

**COLETORES SOLARES TÉRMICOS – EVOLUÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO APÓS DIFERENTES PERÍODOS DE EXPOSIÇÃO EM AMBIENTES COM DISTINTAS CORROSIVIDADES****Carvalho M.J.\*, Páscoa S.\*, Mexa N., Gonçalves R.\*, Correia J.\*, Gano A.J.\*, Diamantino T.C.\***

\* Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Estrada do Paço do Lumiar 22, Lisboa 1649-038, Portugal,  
[mjoao.carvalho@lneg.pt](mailto:mjoao.carvalho@lneg.pt)

<https://doi.org/10.34637/cies2020.1.2023>

## RESUMO

Os coletores solares térmicos devem estar preparados para suportar condições ambientais adversas, como temperatura, humidade e irradiância ultravioleta elevada ou cargas de vento e neve, mas também outras influências, como os níveis de contaminantes como cloretos, dióxido de enxofre e óxidos de azoto, dependendo da localização geográfica. Num trabalho que se desenvolve desde 2012, têm sido estudados os efeitos destes contaminantes existentes no ambiente exterior e a sua penetração no interior dos coletores, assim como a evolução do comportamento térmico dos coletores quando expostos por períodos prolongados em ambientes com diferentes corrosividades. Neste trabalho apresentam-se os resultados para um período de três e cinco anos em dois locais com distintas corrosividades, Sines e Lisboa, observando-se que locais como Sines com um ambiente marítimo industrial tem impacto no comportamento térmico dos coletores expostos.

PALAVRAS-CHAVE: Coletores solares térmicos, Corrosividade, Comportamento térmico

## ABSTRACT

Solar thermal collectors must be prepared to withstand adverse environmental conditions, such as temperature, humidity and high ultraviolet irradiance or wind and snow loads, but also other influences, such as the levels of contaminants such as chlorides, sulfur dioxide and nitrogen oxides, depending on the geographical location. In a work that has been carried out since 2012, the effects of these contaminants existing in the environment and their penetration inside the collectors have been studied, as well as, the evolution of the thermal behavior of the collectors when exposed for prolonged periods in environments with different corrosivity. This work presents the results for a period of three and five years in two locations with different corrosivity, Sines and Lisbon, observing that places like Sines with an industrial maritime environment have an impact on the thermal behavior of the exposed collectors.

KEYWORDS: Solar Thermal Collectors, Corrosivity, Thermal performance

## INTRODUÇÃO

Os coletores solares térmicos (STC – *Solar Thermal Collectors*) devem estar preparados para suportar condições ambientais adversas, como temperatura, humidade e irradiância ultravioleta elevada e/ou cargas de vento e neve, dependendo da localização geográfica. A literatura aponta para a dependência de outras influências, como as condições predominantes do vento, contaminantes como cloretos, dióxido de enxofre e óxidos de azoto para além da irradiância, humidade e precipitação (Köhl et al., 2004; Slamova et al., 2016).

Para a certificação de coletores solares térmicos (por exemplo, Solar Keymark, SRCC), os requisitos considerados estão definidos com base nos ensaios da norma ISO 9806:2017 e permitem verificar a resistência dos coletores às condições adversas mais comuns quando os coletores estão em uso. Estes ensaios não permitem determinar a durabilidade do coletor a longo prazo.

Para estudar os aspetos de durabilidade dos coletores, o LNEG, através do Laboratório de Energia Solar (LES) e do Laboratório de Materiais e Revestimentos (LMR), tem desenvolvido trabalho suportado pelos projetos DURASOL (2013-2017) e LIFESOLAR (2016-2020).

Num trabalho anterior foram apresentados resultados para os coletores com absorvedor em alumínio e utilizando revestimentos seletivos distintos (mirotherm® e Eta plus ®) (Carvalho et al. (2017). Neste trabalho é analisado o comportamento térmico de coletores em cobre com revestimento seletivo mirotherm ® após cerca de dois anos e meio e cinco anos de exposição em ambiente natural com distintas corrosividades.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Coletores Solares Térmicos

Este trabalho foca-se apenas nos coletores solares térmicos (CST) do tipo coletor plano. Na Tabela 1 apresentam-se as características genéricas dos coletores que têm sido objeto de estudos nos projetos DURASOL (2013-2017) e LIFESOLAR (2016-2020)

Tabela 1. Principais características dos coletores solares

Referência	Principais características do coletor
A *	Absorvedor em Alumínio com revestimento PVD (mirotherm ®); Caixa em alumínio.
B **	Absorvedor em Cobre com revestimento PVD (mirotherm ®); Caixa em alumínio.
C *	Absorvedor em Alumínio com revestimento PVD (Eta plus ®); Caixa em alumínio.
D *	Absorvedor em Cobre com revestimento de tinta seletiva (SUNCOLOR TS S Black); Caixa em aço inox.

\* 1 réplica (coletor) com amostras de zinco (material de referência para avaliação da corrosividade) (exposição 2014-2016)

\*\* 1 réplica com amostras de aço carbono, cobre, zinco e alumínio (materiais de referência para avaliação da corrosividade) (exposição 2017-2019)

Num trabalho anterior foram apresentados resultados para coletores com absorvedor em alumínio (Carvalho, et al. 2017) e neste trabalho apresentam-se os resultados para um coletor com absorvedor em cobre.

### Caracterização das Estações de Ensaio de Exposição Natural

Foram utilizadas duas estações de ensaio de exposição natural (OET – *outdoor exposure testing site*) (ver Fig. 1) com distintas categoriais de corrosividade, uma estação de exposição natural em ambiente urbano com corrosividade média (C2-C3) e uma estação de exposição natural em ambiente marítimo e industrial com corrosividade muito alta/extrema (C5-CX).

A caracterização destas OETs foi divulgada em trabalhos anteriores (Diamantino et al. 2017; A. García-Segura et al. 2019), sendo neste trabalho atualizada tendo em conta o período de exposição dos referidos coletores, tanto ao nível dos parâmetros climáticos, como dos contaminantes e da corrosividade, tendo por base a utilização de 4 materiais de referência (aço carbono, cobre, zinco e alumínio). Estas OETs estão também reconhecidas pela *European Coil Coating Association* (ECCA) como estações de referência: <https://www.prepaintedmetal.eu/890/sites>

As categoriais de corrosividade atmosférica destas OETs foram obtidas com base na avaliação da velocidade de corrosão das amostras de referência (aço carbono, zinco, cobre e alumínio) de acordo com a norma ISO 9226:2012. Foram usadas sempre três (3) réplicas e foram expostas em bancos de ensaio com um sistema de fixação cerâmico e parafusos plásticos num plano com uma inclinação de 45° orientado a Sul. Após exposição, os produtos de corrosão de cada material de referência foram removidos de acordo com a norma ISO 8407:2009 e a velocidade de corrosão foi determinada de acordo com a norma ISO 9226:2012.



Fig. 1. Estações de exposição natural – Urbana (Lisboa) (esquerda); Marítima/Industrial (Sines) (direita).

#### Avaliação da Corrosividade e dos Contaminantes Atmosféricos no Interior dos Coletores

Esta caracterização foi efetuada anteriormente apenas para o material de referência zinco e os resultados foram apresentados em (Carvalho et al. 2017).

São apresentados os resultados da caracterização da corrosividade no interior dos coletores com base em quatro materiais de referência (aço carbono, cobre, zinco e alumínio) e dos contaminantes atmosféricos depositados na superfície dos absorvedores, de temperatura e de humidade relativa. Os materiais de referência foram colocados no espaço entre a cobertura e a superfície absorvedora, garantindo a inexistência de qualquer contacto metálico. A avaliação da corrosividade seguiu o mesmo procedimento descrito anteriormente para as OETs, Esta metodologia permite avaliar a categoria de corrosividade do ambiente no interior do coletor.

A recolha dos contaminantes foi efetuada pelo Método Bresle (ISO 8502-6:2006). As análises foram efetuadas por cromatografia iónica. Esta caracterização foi apenas efetuada para a OET de Sines e o coletor com os materiais de referência pode ver-se na Fig. 2.



Fig. 2. Coletor B, exposto em Sines onde são visíveis as réplicas dos quatro materiais de referência.

#### Evolução do Comportamento Térmico dos Coletores

São também apresentados os resultados da evolução do comportamento térmico de coletores para períodos de exposição de cerca de dois anos e meio e 5 anos.

Para o coletor com materiais de referência, após medida do comportamento térmico, procedeu-se ao desmantelamento para a análise dos materiais de referência, nível de contaminantes e medida das propriedades óticas do absorvedor, permitindo relacionar o impacto da degradação do absorvedor com a alteração do comportamento térmico do coletor e as características do ambiente interior e exterior em que esteve instalado.

A caracterização das OET foi efetuada em trabalhos anteriores em que se apresentaram os valores de corrosividade para um ano (Diamantino et al. 2017) e alguns resultados de evolução do comportamento térmico para períodos até dois anos (Carvalho et al. 2017).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Resultados da Caracterização das Estações de Ensaio de Exposição Natural

Esta caracterização das estações foi apresentada para os períodos 2014-2015 em (Diamantino et al. 2017) e (Carvalho et al. 2017). Na Tabela 2 apresenta-se a caracterização climática, incluindo os teores médios de cloretos e de sulfatos depositados para ambas as OETs para o período (2014-2018).

Tabela 2. Caracterização climática das duas OETs (2014-2018) (Sines e Lumiar-Lisboa)

Localização	Latitude	Longitude	Altitude	Ano	Temperatura ambiente média [°C]	Humidade relativa média [%]	Cl- [mg day <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> ]	SO <sub>2</sub> [mg day <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> ]
Sines	37.95°N	-8.88°W	17 m	2014	16.9	78.7	191.8	139.1
				2015	17.9	81.2	89.5	93.4
				2016	17.6	81.1	162.5	104.7
				2017	17.1	78.4	132.6	108.1
				2018	16.4	82.8	141.7	56.7
Lumiar Lisboa	38.77°N	-9.17°W	116 m	2014	16.6	76.9	15.4	10.8
				2015	17.2	77.6	16.9	33.0
				2016	17.2	72.8	14.7	6.7
				2017	17.9	67.8	14.4	13.6
				2018	17.8	69.6	24.5	16.6

Nas Tabelas 3 e 4 apresentam-se as velocidades de corrosão para os materiais de referência para as estações de Sines e do Lumiar-Lisboa, assim como a categoria de corrosividade correspondente de acordo com a ISO 9223:2012. Como se pode verificar a corrosividade das duas estações é diferente, sendo a do Lumiar a que apresenta maioritariamente, para todos os materiais, uma corrosividade baixa/média, enquanto que a estação de Sines oscila entre uma corrosividade muito elevada/extrema. Os teores de contaminantes são igualmente muito mais elevados em Sines do que no Lumiar-Lisboa. As temperaturas médias são relativamente semelhantes em ambas as OETs. Contudo, a humidade relativa é sempre superior em Sines.

Resultados de Corrosividade e dos Contaminantes Atmosféricos no Interior dos Coletores

Nas Tabelas 5 e 6 estão apresentados os valores da velocidade de corrosão, da corrosividade e respetiva categoria, assim como dos contaminantes relativamente ao ambiente no interior do coletor solar térmico. O interior do coletor apresenta uma corrosividade muito baixa/baixa para todos os materiais de referência. Nos resultados das análises químicas também se verificam valores baixos de cloretos, não havendo distinção entre os diferentes locais do coletor, e abaixo do limite de quantificação para os nitratos e sulfatos.

Tabela 3. Velocidades de corrosão do aço carbono, cobre, zinco e alumínio e categorias de corrosividade correspondentes na OET de Sines.

Material de referência	Aço	Cobre	Zinco	Alumínio	
Velocidade de corrosão (g m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup> )*	2014	1346.0	64.3	59.2	4,0
	2015	981.1	52.0	44.1	2.2
	2016	741.4	62.4	42.7	1.5
	2017	1187.6	78.8	52.8	1.3
	2018	477.8	36.4	32.9	0.9
Categoria de Corrosividade	2014	C5 / Muito elevada	CX / Extrema	C5 / Muito elevada	C4 / Elevada
	2015	C5 / Muito elevada	CX / Extrema	C5 / Muito elevada	C4 / Elevada
	2016	C5 / Muito elevada	CX / Extrema	C5 / Muito elevada	C3 / Média
	2017	C5 / Muito elevada	CX / Extrema	C5 / Muito elevada	C3 / Média
	2018	C4 / Elevada	C5 / Muito elevada	C5 / Muito elevada	C3 / Média

\*velocidades de corrosão expressas em grama por metro quadrado por ano

Tabela 4. Velocidades de corrosão do aço, cobre, zinco e alumínio e categorias de corrosividade correspondentes na OET do Lumiar-Lisboa.

Material de referência	Aço	Cobre	Zinco	Alumínio	
Taxa de corrosão (g m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup> )*	2014	163.3	11.5	9.9	0.3
	2015	194.4	16.8	6.7	0.2
	2016	112.3	11.9	8.5	<0.1
	2017	117.3	11.2	5.9	0.2
	2018	126.3	10.6	6.7	0.1
Categoria/Corrosividade	2014	C2 / Baixa	C3 / Média	C3 / Média	C2 / Baixa
	2015	C2 / Baixa	C4 / Alta	C3 / Média	C2 / Baixa
	2016	C2 / Baixa	C3 / Média	C3 / Média	C1 / Muito baixa
	2017	C2 / Baixa	C3 / Média	C3 / Média	C2 / Baixa
	2018	C2 / Baixa	C3 / Média	C3 / Média	C2 / Baixa

\*velocidades de corrosão expressos em grama por metro quadrado por ano

Tabela 5. Velocidades de corrosão do aço, cobre, zinco e alumínio e categorias de corrosividade correspondentes no interior do coletor.

Material de referência	Aço	Cobre	Zinco	Alumínio
Velocidade de corrosão (g m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup> )* (Desvio Padrão)	1.94 (1.08)	1.33 (0.39)	2.75 (0.31)	0.49
Categoria /Corrosividade de acordo com a ISO 9223:2012	C1 / Muito baixa	C2 / Baixa	C2 / Baixa	C2 / Baixa

\*velocidades de corrosão expressas em grama por metro quadrado por ano;

Tabela 6. Teor de cloretos, nitratos e sulfatos no interior do coletor após exposição em Sines durante 2 anos

Coletor	Posição no coletor	Cloretos (mg L <sup>-1</sup> )	Nitratos (mg L <sup>-1</sup> )	Sulfatos (mg L <sup>-1</sup> )
B	1	1.0	<1 (LQ)	<1 (LQ)
	2	1.0	<1 (LQ)	<1 (LQ)
	3	1.0	<1 (LQ)	<1 (LQ)

LQ – Limite de quantificação do método

Dos resultados publicados por Carvalho et al. (2016 e 2017) relativos à corrosividade para o zinco no interior de coletores verificou-se extrema corrosividade (Categoria CX) dentro dos coletores A e C e uma corrosividade baixa para o coletor D, coletores estes expostos na estação de ensaio de Sines durante cerca de 2 anos. Estas diferenças da corrosividade existente no interior dos diferentes coletores foram justificadas pelos diferentes sistemas de ventilação e as diferentes condições de temperatura e de períodos de condensação verificados. Nesses trabalhos também ficou patente, através da realização de análises químicas na superfície do revestimento absorvor, e após o desmantelamento dos coletores, que a concentração de cloretos e sulfatos é diferente de coletor para coletor, sendo sempre, para todos eles, maior na base do que no topo, o que não se verifica neste trabalho.

Slamova et al. (2016) efetuaram um estudo similar ao apresentado neste trabalho ao nível das velocidade de corrosão dos materiais de referência na atmosfera e no interior do coletor, onde também foi exposto um coletor num ambiente exterior de elevada corrosividade atmosférica nas Ilhas Canárias (Pozo Izquierdo) tendo sido obtidas no exterior categorias de corrosividade C5 (muito elevada) para o aço carbono, >CX (> extrema) para o cobre e zinco e de C5 (muito elevada) para o alumínio. No interior do coletor e após exposição, estes autores obtiveram para estes mesmos materiais as seguintes categorias de corrosividade: C1 (baixa) para o aço carbono e para o cobre, C4 (elevada) para o Zinco e C3 (média) para o alumínio.

#### Resultados de Medida de Propriedades Óticas do Absorvor

O coletor com materiais de referência foi desmantelado e foram retiradas amostras do absorvor para medida das propriedades óticas que se apresentam na Tabela 7 onde também é indicado o valor inicial das propriedades óticas do absorvor medidas em amostras fornecidas pela fabricante.

Tabela 7. Propriedades óticas do absorsor para o coletor S-B3 (lote 2017) \*\*

		$\alpha$ (média de amostras)	$\sigma_\alpha$ (desvio-padrão)	$\varepsilon$ (média das amostras)	$\sigma_\varepsilon$ (desvio-padrão)
Valor inicial		0.94	0.00(2)	0.09	0.00(6)
Localização das Amostras	Base	0.93	0.00(3)	0.19	0.03(4)
	Topo	0.93	0.00(3)	0.20	0.03(7)
	Lateral	0.93	0.00(1)	0.15	0.01(0)

\*\*1 réplica com amostras de aço, cobre, zinco e alumínio (materiais de referência) (exposição entre 2017 e 2019)

### Resultados da Evolução do Comportamento Térmico dos Coletores

Pelo menos um coletor de cada referência foi ensaiado para a determinação de comportamento térmico antes da exposição nas estações de Sines e Lumiar-Lisboa. Os resultados após dois anos de exposição para os coletores A, C e D foram apresentados em (Carvalho, et al. 2017). Na Tabela 8 sistematiza-se o período de exposição dos resultados agora disponíveis que se focam no coletor B com absorsor em cobre com revestimento PVD (mirotherm®) e caixa em alumínio. Todos os coletores foram ensaiados para determinação de rendimento após exposição e comparados com o resultado do ensaio de um coletor do lote de 2017 mantido no Laboratório que não foi sujeito a exposição.

Tabela 8. Datas de exposição dos coletores em Sines e no Lumiar-Lisboa

Local exposição (referência)	Início exposição	Fim exposição	Período de exposição (meses/anos)	Potência de um coletor - Diferença média 0-80K
Sines (S-B5(lote 2014))	11-04-2014	09-05-2019	61 meses 5 anos	-4.0%
Sines (S-B3 (lote 2017)) **	28-04-2017	9-5-2019	33 meses 2.8 anos	-3.4%
Lumiar-Lisboa (L-B5(lote 2014))	23-06-2014	19-8-2019	63 meses 5.2 anos	3.1%
Lumiar-Lisboa (L-B3(lote 2017))	17-7-2017	04-11-2019	30 meses 2.5 anos	3.9%

\*\*1 replica com amostras de aço, cobre, zinco e alumínio (material de referência (exposição entre 2017 e 2019)

Na Fig. 3 podem ver-se fotografias dos coletores após a exposição em Sines e Lisboa-Lumiar para 2.5 e 5 anos. A observação visual dos coletores mostra a existência de manchas no absorsor do coletor exposto em Sines durante 5 anos (Fig.3b), nos cantos superior esquerdo e inferior direito. Nos coletores expostos em Lisboa quer para dois anos e meio (Fig. 3c) e cinco anos (Fig. 3d) não é possível identificar visualmente danos no absorsor ou cobertura transparente.



Fig. 3a. Sines – 2.8 anos

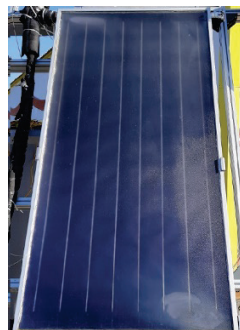


Fig. 3b. Sines – 5 anos



Fig. 3c. Lisboa – 2.5 anos



Fig. 3d. Lisboa – 5 anos

Faz-se uma comparação relativa à potência térmica de um coletor (Tabela 8) e uma comparação relativa à energia fornecida para diferentes níveis de temperatura para quatro climas de referência a nível Europeu (Tabela 9).

Nas Fig. 4a) e b) representam-se as curvas de potência dos coletores que estiveram em exposição em Sines por 2.5 e 5 anos respetivamente. Nas Fig. 5a) e b) representam-se as curvas de potência dos coletores que estiveram em

exposição no Lumiar-Lisboa por 2.5 e 5 anos respetivamente. Deve notar-se a réplica do ponto inicial é distinta das réplicas que estiveram expostas.

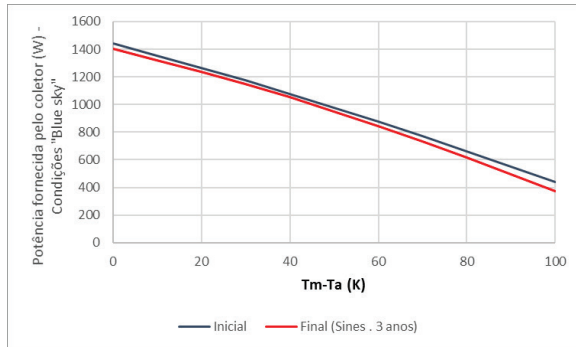


Fig. 4a. – Sines – 2.8 anos

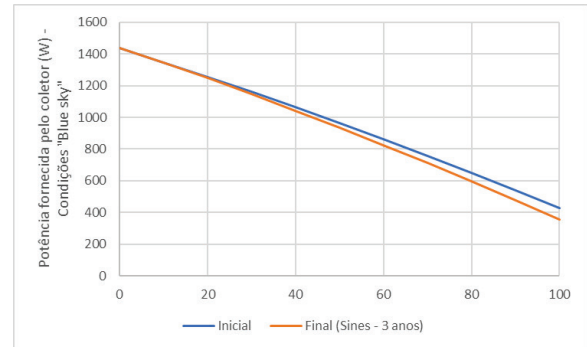


Fig. 4b. Sines – 5 anos

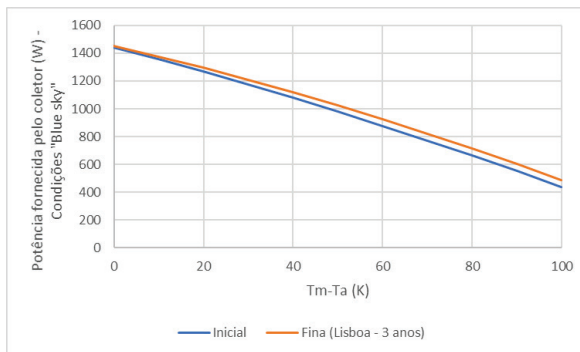


Fig. 5a. Lisboa – 2.5 anos

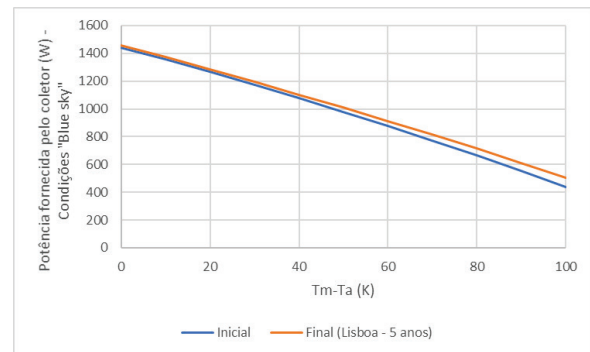


Fig. 5b. Lisboa – 5 anos

Na Tabela 9 apresentam-se as diferenças observadas para o valores de energia média anual para três temperaturas e para quatro climas de referência.

Tabela 9. Comparação de comportamento térmico a longo prazo para quatro climas de referência.

	Atenas			Davos		
Tm (°C)	25	50	70	25	50	70
S-B5	-0.3	-4.2	-9.1	-2.4	-6.3	-12.0
S-B3 **	-3.1	-2.2	-3.6	-2.3	-2.5	-5.4
L-B5	1.4	2.8	6.2	2.2	4.6	10.0
L-B3	2.3	6.6	10.9	4.6	8.3	12.7
	Estocolmo			Wurzburg		
Tm (°C)	25	50	70	25	50	70
S-B5	-1.9	-6.1	-11.4	-1.7	-6.1	-11.4
S-B3 **	-2.4	-2.2	-4.4	-2.6	-2.2	-4.4
L-B5	2.0	4.1	8.3	1.5	3.6	8.3
L-B3	4.2	8.4	12.1	3.9	8.5	12.9

A curva de potência medida para os coletores expostos em Lisboa apresenta valores ligeiramente superiores aos valores do ponto de referência inicial. Nos valores de comportamento térmico a longo prazo podemos observar para Lisboa também valores ligeiramente superiores aos do coletor considerado para referência. Estes resultados estão de acordo com a observação visual dos coletores (ver Fig. 3 c) e d)).

As curvas de potência para os coletores expostos em Sines apresentam um decréscimo consistente sempre mais acentuado para o período de 5 anos que se reflete igualmente nos valores de comportamento térmico a longo prazo e que também são concordantes com a observação visual dos mesmos.

### CONCLUSÕES

Dos resultados publicados (Carvalho, et al. 2016-2017; Slamova et al., 2016) e dos apresentados neste trabalho no que se refere à corrosividade atmosférica, aos contaminantes e à corrosividade no interior dos coletores podemos concluir que:

- 1) O ambiente interior de cada tipo de coletor é diferente, verificando-se diferentes microclimas, o que resulta, para coletores expostos no mesmo ambiente exterior, diferentes ambientes e corrosividades no interior dos coletores, assim como diferentes concentrações de contaminantes depositados nas superfícies absorvedoras.
- 2) A agressividade do ambiente no interior do coletor e a sua corrosividade estão mais relacionadas com os sistemas de ventilação/estanquicidade e com a construção dos coletores do que propriamente com a corrosividade dos ambientes exteriores no qual estão expostos.

No trabalho publicado anteriormente (M.J. Carvalho et al., 2017) em que se apresentaram resultados de evolução de comportamento térmico dos coletores expostos para um período de 2 anos, as diferenças de comportamento observadas para os coletores de tipo A e C apresentavam já alguma redução relativamente ao valor inicial e esta redução era mais acentuada no coletor C do que no coletor A, resultado que estava de acordo com a observação visual do estado dos referidos coletores.

O coletor agora estudado apresenta diferenças relativamente à potência e também ao comportamento a longo prazo indicando um decréscimo do comportamento térmico no caso dos coletores expostos em Sines. Esse decréscimo não é observado em Lisboa. As propriedades óticas medidas nos coletores expostos em Sines apontam uma muito ligeira redução da absorvância e um aumento da emissividade o que está coerente com o comportamento das curvas de potência que, para uma diferença de temperatura de 0K quase não apresenta diferenças, aumentando essa diferença com a temperatura. Em trabalho futuro se avaliará por modelação se a alteração ligeira observada nas propriedades óticas pode explicar de forma completa a diferença observada no comportamento térmico. Concluiu-se que o ambiente de maior corrosividade observado em Sines apresenta impacto no comportamento térmico do coletor.

#### AGRADECIMENTOS

Este trabalho é resultado do projeto FCOMP-01-0124-FEDER-027507 (Ref<sup>a</sup> FCT RECI / EMS-ENE / 0170/2012) apoiado pelo Programa de Competitividade Operacional (COMPETE) através do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) e apoiado por FCT- Fundação para a Ciência e a Tecnologia, IP através dos Fundos Nacionais e do projeto POCI-01-0145-FEDER-016709 (Ref<sup>a</sup> FCT PTDC / EMS-ENE / 0578/2014) apoiado pelo COMPETE 2020 e LISBOA 2020 no âmbito do Acordo de Parceria PORTUGAL 2020 através do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) e apoiado pela FCT através dos Fundos Nacionais.

Os autores gostariam de agradecer aos parceiros industriais (FogãoSol, Hempel, OpenPlus e Permasolaris), pelo fornecimento de amostras e pelos meios para realizar este trabalho.

#### REFERENCIAS

Köhl, M., B. Carlsson, G.J. Jorgensen, A.W. Czanderna (Eds.) (1991) *Performance and Durability Assessment. Optical Materials for Solar Thermal Systems*, Elsevier, Oxford.

Slamova, K., Duerr, I., Kaltenbach, T., Köhl, M. (2016) Degradation effects of maritime atmosphere on metallic components of solar collectors. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 147, 246–254

Carvalho M. J., Páscoa S., Gonçalves R., Mexa N., Diamantino T. C. (2016) Influence of maritime/industrial atmosphere on solar thermal collector's degradation. *EuroSun 2016 / ISES Conference Proceedings*, Palma, Spain. doi:10.18086/eurosun.2016.07.04

Carvalho M.J., Páscoa S., Mexa N., Gonçalves R., Correia J., Gano A., Diamantino T.C. (2017) Solar thermal collector's degradation – influence of corrosivity inside and outside the collectors, *Proceedings of Solar Heating and Cooling Congress*, Abu Dhabi doi: :10.18086/swc.2017.19.02.

Páscoa S., Carvalho M. J., Diamantino T. C. (2016) Assessment of Durability of Solar Absorbers - Performance Criterion, *Proceedings of Eurosun 2018*, Raperswill, doi: 10.18086/eurosun2018.10.08

Diamantino, T. C., Gonçalves, R., Nunes, A., Páscoa, S., Carvalho, M. J. (2017). Durability of different selective solar absorber coatings in environments with different corrosivity. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 166, 27–38 <http://dx.doi.org/10.1016/j.solmat.2017.03.004>

García-Segura, A., Fernández-García, A., Ariza, M.J., Sutter, F., Diamantino, T.C., Martínez-Arcos, L., Reche-Navarro, T.J., Valenzuela, L., 2019. Influence of gaseous pollutants and their synergistic effects on the aging of reflector materials for concentrating solar thermal technologies. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 200, 109955. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2019.109955>