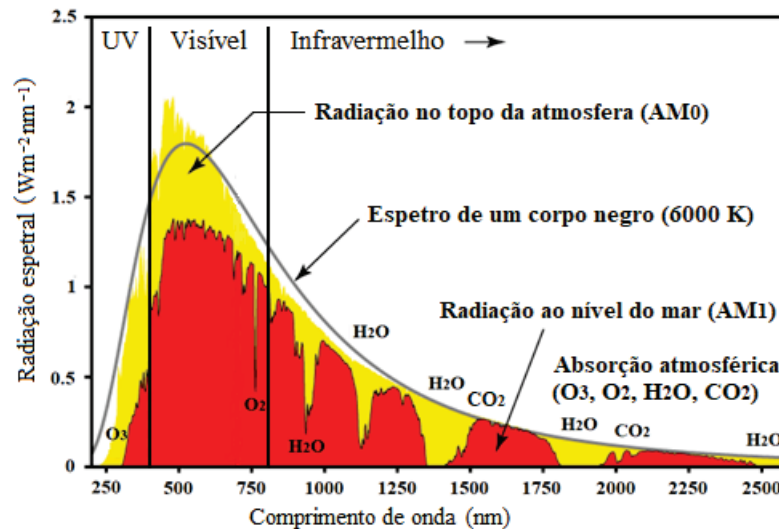


Fig. 1. Distribuição espectral da radiação solar.

Assim, enquanto o  $O_3$  na estratosfera tem uma elevada absorção na banda da radiação ultravioleta, o  $H_2O$  e o  $CO_2$  atuam na radiação com comprimento de onda maiores.

### Tecnologia Solar

A tecnologia solar usa a fonte renovável e ilimitada de energia disponibilizada pelo sol e contribui ativamente para a progressiva substituição da tecnologia ligada às fontes de energia de origem fóssil, cujos recursos são finitos e apresentam grandes impactos no clima e no meio ambiente, dando, assim, o seu contributo na alternativa para a produção de energia e ao mesmo tempo para a minimização destes impactos. Apresentar-se-ão a seguir os tipos de equipamentos solares que já possuem alguma maturidade e em mais detalhe os mais recentes.

#### Painel Fotovoltaico e Coletor Térmico

A curto e a médio prazo é previsível que a energia por fontes renováveis venha a ter um grande crescimento na produção global de eletricidade, com o solar fotovoltaico em claro destaque (IEA, 2017), devido essencialmente à necessidade de acesso à energia de reduzido impacto ambiental.

A tecnologia solar existente, nomeadamente a fotovoltaica e a térmica, pode ser classificada tendo em conta diversos critérios, como o tipo de material usado, o modo de captação da radiação solar, entre outros (Ramos *et al.*, 2019).

Os painéis fotovoltaicos convertem diretamente radiação solar em energia elétrica através do efeito fotoelétrico e são compostos por células solares. Estas células podem ser classificadas em termos de tipo de tecnologia, nomeadamente de primeira, segunda e terceira geração. No primeiro caso, a primeira geração, a tecnologia de silício cristalino (Si), é composta pelas células monocristalinas e policristalinas e são estas que mais proliferam no mercado global. A segunda geração, também denominada de película fina, é constituída principalmente por células de vários constituintes, nomeadamente células de silício amorfo (A-Si), células de Cádmio-Telúrio (CdTe), células de Cobre-Índio-Gálio-Selénio (CIGS) e células de Gálio-Arsénio (GaAs). A terceira geração, denominada de multijunção, é formada por células de GaAs multi-junção, células desensibilizadas por corantes, células orgânicas (com utilização de materiais orgânicos) e inorgânicas (com utilização de substâncias inorgânicas).

Tendo em conta o material de que é composta a célula fotovoltaica, a sua principal desvantagem, quando exposta à radiação solar, deve-se à sua resposta espectral seletiva. A Fig. 2 (Adaptada de Coulson, 1975) mostra as curvas de um típico espectro solar fora da atmosfera terrestre e da resposta espectral da célula solar de silício. Esta última curva define o intervalo da sensibilidade espectral da célula, mostrando a influência de uma faixa de radiação solar na eficiência da geração de energia elétrica. É notório que este tipo de células é sensível ao espectro visível e ao infravermelho próximo.

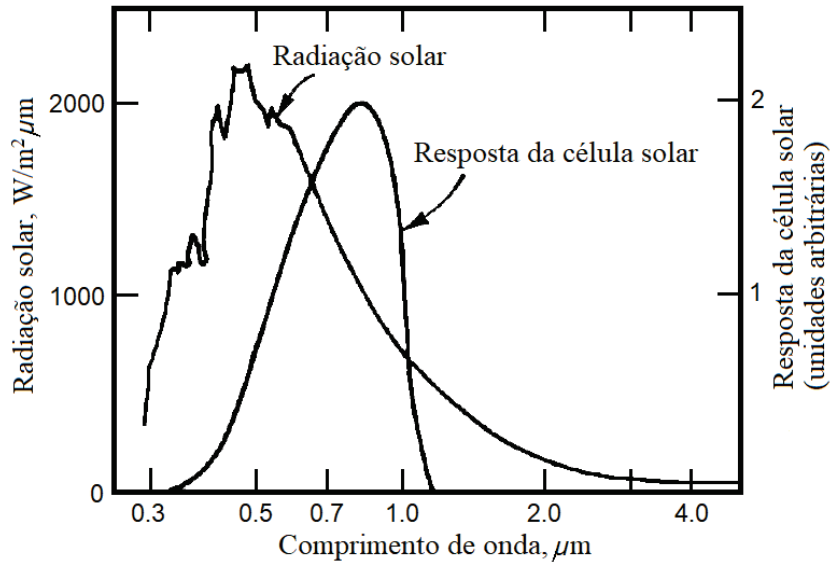


Fig. 2. Distribuição espectral da radiação solar extraterrestre e resposta espectral da célula solar de silício

Relativamente aos coletores térmicos, estes produzem calor pela absorção da radiação solar. Assim, estes equipamentos servem para converter a maior quantidade de radiação solar disponível em calor e transmitir este calor para o restante sistema com o mínimo de perdas térmicas possíveis. Assim, a geração de energia térmica através da energia solar é conseguida num coletor solar térmico através de absorção dos raios solares por uma superfície absorvedora, que por sua vez transmite esse calor a um fluido de transferência térmica (geralmente composto por uma mistura de água com anti-congelante) que transmite calor ao fluido de utilização. A eficiência deste equipamento é influenciada principalmente pelas perdas por reflexão, na zona transparente de receção da radiação solar (cobertura transparente) e pelas perdas térmicas em toda a superfície do coletor. Se as perdas por reflexão dependem do tipo de material que recebe a radiação solar, já as perdas térmicas estão dependentes da diferença de temperatura entre o absorvedor e o ar exterior, da insolação, da construção do coletor e dos próprios materiais usados, incluindo os materiais de isolamento térmico. Estes equipamentos são classificados em coletores concentradores e coletores planos, de acordo com a existência ou não de mecanismos de concentração da radiação solar e ainda em coletores térmicos de tubos de vácuo (em inglês, *evacuated tube collector*-ETC).

Os coletores solares térmicos, na sua conversão de energia solar em calor, são sensíveis à radiação de onda curta, nomeadamente à radiação visível e ao infravermelho próximo.

#### Coletor Híbrido Termofotovoltaico

Para a maioria dos módulos PV, a temperatura máxima de operação é limitada para menos do que a temperatura máxima de operação certificada, tipicamente um valor de cerca de 85 °C (IEC, 2016).

A maior parte das células fotovoltaicas, que são baseadas na tecnologia de silício, sofrem uma queda de eficiência com o aumento da sua temperatura. Esta redução de eficiência é de cerca de 0,2 a 0,5% por cada °C de aumento na temperatura (Zondag et al. 2006).

Tendo em conta a presente tecnologia solar, onde se verifica que os painéis fotovoltaicos geram eletricidade e os coletores térmicos produzem calor, funcionando separadamente, continua a ser desenvolvido uma tecnologia solar híbrida baseada na combinação de coletores térmicos (módulo térmico) com células solares fotovoltaicas (módulo fotovoltaico). Estes dois módulos estão integrados num mesmo equipamento, em que as células solares estão isoladas eletricamente e posicionadas em cima de um absorvedor térmico, ao qual estão termicamente ligadas, que por sua vez e através do seu fluido termodinâmico (água com anticongelante) arrefece as células. Assim, estes dois módulos, elétrico e térmico, formam um equipamento que é construído de modo a transferir calor das células PV para um fluido, resultando no arrefecimento das células e conseqüentemente na melhoria da sua eficiência e no prolongamento da sua vida útil. Relativamente à componente térmica, o seu desempenho não será superior ao obtido num coletor térmico puro, podendo ser inferior a este. Este equipamento de cogeração, que converte a energia solar em eletricidade e calor em simultâneo, denomina-se de coletor solar termofotovoltaico (em inglês, *Photovoltaic-Thermal solar collector* ou PVT).

O PVT, devido ao arrefecimento do seu módulo fotovoltaico, terá uma maior eficiência na geração de energia elétrica, comparativamente ao sistema PV convencional, enquanto produz energia térmica útil no seu módulo térmico. A Fig. 3 (Adaptada de Hofmann et al. 2010; Ramos et al. 2019) esquematiza os tipos de tecnologia solar, com a distinção dos meios convencionais, fotovoltaica e térmica, e dos tipos de coletores solares híbridos PVT.

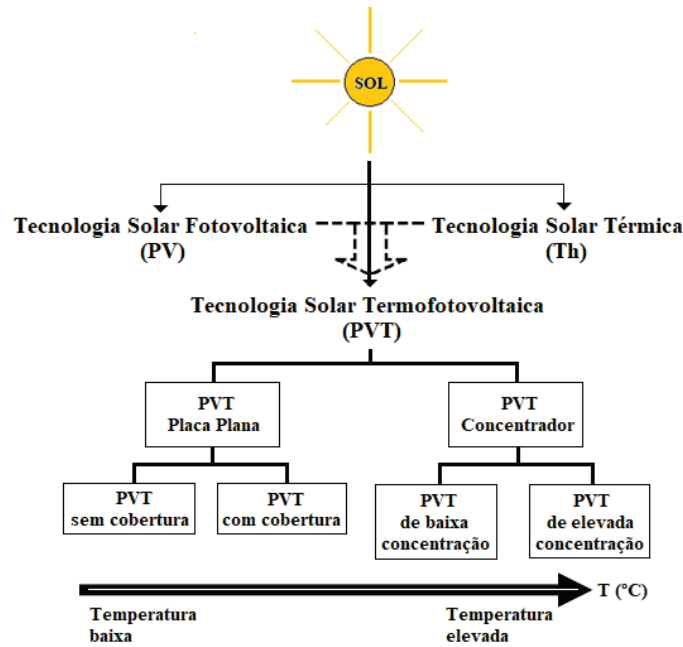


Fig. 3. Tecnologia solar e tipos de coletores PVT

Há múltiplas possibilidades técnicas para combinar as células PV e coletores térmicos. As diferentes tecnologias PVT diferem substancialmente de acordo com vários fatores, nomeadamente o seu design, o tipo de fluido térmico usado (líquido ou gás), o tipo de material utilizado na sua construção e as suas aplicações nos diferentes intervalos de temperatura de operação. Assim, e de acordo com a Fig. 3, os coletores PVT podem ser classificados em PVT de placa plana e PVT concentrador, podendo ambos os tipos de coletores usar como fluido térmico a água ou ar, ou podem ainda, utilizar estes dois tipos de fluido térmico em simultâneo. Os coletores PVT de placa plana podem ter ou não um acréscimo de uma cobertura de vidro, denominando-se PVT com cobertura e sem cobertura, respetivamente. A cobertura, que é um vidro adicional que delimita uma camada de ar entre este e o módulo PV, aumenta a eficiência térmica. No entanto, esta solução leva a que se atinjam temperaturas significativamente mais elevadas que os painéis fotovoltaicos e os PVTs sem cobertura, sendo, por isso, uma tecnologia solar que dá primazia à produção de calor relativamente à geração de eletricidade. Os coletores PVT concentradores têm como objetivo concentrar a radiação solar numa área, através de dispositivos de reflexão. Assim, os raios solares que incidem nos refletores (espelhos) serão refletidos para um recetor, que é composto de um absorsor por onde circula um fluido de troca térmica. Estes coletores têm perdas térmicas para o ambiente reduzidas, o que melhora significativamente a sua eficiência em aplicações com temperaturas elevadas. A Fig. 4 mostra dois exemplos de PVTs.

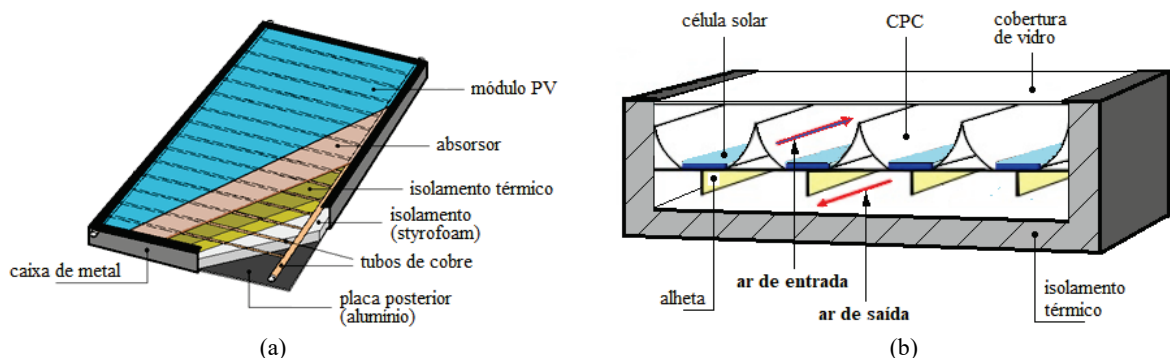


Fig. 4. Coletores PVT de placa plana: (a) sem cobertura; (b) concentrador

O coletor PVT de placa plana sem cobertura adicional de vidro, Fig. 4 (a), tem o seu módulo fotovoltaico na face anterior do PVT e o escoamento do fluido térmico (líquido) passa pelos tubos de cobre que estão abaixo da placa absorSORa e que absorvem calor das células para o fluido. O isolamento térmico serve para que não haja muitas perdas de calor pelas partes laterais e posterior. O coletor PVT concentrador, Fig. 4 (b), incorpora concentradores CPC (em inglês, *Compound Parabolic Concentrator*), que refletem a radiação solar, para uma maior concentração desta radiação em direção às células solares. Neste último PVT o ar entra nos canais situados entre o vidro de cobertura e

as células PV, onde é aquecido diretamente pela radiação solar, fluindo de seguida aos canais abaixo da placa destas células onde existem alhetas com o objetivo de aumentar ainda mais a transferência de calor da célula para o fluido. A variedade das aplicações dos coletores PVTs pode ser de acordo com o seu nível de temperatura. Assim, poder-se-ão considerar três níveis de aplicações do PVT: de baixa temperatura (até 50 °C), de média temperatura (até 80 °C) e de elevada temperatura (acima de 80 °C).

### ENSAIO DE UM COLETOR PVT

Para além da caracterização dos coletores PVTs, pretende-se neste trabalho apresentar um estudo teórico-experimental de um sistema com um PVT de placa plana sem cobertura, para se compreender a utilidade deste em comparação com sistemas clássicos de aproveitamento de energia solar.

O presente trabalho foi efetuado no CISE | Centro de Investigação em Sistemas Electromecatrónicos, nas suas instalações da “Guarda International Research Station on Renewable Energies (GIRS-RES)”, onde se encontram, num arranjo em série, paralelo e misto, dez módulos PVT, conforme se pode ver na Fig. 5. Consideram-se estes tipos de arranjo de acordo com as necessidades requeridas de corrente, tensão e temperaturas do fluido térmico. Alguns trabalhos já foram desenvolvidos na área da manutenção dos PVTs (Ramos, *et al.* 2017), sendo que a monitorização das temperaturas permite a deteção de anomalias antes que elas se tornem falhas, alcançando, assim, um diagnóstico sem que haja interrupção da operação do equipamento (Cardoso, 2018).



Fig. 5. Arranjo de dez módulos PVT no GIRS-RES

O estudo efetuado neste artigo teve em consideração um sistema com um coletor PVT, onde se realizaram os ensaios experimentais, de acordo com o esquema da Fig. 6.

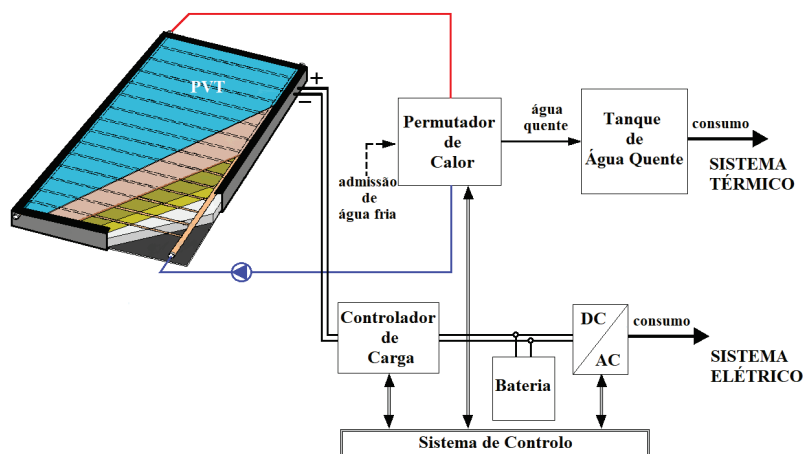


Fig. 6. Esquema do sistema do PVT

Na Fig. 6 pode ver-se que o PVT, como equipamento de cogeração, está integrado num sistema composto por uma parte elétrica, que é constituída essencialmente pelo controlador de carga, pela bateria e pelo conversor DC/AC, e

por uma parte térmica, que tem como equipamentos constituintes o permutador de calor e o tanque de armazenamento da água quente que suportará o consumo de água quente. De notar que o PVT tem como termofluido de arrefecimento um líquido composto por água e anticongelante, à semelhança de um coletor térmico convencional.

As curvas de eficiência dos módulos elétrico e térmico do PVT foram calculadas através de um modelo numérico, onde a eficiência global do PVT aparece como a soma direta das eficiências elétrica e térmica (Ramos *et al.*, 2019). Os dados dos testes experimentais do coletor PVT são expressos usualmente numa relação de eficiência instantânea (térmica, elétrica e global) e da denominada temperatura reduzida, que é definida como  $T^* = (T_i - T_a)/G$  (Duffie *et al.*, 2006), como mostra a Fig. 7. Nesta figura,  $T_i$  e  $T_a$  são as temperaturas de entrada do fluido no PVT e a temperatura ambiente (em °C), respetivamente e  $G$  a radiação solar (em W/m<sup>2</sup>). As condições ambientais verificadas foram as seguintes: os valores da temperatura  $T_i$  variaram de 23 a 40 °C, os da temperatura  $T_a$  de 20 a 35 °C, os valores de  $G$  variaram entre 250 a 1000 W/m<sup>2</sup> e a velocidade do vento foi cerca de 1 m/s.

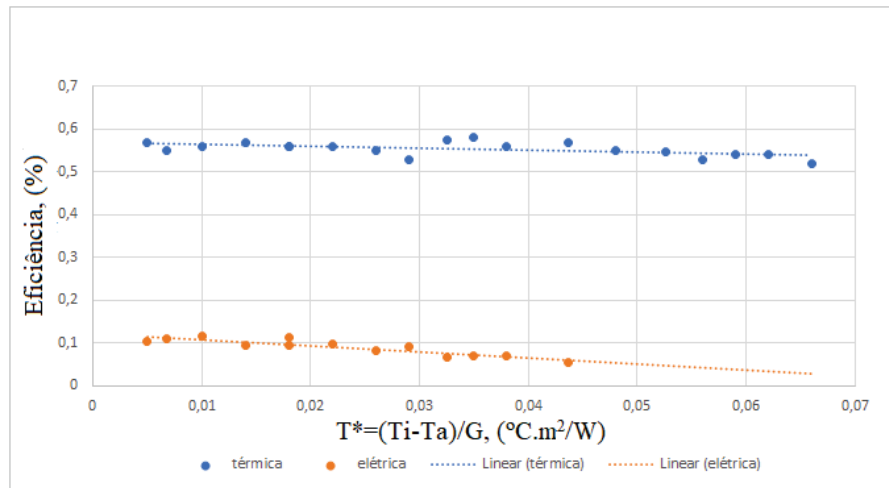


Fig. 7. Dados experimentais da eficiência térmica e elétrica do PVT relativamente à temperatura reduzida

A relação entre a eficiência e a temperatura reduzida apresentada na Fig. 7 revela que tanto a eficiência térmica como a elétrica decrescem com a diminuição do gradiente de temperatura  $T_i - T_a$ , se se mantiver o valor de  $G$  aproximadamente constante. Também se observa que se os valores de  $T_a$  e  $G$  se mantiverem sensivelmente inalterados, a diminuição da temperatura  $T_i$  reflete-se num aumento da eficiência térmica e elétrica. Assim, ao introduzir-se no PVT um fluido térmico mais frio, este tem a capacidade de arrefecer melhor as células solares e, consequentemente, de absorver mais facilmente o calor destas. Esta análise é consentânea com o objetivo do uso do PVT como equipamento solar de cogeração alternativo aos equipamentos solares contemporâneos.

Com o presente estudo pretende-se, também, mostrar a possibilidade da otimização do sistema PVT no sentido de aliar à potência máxima elétrica a cada momento (em inglês, *maximum power point tracker* ou *MPPT*) a potência máxima a retirar do módulo térmico do PVT.

A Fig. 8 apresenta curvas de eficiência térmica, elétrica e global relativamente ao caudal mássico do fluido térmico do PVT.

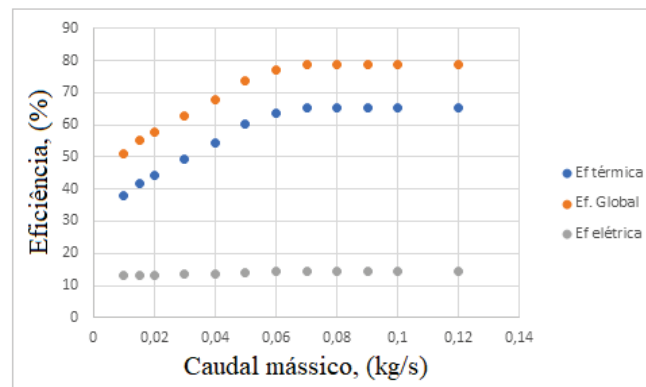


Fig. 8. Curvas de eficiência do PVT relativamente ao caudal mássico

Da análise da Fig. 8 pode concluir-se que a partir de um certo valor de caudal (aproximadamente 0,06 kg/s), as eficiências térmica e elétrica do PVT não se alteram significativamente, não havendo, assim, necessidade de aumentar

este valor acima do mencionado, pois não trará maiores valores de eficiência. Por definição a soma das eficiências térmica e elétrica é a eficiência global, e esta tem um comportamento semelhante às anteriores.

No funcionamento do PVT é notória a importância do caudal mássico, nomeadamente no controlo da temperatura do fluido térmico e consequentemente da maximização da eficiência térmica do PVT, conforme se pode observar na Fig. 8. O controlo do caudal mássico associado ao MPPT, a efetuar no módulo elétrico, maximiza a eficiência global do PVT, podendo-se, assim, extrair a sua potência global máxima.

## CONCLUSÕES

Para além da apresentação da tecnologia solar, foi apresentado o teste a um sistema com um coletor solar PVT. Este sistema é composto por uma parte térmica e outra elétrica. O objetivo era mostrar a maximização da eficiência energética do sistema apresentado. Como conclusão, pode-se considerar o seguinte:

- durante um intervalo de tempo em que a radiação solar se mantenha aproximadamente constante e que o gradiente de temperatura ( $T_i - T_a$ ) tenha um crescimento, principalmente pelo aumento mais rápido do valor de  $T_i$  em relação ao valor de  $T_a$ , as eficiências térmica e elétrica decrescem;
- com o gradiente de temperatura ( $T_i - T_a$ ) a crescer pouco ou a manter-se praticamente constante e com o aumento da radiação solar em maior valor, as eficiências térmica e elétrica crescerão;
- à parte das condições climáticas, nomeadamente a velocidade do vento, a temperatura ambiente e a quantidade da radiação solar e em qualquer das situações verificadas, o caudal mássico do fluido térmico controlará a temperatura de entrada  $T_i$ , o que acabará por interferir nas eficiências térmica e elétrica e por conseguinte na eficiência global do PVT.

Relativamente ao painel PV e ao coletor térmico em separado, a principal vantagem do PVT centra-se numa maior eficiência por unidade de área devido ao aumento da eficiência elétrica, pelo arrefecimento das células solares, e consequentemente do aproveitamento das perdas de calor das mesmas células. Devido à sua própria morfologia, o PVT apresenta uma diminuição da área de instalação, comparativamente aos outros equipamentos solares convencionais.

Tendo em conta o que se apresentou no presente artigo, pode-se concluir que a tecnologia PVT pode dar um contributo para o mix de energia no mundo e ser considerada como uma opção para a produção renovável de calor, frio e eletricidade.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi suportado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) no âmbito do Programa Operacional para a Competitividade e Internacionalização (COMPETE 2020), através do Projecto POCI-01-0145-FEDER-029494, e pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) através dos Projectos UIDB/04131/2020 e UIDP/04131/2020.

## REFERÊNCIAS

- Cardoso A. J. M. (2018) *Diagnosis and Fault Tolerance of Electrical Machines, Power Electronics and Drives*. IET-The Institution of Engineering and Technology, London, UK.
- Chow T. T. (2010). A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology. *Applied Energy*. 87, 365-379.
- Coulson K. L. (1975) *Solar and Terrestrial Radiation*, Academic, New York.
- Duffie, J. A. and Beckman, W. A. (2006) *Solar Engineering of Thermal Processes*, 3<sup>rd</sup> edn, John Wiley & Sons.
- Hofmann P., Dupeyrat P., Kramer K., Hermann M. and Stryi-Hipp G. (2010) Measurements and Benchmark of PV-T Collectors According to EN 12975 and Development of a Standardized Measurement Procedure. *Proceedings of Eurosun 2010*, 28 September-01 October, Graz, Austria.
- IEA - International Energy Agency (2017). *World Energy Outlook 2017*.
- IEC 61215-1-1 (2016) *Terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval. Special requirements for testing of crystalline silicon photovoltaic (PV) modules*. British Standards Institution.
- Ramos, C. A. F., Alcaso, A. N., Cardoso, A. J. M. (2017) Análise por Termografia de Módulos Termofotovoltaicos. *Proceedings of the 13<sup>o</sup> Congresso Ibero-Americano de Engenharia Mecânica*, 23-26 de Outubro, Lisboa, Portugal.

Ramos, C. A. F., Alcaso, A. N., Cardoso, A. J. M. (2019) Photovoltaic-Thermal (PVT) Technology: Review and Case Study. *Proceedings of the 4th International Conference on New Energy and Future Energy Systems*, Macau, 12 pp., July 21-24; *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 354, 012048, October 2019.

REN21 (2018). *Renewables 2018 - Global Status Report*.

Zondag H. A., Bakker M. and van Helden W. G. J. (2006) *PVT Roadmap - A European guide for the development and market introduction of PV-Thermal Technology*. International Nuclear Information System.