

**PROJETO SHIP****Eusébio T.R.\*, Osório T.\*, Horta P.\*\***

\* Cátedra Energias Renováveis, Universidade de Évora, Plataforma de Ensaio de Concentradores Solares, Herdade da Mitra – Valverde, 7000-083 Nossa Senhora da Tourega, Évora, Portugal, [tre@uevora.pt](mailto:tre@uevora.pt), [tiagoosorio@uevora.pt](mailto:tiagoosorio@uevora.pt)

\*\* Cátedra Energias Renováveis, Universidade de Évora, Casa Cordovil, Rua D. Augusto Eduardo Nunes, n.7  
7000-651 Évora, Portugal, [phorta@uevora.pt](mailto:phorta@uevora.pt)

<https://doi.org/10.34637/cies2020.2.4144>

**RESUMO**

O calor solar para processos industriais (SHIP) tem-se apresentado como um nicho de crescimento da capacidade instalada de solar térmico a nível mundial e pelo menos 741 sistemas, totalizando uma área de coletores de 662 648 m<sup>2</sup> (567 MWth), encontravam-se em operação no final de 2018, dos quais 108 foram novos sistemas que começaram a operar durante esse ano. Em Portugal, para além de casos pontuais de pequenos sistemas de baixa temperatura essencialmente para produção de águas quentes sanitárias, o calor de processo solar é praticamente inexistente.

O projeto SHIP – Solar Heat for Industrial Processes (P2020) – teve como principal objetivo desenvolver e demonstrar, na empresa KEMET Electronics Portugal S.A., em Évora, um sistema de integração direta de tecnologias solares térmicas de média temperatura, testando e validando-o e garantindo assim a sua aproximação ao mercado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Calor de processo solar; Tecnologias solares a média temperatura; Projeto de demonstração

**ABSTRACT**

Solar heat for industrial processes (SHIP) has presented itself as a worldwide solar thermal niche market where at least 741 systems, with 662 648 m<sup>2</sup> of collectors area (567 MWth), could be found at the end of 2018 in operation, 108 of which were new systems that started its operation in that year. In Portugal, besides small scale and low temperature particular cases, mainly towards domestic hot water production, solar process heat is virtually non-existent.

The SHIP project – Solar Heat for Industrial Processes (P2020) – had as its main goal to develop and demonstrate, at the company KEMET Electronics Portugal S.A., in Évora, a direct integration of medium temperature solar thermal technology system, testing and validating it, assuring in this way its proximity/readiness to the market.

**KEYWORDS:** Solar process heat, Medium temperature solar technologies, Demonstration project

## INTRODUÇÃO

Apesar do mercado global de solar térmico ter assistido a uma nova queda de 3.9% em 2018, o calor solar para processos industriais (SHIP) tem-se apresentado como um nicho de crescimento a nível mundial e pelo menos 741 sistemas totalizando uma área de coletores de 662 648 m<sup>2</sup> (567 MWh) encontravam-se em operação no final de 2018 (Weiss et al. 2019). Destes, 108 foram novos sistemas que começaram a operar durante o ano de 2018.

Em Portugal, para além de casos pontuais de pequenos sistemas de baixa temperatura essencialmente para produção de águas quentes sanitárias, apenas 1 sistema em operação (média temperatura, utilizando concentradores cilindro-parabólicos) pode ser encontrado na base de dados de instalações SHIP ([ship-plants.info](http://ship-plants.info)). Este sistema encontra-se instalado na empresa Silamos, localizada em Cesar, concelho de Oliveira de Azeméis, dedicada à produção de utensílios metálicos para a cozinha doméstica ou industrial. Prevê-se a instalação de um outro sistema no âmbito do projeto SHIP2FAIR ([ship2fair-h2020.eu](http://ship2fair-h2020.eu)), utilizando também concentradores de foco linear, mas do tipo Fresnel, na empresa RAR Açúcar localizada no Porto. Em termos oficiais não foi possível encontrar relatórios com dados sobre integração de sistemas solares na indústria (possivelmente devido à inexistência dos mesmos).

O Projeto SHIP – Solar Heat for Industrial Process ([solarheatindustrial.com](http://solarheatindustrial.com)) – com financiamento do programa P2020 (POCI-01-0247-FEDER-017857), teve como principal objetivo desenvolver e demonstrar, um sistema de integração direta de tecnologias solares térmicas de média temperatura em processos industriais, testando-o e validando-o e garantindo assim a sua aproximação ao mercado (Consórcio SHIP, 2019).

O demonstrador do projeto foi instalado na empresa KEMET Electronics Portugal S.A. em Évora e consistiu numa instalação de média dimensão a média temperatura (80 kW a 180 °C), onde, para além de demonstrar a eficiência, autonomia e durabilidade do sistema, se destacam os seguintes objetivos:

- Integrar tecnologia solar térmica numa instalação industrial em operação minimizando as perturbações do processo produtivo e fazendo uso de componentes já existentes;
- Utilizar a cobertura da fábrica como localização do campo solar, sendo que a mesma possui uma curvatura que implica que o campo solar não seja instalado na horizontal;
- Provar a modularidade do sistema através do uso de módulos de coletores pré montados em estruturas tipificadas prevendo uma instalação “*plug & play*” no local e assim reduzindo custos e tempos de instalação para campos solares;
- Fornecer calor a dois processos industriais com níveis de temperatura distintos, sendo um de consumo constante e outro uma produção por lotes.

A solução tecnológica proposta é composta pelos seguintes subsistemas:

- Coletor solar térmico: um novo coletor do tipo CPC quasi-estacionário (Osório et al. 2019), com o desenho otimizado para as condições de instalação e operação, que inclui um sistema de proteção contra o sobreaquecimento permitindo uma operação segura e durável;
- Armazenamento de energia térmica: dois sistemas, sendo o primeiro sob a forma de calor sensível (água quente) e o segundo sob a forma de calor latente (utilizando materiais de mudança de fase a média temperatura ~150 °C) de forma a assegurar um fornecimento de energia quer para uma carga base quer para consumos intermitentes;
- Sistema de monitorização e controlo: *software* dedicado permitindo uma gestão eficiente dos fluxos de energia.

## CARACTERIZAÇÃO DOS CONSUMOS DE CALOR

Existem vários fatores que influenciam o desenho do sistema solar e a sua integração no processo industrial tais como o perfil global de consumo de calor (seja de forma contínua ou por lotes), a sua coincidência com o período em que exista radiação solar, os equipamentos e as infraestruturas existentes, bem como os níveis de temperatura e potências térmicas exigidos pelos processos.

No caso em estudo, foram identificados dois processos, existentes na unidade, com potencial de atingir os objetivos do projeto, com o desafio associado da sua integração a temperaturas diferentes, incluindo a gama da média temperatura, bem como serem replicáveis noutros setores industriais.

De forma a dimensionar o sistema, foi realizada uma auditoria energética numa fase preliminar do projeto, monitorizando os consumos térmicos. Os dois processos em questão estão fisicamente separados um do outro, com temperaturas de processo distintas (ver esquema genérico na figura abaixo) e com diferentes possibilidades de

interface. Este facto implicou a utilização de diferentes meios de transferência térmica (óleo térmico, água e vapor) impondo ainda uma temperatura superior na fonte de calor comparativamente às necessidades de processo, bem como um sistema de apoio. De forma a não perturbar a continuidade dos processos industriais os sistemas de fornecimento de energia atuais foram mantidos como sistemas de apoio.

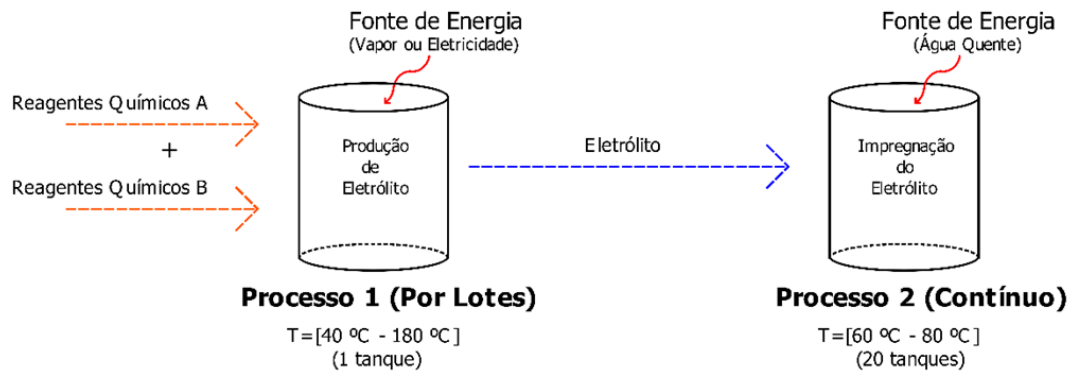


Fig. 1. Representação esquemática dos fluxos materiais e energéticos nos processos industriais considerados

Estes dois processos servem diferentes fins com gamas de temperatura distintas. No primeiro é necessário o fornecimento de energia no aquecimento de um tanque/reator de produção de eletrólito com temperaturas até 180 °C (processo por lotes) onde os consumos são maioritariamente na gama dos 120 °C, apresentando durações variadas. A forma de fornecer energia ao reator é atualmente realizada através de resistências elétricas. Limitações no desenho do reator previnem a utilização de óleo térmico para a permuta, no entanto a unidade possui uma rede de vapor que já foi utilizada para esse mesmo fim e que pôde ser retomada neste projeto. Os consumos térmicos podem representar entre 50-180 kWh/dia ou 50-120 kWh/ciclo.

No segundo a energia térmica é fornecida com o fim de manter, durante várias horas, a temperatura de eletrólito no interior de tanques de impregnação a temperaturas entre os 60 °C e os 80 °C (processo contínuo). Para tal utiliza-se uma rede de água quente não pressurizada transferindo energia para o eletrólito através de permutadores de camisa. Estes consumos representam uma carga base entre 25-40 kW em dias úteis, sendo muito reduzidos nos restantes dias (fim de semana).

A partir da auditoria energética foi possível obter um perfil de carga genérico para uma semana típica, que se pode visualizar na seguinte figura.

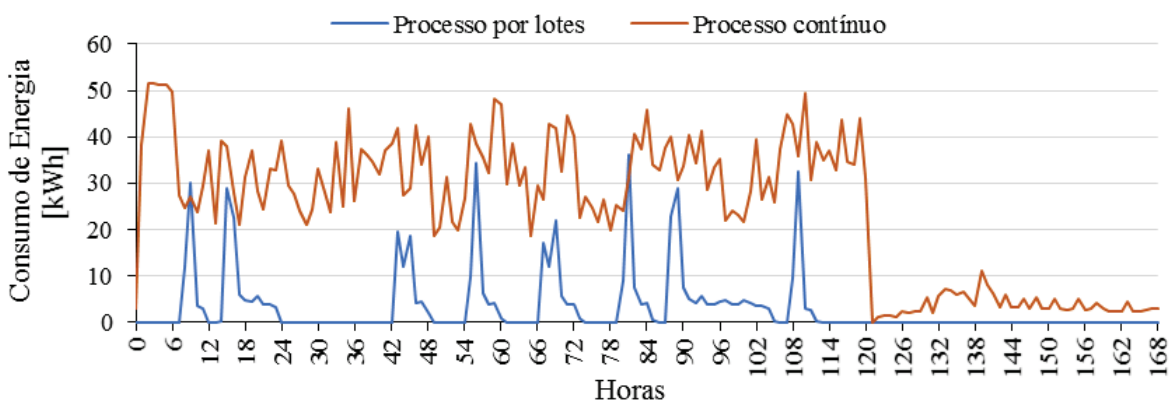


Fig. 2. Perfil de carga para uma semana típica dos consumos térmicos dos dois processos (contínuo e por lotes)

## O SISTEMA SHIP

A fonte de energia térmica provém de um campo de coletores solares térmicos instalados na cobertura da unidade industrial, por onde circula um óleo térmico permitindo uma operação até uma temperatura de 200 °C (circuito primário). Existe também um depósito de armazenamento de energia térmica a média temperatura (sob a forma de energia latente com materiais de mudança de fase, por onde circula o óleo térmico do circuito primário) e outro, já existente, a baixa temperatura (sob a forma de calor sensível utilizando água quente não pressurizada inferior a 95°C).

Do sistema fazem parte: um conjunto de válvulas motorizadas (on/off e proporcionais) para efeitos de controlo e gestão da energia; grupo de bombagem do fluido térmico; dois sistemas de permuta de calor (um transferindo energia do óleo para água quente – circuito de água - e um outro para geração de vapor – circuito de vapor). A figura 3 pretende ilustrar os diversos subsistemas.

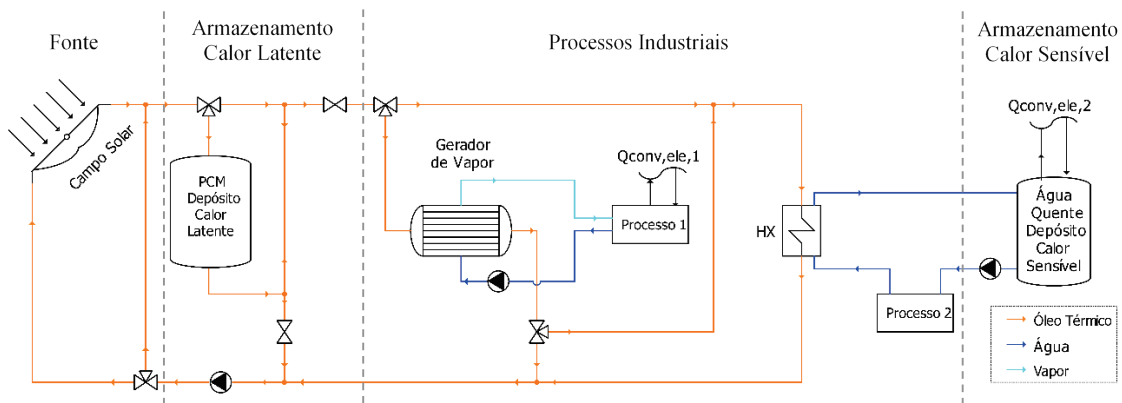


Fig. 3. Representação esquemática do sistema SHIP instalado na KEMET

### Campo Solar

Os coletores solares foram desenvolvidos pela Cátedra Energias Renováveis da Universidade de Évora (CER-UEVORA) e a empresa MCG - Mind for Metal. O desenho do coletor é baseado no conceito quase estacionário com ótica do tipo CPC. Uma metodologia de otimização termoeconómica foi adotada de forma a obter um desenho otimizado para a instalação e condições de operação na KEMET. O coletor é composto por 6 vales do tipo CPC com tubos de vácuo combinados em paralelo constituído assim um módulo. Um protótipo em fase de testes na Plataforma de Ensaio de Concentradores Solares (PECS) da CER-UEVORA pode ser visualizado na figura 4.



Fig. 4. Vista do módulo constituído por 6 vales em paralelo

No que diz respeito ao coletor, a tabela 1 apresenta os parâmetros obtidos após realização dos ensaios de performance (de acordo com a norma ISO9806 seguindo o método de ensaio quase dinâmico), a figura 5 ilustra os modificadores de ângulo de incidência simulados e experimentais para as componentes transversais e longitudinais, e as curvas de potência (Osório et al. 2019).

Tabela 1. Parâmetros óticos e térmicos experimentais do coletor (modelo quase dinâmico)

Parâmetro	$F'(\tau\alpha\rho^{<sup>e</sup>})$	$k_d$	$c_1$	$c_2$	$c_5$
Valor	0.611	0.304	0.831	0.002	11.912
Unidades SI	-	-	$W.m^{-2}.K^{-1}$	$W.m^{-2}.K^{-2}$	$kJ.m^{-2}.K^{-1}$



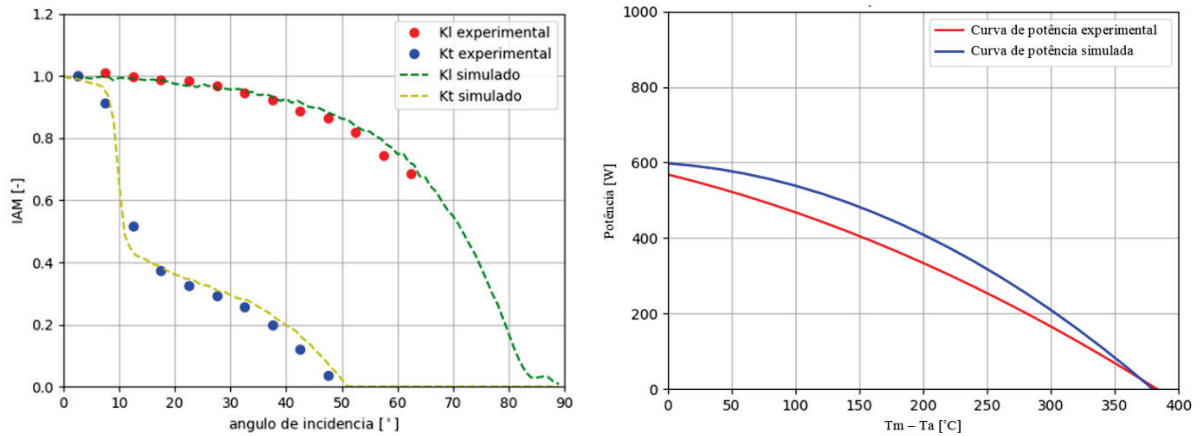


Fig. 5. a) Modificador do ângulo de incidência (IAM) experimental e simulado do coletor ( $K_t$  – transversal;  $K_l$  – longitudinal), à esquerda; b) Curvas de potência do coletor obtidas após realização dos ensaios de performance a um módulo coletor, à direita.

Os coletores foram instalados na cobertura, tendo sido adotada uma estrutura metálica de reforço por forma a suportar o peso dos mesmos. O aproveitamento de espaços, como coberturas, para a instalação de campos solares é um aspeto central nos sistemas SHIP em que muitas vezes o espaço disponível é uma limitação. A flexibilidade de instalação do coletor utilizado neste projeto foi demonstrada pela sua colocação numa cobertura inclinada.

Tabela 2. Parâmetros do campo solar

Fator de concentração efetivo	$C_{ef}$	2.64
Número de módulos	$N_{col}$	40
Área total de abertura do campo solar	$A_{a,Campo}$	186 m <sup>2</sup>
Temperatura de operação de desenho	$T_{op,Desenho}$	180 °C
Fluido de transferência térmica	HTF	Óleo térmico
Orientação do campo solar (azimute)	$\gamma$	-7°
Inclinação do campo solar	$\beta$	20°

Algumas características relacionadas com o campo solar estão presentes na tabela 2 e o campo solar instalado na cobertura da unidade industrial pode ser visto na figura 6.



Fig. 6. Vista do campo solar instalado na cobertura.

Estes coletores estão dotados de um sistema anti-estagnação, acionado por um motor simples, permitindo desfocá-los evitando o sobreaquecimento dos mesmos ou do circuito. Estes coletores são baseados no conceito de seguimento sazonal não sendo necessário um seguimento solar contínuo, dado o grande ângulo de aceitação que permite captar e concentrar a radiação solar durante vários dias (ou meses) sem ser necessário o reposicionamento da abertura. Neste caso, como o motor está presente para acionar o sistema anti-estagnação bem como desfocar parcialmente o campo solar em caso de excesso de produção de energia face aos sumidouros de energia existentes, o seguimento é realizado de uma forma diária (uma posição por dia).

### Sistemas de Armazenamento de Energia Térmica

Existem dois tipos de armazenamento, um na forma de calor sensível (a baixa temperatura) e outro na forma de calor latente (a média temperatura), que podem ser vistos na figura 7.

O sistema de armazenamento principal utiliza o mecanismo de armazenamento na forma de calor latente, com um material de mudança de fase (PCM) entre os estados sólido-líquido para armazenar energia, libertando-a em torno do seu ponto de fusão (a uma temperatura constante), tendo sido desenvolvida sob coordenação do parceiro do projeto INEGI. O PCM utilizado neste protótipo é o Ácido Adípico, com uma temperatura de mudança de fase em torno de 152 °C. Este material foi inserido (no estado líquido) dentro 95 tubos de inox, encapsulando-o, estando no interior de um tanque com um volume próximo de 1.5 m<sup>3</sup>, por onde circula óleo térmico do circuito primário. A energia armazenada pode ser posteriormente fornecida tanto ao processo do circuito de vapor (preferencialmente) como ao processo de água quente ou a ambos em simultâneo. A energia associada ao mecanismo de armazenamento sob a forma de calor latente é próxima de 50 kWh.



Fig. 7. a) Reservatório de armazenamento de energia com PCM's (à esquerda); b) Reservatório de armazenamento de energia com água quente (à direita).

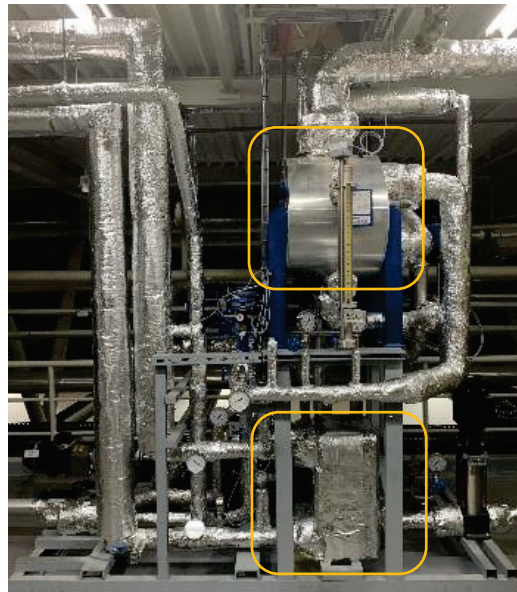
O sistema de armazenamento utilizado mais frequentemente, dado o carácter contínuo do processo, é o reservatório de calor sensível utilizando água quente não pressurizada como meio de armazenamento. Este depósito conta com um volume próximo de 4 m<sup>3</sup> fazendo parte de um sistema já existente, e serve para garantir que dele saia água à temperatura desejada, usando para tal resistências elétricas que são utilizadas agora como apoio. A água quente é bombeada à saída do tanque por forma a percorrer os permutadores do tipo camisa nos tanques de impregnação de eletrólito. Este reservatório é utilizado também para maximizar a absorção de energia solar, minimizando a necessidade de desfocar o campo de coletores caso o consumo instantâneo seja inferior à produção, maximizando assim a fração solar da energia consumida na unidade industrial.

### Sistema de Interface com os Processos Industriais

Os pontos de interface entre o circuito primário que utiliza óleo térmico e os circuitos de água quente (processo contínuo) e o de vapor (processo por lotes) são permutadores de calor de placas.

Do ponto de vista dos circuitos térmicos já existentes, o permutador óleo/água foi instalado na linha de retorno dos processos de impregnação, antes de a água regressar ao depósito de água quente elevando a sua temperatura, que ronda os 60 °C, até uma temperatura tipicamente entre os 85 °C e os 95 °C.

Para efeitos de geração de vapor foi instalado um gerador de vapor conectado hidráulicamente à linha de alimentação da rede de vapor já existente, a montante do tanque de produção de eletrólito (processo por lotes), sendo constituído por dois permutadores, um para pré-aquecimento e outro para geração de vapor saturado a baixa pressão. A seguinte figura mostra o circuito hidráulico do sistema SHIP e os permutadores utilizados na interface com os restantes circuitos térmicos de alimentação dos processos.



Gerador de vapor

Permutador óleo/água

Fig. 8. Circuito primário onde se encontram os permutadores para a interface com os processos (na base da imagem encontra-se o permutador óleo/água e no cimo o gerador de vapor).

#### Instrumentação, Monitorização e Controlo

Pretende-se que sistemas deste tipo correspondam aos consumos energéticos conforme a disponibilidade de energia solar no momento ou posteriormente armazenada, mediante um sistema de monitorização e controlo automáticos, não havendo a necessidade de um operador a tempo inteiro, o que diminui as necessidades e custos de operação.

Optou-se por empregar um sistema de controlo distribuído, utilizando um PLC como interface com os processos e equipamentos (como a bomba de circulação e as válvulas de controlo) utilizando para tal informações recolhidas por sinal de sensores como as sondas de temperatura e caudalímetro. Isto permite garantir uma gestão de fluxos de energia e do próprio sistema de uma forma autónoma. Operar com apenas uma parte do campo solar focado é possível bem como carregar o depósito de PCM's enquanto se entrega calor aos processos.

Um ponto importante, para além dos modos de operação esperados, são os modos de segurança (como falha de energia, falta de caudal, temperaturas excessivas, etc.). Foi também instalado um sistema de apoio elétrico (UPS), para que, aquando de uma falha de energia elétrica, todo o sistema SHIP seja colocado em segurança. Um dos modos de segurança está associado ao campo solar, onde através de placas eletrónicas instaladas em cada um dos módulos, existindo sensores de temperatura em cada um deles, é possível acionar de forma automática o mecanismo de anti-estagnação, prevenindo que os coletores e o próprio circuito/sistema entrem em sobreaquecimento.

Um sistema HMI servindo como interface de monitorização e controlo do sistema SCADA do sistema SHIP encontra-se instalado junto aos principais subsistemas no piso técnico da unidade industrial.

Para além destes mecanismos de automação, existem diversos sensores analógicos localizados em vários pontos do circuito para monitorizar e identificar, no próprio local, comportamentos anómalos e contribuir para uma rápida e eficaz resolução de problemas.

#### Modos de Operação

A forma como o circuito hidráulico foi desenhado, permite várias estratégias e modos de operação, aumentando a flexibilidade do sistema SHIP face à demanda de energia por parte dos processos:

- Arranque (efetua um *bypass* aos reservatórios de armazenamento e aos processos);
- Processo 1- Geração de vapor (utilização direta da energia solar captada na geração de vapor para o processo 1);
- Processo 2- Aquecimento da água (utilização direta da energia solar captada no aquecimento da água quente para o processo 2);
- Processo 1 para o Processo 2 (utilização do calor remanescente do processo 1 para colmatar as necessidades térmicas do processo 2);
- Carga do PCM (carga do tanque de armazenamento de calor latente por via solar);

- Descarga PCM (descarga do tanque de PCM, direcionada para o processo 1 e/ou processo 2).
- Proteção de sobreaquecimento (quando a temperatura à saída do campo é superior a 180 °C);
- Segurança (como avaria da bomba e/ou de outro equipamento).

#### CONCLUSÕES/COMENTÁRIOS FINAIS

Com o projeto SHIP pretendeu-se demonstrar a viabilidade da utilização da energia solar em processos industriais, em particular na gama da média temperatura, contribuindo assim para os objetivos de descarbonização do sector industrial.

Um ponto importante a salientar é o facto de o sistema ter sido instalado numa indústria já existente e em operação. A forma como este foi concebido e instalado permite que os processos industriais, não sejam comprometidos, desde a fase de instalação, passando pela fase de comissionamento e testes. Isto porque o sistema foi instalado em paralelo aos sistemas anteriormente presentes, mantendo de forma essencial e redundante os já existentes sistemas de produção de energia, funcionando como apoio na operação do sistema. Enquanto o sistema tiver energia para fornecer aos processos, permitirá uma redução da fatura energética da empresa, sendo atualmente eletricidade comprada diretamente à rede elétrica.

O sistema encontra-se atualmente em fase final de testes de comissionamento não existindo dados de operação que possam ser partilhados de momento.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer aos participantes do consórcio constituído pelas empresas MCG - *mind for metal*, Oncontrol Technologies, Lda. e KEMET Electronics Portugal, SA. e pelo INEGI – Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial. Este projeto foi financiado no âmbito do FEDER/COMPETE 2020. Parte do desenvolvimento do coletor e ensaios experimentais foram realizados com o apoio do WP3 do projeto INSHIP (H2020, GA. 731287).

#### REFERÊNCIAS

Weiss, W., Spörk-Dür, M. (2019). Solar Heat Worldwide - Global Market Development and Trends in 2018, Áustria

Consórcio SHIP – MCG mind for metal, KEMET Electronics Portugal, OnControl Technologies, Universidade de Évora e INEGI (2019). Projeto SHIP – Solar Heat for Industrial Processes. *Renováveis Magazine*, N°38, p.24-26

Osório, T., Pereira, R., Coelho, A., Marchã, J., Pereira, J., Silva, R., Eusébio, T., Collares-Pereira, M. (2019). A novel quasi-stationary CPC-type solar collector for intermediate temperature range applications for process heat: Simulation and experimental results. *AIP Conference Proceedings* 2126, 150006