

novos serviços laboratoriais de suporte na otimização de coletores solares térmicos

PROJETO LIFESOLAR – 2.^a Parte

Soraia Páscoa¹, Teresa C. Diamantino², Maria João Carvalho³
¹soraia.pascoa@lneg.pt; ²teresa.diamantino@lneg.pt; ³mjoao.carvalho@lneg.pt
 LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia, IP

3.3. Exemplos de utilização

3.3.1. Resultados CharaColl versus resultados de ensaio em laboratório

Para avaliar a qualidade da aplicação CharaColl na estimativa do desempenho de coletores solares térmicos, consideraram-se os valores dos coeficientes de desempenho térmico η_0 (-), a_1 ($Wm^{-2}K^{-1}$) e a_2 ($Wm^{-2}K^{-2}$) obtidos com a aplicação e determinaram-se as respetivas curvas de potência de acordo com a equação 5 considerando $K_b(\theta_L, \theta_T) = 1$, i.e. incidência normal, para as condições de referência da norma ISO 9806:2017 que se apresentam de forma resumida na Tabela 2.

Para a determinação, na aplicação CharaColl, dos parâmetros de desempenho do coletor, foram adotados e fixados valores típicos de acordo com D.E. Roberts (2013), para as propriedades dos materiais utilizados num coletor (ver Tabela 3).

As curvas de potência foram também determinadas com base nos resultados de ensaios realizados de acordo com a Norma ISO 9806:2017.

A avaliação da qualidade das estimativas baseia-se na comparação das curvas de potência obtidas com base nos resultados da aplicação CharaColl com os resultados do ensaio em Laboratório.

Numa primeira fase, três coletores planos distintos serviram para avaliar a qualidade das estimativas da aplicação: dois coletores do mesmo fornecedor cuja diferença residia no absorvedor; um de cobre e outro de alumínio; um terceiro coletor com uma construção já ligeiramente diferente e com um absorvedor de alumínio e cobertura com revestimento antirreflexo. Considerando as características dimensionais de cada coletor e valores típicos para as grandezas que caracterizam o comportamento térmico dos materiais que integram os coletores, a aproximação aos resultados experimentais está dependente do grau de conhecimento das características e dos materiais utilizados em cada coletor.

Considerou-se para a exemplificação de resultados um destes três coletores, que contém um absorvedor de cobre com revestimento PVD

Condições climáticas	“Blue sky”	“Hazy sky”	“Grey sky”
G _b	850 W/m ²	440 W/m ₂	0 W/m ²
G _d	150 W/m ²	260 W/m ²	400 W/m ²
θ _a	20°C	20°C	20°C

Tabela 2 Condições de referência para o cálculo de valores de potência de um coletor para incidência normal.

(mirotherm[®]) e possui uma caixa de alumínio. Este coletor esteve exposto numa das estações de ensaio atmosférica do LNEG, nomeadamente na estação de Sines, caracterizada pelo ambiente marítimo e industrial com corrosividade muito alta/extrema (C5-CX). Este coletor foi ensaiado para determinação do comportamento térmico antes e após um período de exposição de cerca de dois anos e meio, tendo sido desmontado no final por forma a ser possível analisar o impacto das condições atmosféricas nos principais componentes do coletor.

	Valor (*valor real)	Unidade
A _c	2.164*	m ²
G _{hem}	800	W/m ²
T _{amb}	293.15	K
T _m	288.15	K
X	-0.0063	K/W.m ²
m	0.02	Kg/s
V	2	m/s
C _p	4190	J/Kg.K
σ	5.6704x10 ⁻⁸	W/m ² .K ⁴
δ	0.0002	m
h ₀	3.07	W/m ² .K
h ₁	0.0096	W/m ² .K ²
k _c	385	W/m ² .K
τ	0.885	
C _b	100	W/m.K
h ₂	6.9	W/m ² .K
h ₃	3.87	W/m ² .s.K
D	0.008*	m
W	0.125*	m
h _n	250	W/m ² .K
L ₀	0.05	m
k _b	0.035	W/m.K
h _b	0.7	W/m ² .K

Tabela 3 Parâmetros fixos referentes às características dimensionais e propriedades dos materiais considerados nas simulações efetuadas na aplicação CharaColl (valores com * correspondem ao valor dimensional real do coletor).

A simulação teve como ponto de partida um ponto inicial o mais próximo possível do determinado no ensaio de rendimento, tendo em consideração a adoção de valores típicos para um conjunto de parâmetros necessários ao cálculo dos coeficientes de desempenho térmico e que estão indicados na **Tabela 3**. Para as propriedades óticas do absorsor consideraram-se para valores iniciais os valores medidos em amostras do absorsor disponibilizadas pelo fabricante e que estão indicadas na **Tabela 4**.

A comparação dos valores de potência com base na aplicação *CharaColl* e no ensaio de rendimento é apresentada na primeira linha da **Tabela 5** considerando a diferença em percentagem calculada de acordo com:

$$\Delta = \frac{(P_{\text{Ensaio inicial}} - P_{\text{CharColl}})}{P_{\text{Ensaio inicial}}} \times 100\% \quad (6)$$

Verifica-se que existe uma boa aproximação dos valores de potência para valores menores ou iguais a 30K e que as diferenças se acentuam para valores superiores especialmente para as condições de referência “Grey Sky” correspondentes a valores de radiação incidente muito baixos. Este

	Inicial	σ (desvio-padrão)	Após 2 anos de exposição	σ (desvio-padrão)
α	0,94	0,00(2)	0,93	0,00(1)
ϵ	0,09	0,00(6)	0,15	0,01(0)

Tabela 4 Propriedades óticas do absorsor antes e após dois anos em exposição natural na estação atmosférica de Sines.

resultado mostra que são os valores que descrevem as perdas térmicas do coletor que necessitam de um melhor ajuste relativamente ao comportamento real do coletor. Para redução destas diferenças seria necessário adequar os valores das propriedades dos materiais a valores mais próximos do seu comportamento real.

Adicionalmente foi feita uma comparação dos valores de degradação do desempenho térmico do coletor comparando a diferença percentual da potência do coletor para o seu estado inicial (PI) e final (PF) de acordo com a seguinte equação:

$$\Delta = \frac{(PF - PI)}{PI} \times 100\% \quad (7)$$

Utilizaram-se os valores dos parâmetros característicos do desempenho do coletor medidos nos ensaios de rendimento e os parâmetros característicos determinados com a aplicação *CharaColl* (**Equação 1**) para um ponto inicial e final considerando apenas a alteração das propriedades óticas do absorsor (ver **Tabela 4**). Os restantes parâmetros permaneceram fixos relativamente ao ponto inicial. Para os cálculos efetuados com a aplicação utilizou-se o modificador do ângulo de incidência (*IAM – Incidence angle modifier*) medido no ensaio para o ponto inicial e final respetivamente. O ponto final corresponde ao estado do coletor após um período de dois anos e meio de exposição.

A diferença percentual dos valores de potência entre o ponto inicial e final aumenta com o aumento da temperatura média de funcionamento do coletor, quer na situação real, isto é, para os valores medidos no ensaio, quer quando os valores de potência são determinados com base na

PUB.

O FORNECEDOR DE ESTRUTURAS DE FIXAÇÃO PARA FOTOVOLTAICO

FLATFIX

TELHADO PLANO

FlatFix Wave
FlatFix Fusion

CLICKFIT EVO

TELHADO INCLINADO

ClickFit EVO Ondulados
ClickFit EVO Sandwich
ClickFit EVO Telha

RÁPIDO | FIÁVEL | INOVADOR

Sales Manager Portugal | Tiago Antunes | M 00351 964 104 113

	Blue sky (θm-θa)					
	0	10	30	50	70	Média (0-70K)
Δ Ensaio vs CharaColl (PI)	-1.3	-2.1	-3.9	-6.5	-10.3	-4.8
Δ Degradação (Ensaio)	-0.9	-2.1	-5.6	-11.5	-21.8	-8.4
Δ Degradação (CharaColl)	-2.6	-3.1	-4.4	-6.2	-8.9	-5
	Hazy sky (θm-θa)					
	0	10	30	50	70	Média (0-70K)
Δ Ensaio vs CharaColl (PI)	-1	-2.1	-5.2	-10.4	-21.4	-8
Δ Degradação (Ensaio)	-0.4	-2.1	-7.8	-19.6	-47.8	-15.5
Δ Degradação (CharaColl)	-2.1	-2.8	-4.8	-8.2	-14.8	-6.5
	Grey sky (θm-θa)					
	0	10	30	50	70	Média (0-70K)
Δ Ensaio vs CharaColl (PI)	-0.1	-2.2	-10.8	-59.7	-	-18.2
Δ Degradação (Ensaio)	1.3	-1.9	-17.5	-	-	-29.5
Δ Degradação (CharaColl)	-0.5	-1.8	-6.5	-24.8	-	-8.4

Tabela 5 Diferença média de potência do coletor considerando os pontos iniciais e finais resultantes do ensaio de rendimento e de simulações.

aplicação CharaColl, mas neste caso esta diferença é menos acentuada do que quando se realiza o ensaio real. Também aqui se percebe que os valores típicos considerados (Tabela 3) necessitam ser afetados por valores adequados de degradação de outros componentes que não apenas as características óticas do absorvedor para descrever de forma mais aproximada a degradação do desempenho térmico do coletor;

O absorvedor é, por si só, um dos principais componentes com impacto na alteração do comportamento térmico do coletor. Contudo, os restantes parâmetros considerados fixos e que dizem respeito aos restantes componentes que, na realidade, são também suscetíveis a uma degradação originada por condições ambientais adversas para além dos efeitos de maior ou menor estanquicidade do coletor; efeito que não é possível reproduzir com o modelo aqui adotado.

3.3.2. Utilização da aplicação na análise dos efeitos da degradação dos componentes de um coletor solar térmico

Qualquer coletor solar térmico apresenta degradação do seu comportamento térmico durante o seu tempo de vida útil. Atendendo à forma como o tempo de vida dos componentes-chave condiciona a viabilidade económica destes sistemas, torna-se relevante proceder à avaliação da durabilidade destes produtos e do estado dos diversos componentes e materiais e respetivo impacto no comportamento térmico do coletor. A aplicação CharaColl pode ser utilizada para este propósito através de simulações que permitem estimar os efeitos da degradação dos componentes de um coletor no seu comportamento térmico, tendo em consideração um determinado ponto de partida.

O absorvedor é o componente do coletor que transforma a energia recebida em calor, que por sua vez é transferido para o fluido que circula na tubagem. A temperatura atingida pelo absorvedor resultará do balanço entre a energia absorvida da radiação solar e as perdas térmicas. Trata-se de um componente-chave que deve apresentar as melhores condições possíveis ao nível da capacidade de absorção e da redução de perdas, ou seja, apresentar um elevado coeficiente de absorvidade e um baixo coeficiente de emissividade térmica. A degradação do absorvedor traduz-se, portanto, na diminuição da absorvidade e no aumento da emissividade térmica,

contribuindo assim para uma diminuição da energia absorvida pelo absorvedor e para um aumento das perdas térmicas por radiação.

A utilização de uma cobertura transparente evita perdas por radiação, dado que permite a entrada da radiação solar e bloqueia a saída de radiação infravermelha. A cobertura constitui igualmente um obstáculo para o escoamento exterior; diminuindo as perdas por convecção. Este componente contribui, portanto, para a estanquicidade do coletor; para o aumento da temperatura do absorvedor e dos ganhos térmicos. Uma boa cobertura deverá ter um coeficiente de transmissividade reduzido ou nulo para a radiação infravermelha emitida pelo absorvedor e uma elevada transmissividade para a passagem da radiação solar para o absorvedor; o qual deverá apresentar um baixo valor de refletividade. A acumulação de sujidade na superfície externa da cobertura e a presença de condensação na superfície interna da mesma resultam na redução da transmissividade e no aumento das perdas térmicas.

A condutância térmica da alheta, na junção com o absorvedor, representa a capacidade de transferência de calor da cobertura para os tubos onde circula o fluido de transferência de calor; devendo apresentar o maior valor possível. A redução deste coeficiente e da condutividade térmica do absorvedor devem-se a mecanismos de degradação/corrosão desencadeados pela conjugação dos diferentes parâmetros como por exemplo a temperatura de funcionamento do coletor; presença de produtos de corrosão e o tipo de junção adotado (contacto mecânico com ou sem material para garantir bom contacto térmico, soldadura e tipo de soldadura).

No caso dos coletores solares planos, a parte posterior e lateral devem possuir um bom isolamento com baixa condutividade e uma espessura adequada. A degradação do isolamento pode ocorrer por entrada de água, aumentando assim a condutividade do material e as perdas térmicas por condução. A desgaseificação do isolamento pode ser outro efeito que prejudica o desempenho térmico do coletor; contribuindo para o aumento da respetiva condutividade térmica e para a redução da transmissividade da cobertura transparente.

A título de exemplo, veja-se, na Tabela 6, as propriedades iniciais dos componentes de um coletor solar térmico. Neste caso consideram-se as propriedades óticas (α e ϵ) do absorvedor e de condutividade térmica (k_c), propriedades óticas da cobertura (t), condutividade térmica do isolamento (k_i) e condutância da alheta para a junção com o absorvedor (C_j). Para este exemplo, foram considerados fixos os parâmetros apresentados na Tabela 3 e valores pré-definidos para o modificador do ângulo de incidência (K_j).

	Inicial	η_0	a_1	a_2
α [-]	0.950	0.688	3.53	0.005
ϵ [-]	0.100			
t [-]	0.885			
k_c [W/m².K]	385			
C_j [W/m.K]	100			
k_i [W/m.K]	0.0350			

Tabela 6 Propriedades iniciais dos componentes de um coletor solar térmico (exemplo).

Considerando uma degradação de 5% das propriedades óticas do absorvedor, nomeadamente do coeficiente de absorvidade e de emissividade térmica, verifica-se uma redução do rendimento ótico em cerca de 3,45 pontos percentuais. Quando a esta degradação se junta a degradação da transmissividade da cobertura, a redução do rendimento ótico é de cerca de 6,7 pontos percentuais (quase duplica). Quando se junta a degradação da condutividade térmica do absorvedor; verifica-se uma redução do rendimento ótico de cerca de 7 pontos percentuais. Quando é considerada uma redução da condutância da alheta, para a junção com a cobertura, o rendimento ótico reduz em cerca de 7 pontos percentuais.

	$\Delta = 5\%$	η_0	a_1	a_2	η_0	a_1	a_2	η_0	a_1	a_2	η_0	a_1	a_2	η_0	a_1	a_2
α	0.902(5)	0.652 (-3.45)	3.53 (-0.040)	0.005 (1.923)	0.620 (-6.79)	3.51 (-0.608)	0.005 (1.923)	0.618 (-7)	3.51 (-0.815)	0.005 (1.923)	0.618 (-7.02)	3.50 (-0.826)	0.005 (-)	0.616 (-7.15)	3.53 (-0.215)	0.005 (-)
ε	0.105															
τ	0.8407(5)															
k_c	365.75															
C_b	95															
k_b	0.0367(5)															

Tabela 7 Análise dos coeficientes de desempenho térmico η_0 (-), a_1 ($Wm^{-2}K^{-1}$) e a_2 ($Wm^{-2}K^{-2}$) considerando os efeitos de degradação de 5% nos parâmetros α , ε , τ , k_c , C_b e k_b . Em cada caso indica-se o valor do parâmetro e o valor da diferença* relativamente ao ponto inicial.

* $\Delta \eta_0 = (\eta_{final} - \eta_{inicial}) \times 100\%$; $\Delta a_x = [(a_{x,final} - a_{x,inicial}) / a_{x,inicial}] \times 100\%$

		Potência do coletor para incidência normal (W)																	
		Blue Sky ($\vartheta_m - \vartheta_a$)						Hazy Sky ($\vartheta_m - \vartheta_a$)						Grey Sky ($\vartheta_m - \vartheta_a$)					
		0	10	30	50	70	100	0	10	30	50	70	100	0	10	30	50	70	100
	Ponto Inicial	1488	1411	1249	1077	897	610	1011	933	771	600	420	132	527	449	287	116	0	0
$\Delta = 5\%$	$\alpha + \varepsilon$	1412	1334	1172	1001	821	533	959	881	719	548	368	80	500	422	260	89	0	0
	$\alpha + \varepsilon + \tau$	1341	1264	1103	933	753	467	911	834	673	502	323	36	475	398	237	66	0	0
	$\alpha + \varepsilon + \tau + k_c$	1337	1260	1099	929	750	465	908	831	670	500	321	36	473	396	236	66	0	0
	$\alpha + \varepsilon + \tau + k_c + C_b$	1336	1259	1099	929	750	464	907	830	670	500	321	36	473	396	235	66	0	0
	$\alpha + \varepsilon + \tau + k_c + C_b + k_b$	1334	1256	1094	924	744	458	906	828	666	496	316	30	472	395	233	62	0	0

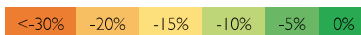


Tabela 8 Valores de potência resultantes do efeito de degradação de 5% nos parâmetros α , ε , τ , k_c , C_b e k_b . A escala de cor é qualitativa e indica a diferença relativamente ao ponto inicial.

Por fim, quando é tida em conta a degradação da condutividade do isolamento, o rendimento ótico reduz em cerca de 7.2 pontos percentuais (ver **Tabela 7**).

Estas variações têm, nos parâmetros que traduzem as perdas térmicas, um efeito mais reduzido. Para reproduzir as alterações observadas nos coletores, e já referidas na secção anterior, seria necessário considerar variações para ε , C_b e k_b mais elevados.

Na **Tabela 8** estão apresentados os valores de potência resultantes do efeito de degradação de 5% nos parâmetros acima referidos. A escala de cor indica a diferença relativamente ao ponto inicial e corresponde à escala colocada junto da respetiva tabela. Por exemplo, a cor referida como correspondente a -5% é a associada a uma diferença de potência relativamente ao valor inicial no intervalo]-10% e -5%].

Os efeitos mais acentuados são os relativos à alteração das propriedades óticas do absorvedor e da cobertura, α e τ . Estes resultados têm apenas por objetivo mostrar as capacidades de cálculo da aplicação *CharaColl* para a compreensão do impacto das características dimensionais de propriedades dos materiais que constituem o coletor.

3.3.3. Utilização da aplicação na conceção e desenvolvimento de um coletor solar térmico

A escolha dos materiais e o desenho de um coletor solar térmico constitui uma etapa que define o ponto de partida na definição das características do coletor a fabricar. Neste sentido, uma aplicação como a *CharaColl* pode ser utilizada para simular soluções, fazendo variar determinados parâmetros associados aos componentes-chave com a utilização de intervalos dinâmicos pré-definidos. Desta forma, é possível estudar o impacto de cada componente (seja o absorvedor, a cobertura, tubagem, isolamento ou outro) na determinação dos parâmetros característicos de desempenho térmico de um coletor solar:

A utilização da opção “Cálculo Dinâmico” é útil para este propósito pois permite o cálculo dos parâmetros para um determinado intervalo de valores. A título de exemplo, fez-se variar um conjunto de parâmetros dimensionais apresentados na **Tabela 9**, nomeadamente o diâmetro externo das tubagens, o espaçamento entre tubos, a espessura do isolamento da base e a espessura do absorvedor, separadamente. Para este exemplo, foram considerados fixos os parâmetros apresentados na **Tabela 3**, os parâmetros iniciais apresentados na **Tabela 6** e o modificador do ângulo de incidência (K_p). Os resultados obtidos estão apresentados na **Tabela 10**.

Fazendo variar o diâmetro externo das tubagens entre 0.005 até 0.020 metro, resulta num aumento do rendimento ótico até 9.2 pontos percentuais, acompanhado por um aumento das perdas térmicas.

Quanto maior a distância entre os tubos, menor é o rendimento ótico do coletor, podendo este descer até 13 pontos percentuais ao variar entre 0.03 e 0.15 metro. Contudo, ocorre uma redução nas perdas térmicas do coletor.

Variando positivamente o valor da espessura do isolamento, verifica-se um aumento do rendimento ótico até 4.7 pontos percentuais e uma redução nas perdas térmicas.

	Intervalo dinâmico considerado na aplicação (*valor fixo quando não se trata do parâmetro dinâmico)				
D [m]	0.005*	0.008	0.01	0.015	0.020
W [m]	0.03*	0.05	0.1	0.13	0.15
L_b [m]	0.02*	0.03	0.04	0.05	0.06
δ [m]	0.0003*	0.0005	0.0008	0.001	0.0015

Tabela 9 Intervalo dinâmico associado às características dimensionais de alguns dos componentes de um coletor solar térmico.

D [m]	0,005	0,008	0,01	0,015	0,020
η_0	0,6461	0,6877	0,7026	0,7248	0,7381
a_1	3,4629	3,5338	3,5593	3,5988	3,6243
a_2	0,0045	0,0052	0,0055	0,0059	0,0062
W [m]	0.03	0.05	0.1	0.13	0.15
η_0	0,7821	0,7674	0,7186	0,6810	0,6525
a_1	3,7298	3,7048	3,6047	3,5179	3,4486
a_2	0,0070	0,0067	0,0058	0,0051	0,0046
L_b [m]	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06
η_0	0,6454	0,6689	0,6806	0,6877	0,6924
a_1	4,1393	3,8160	3,6421	3,5338	3,4600
a_2	0,0044	0,0049	0,0051	0,0052	0,0053
δ [m]	0.0003	0.0005	0.0008	0.001	0.0015
η_0	0,7024	0,7143	0,7209	0,7231	0,7261
a_1	3,5774	3,6122	3,6317	3,6383	3,6470
a_2	0,0055	0,0057	0,0059	0,0059	0,0060

Tabela 10 Coeficientes de desempenho térmico η_0 (-), a_1 ($Wm^{-2}K^{-1}$) e a_2 ($Wm^{-2}K^{-2}$) resultantes da variação do diâmetro externo das tubagens (D), do espaçamento entre tubos (W), da espessura do isolamento da base (L_b) e da espessura do absorsor (δ).

Relativamente à variação da espessura do absorsor, verifica-se um aumento do rendimento ótico até cerca de 2.4 pontos percentuais e um aumento das perdas térmicas. Deve notar-se que neste modelo o parâmetro η_0 traduz não só os aspetos relativos à transmissividade da cobertura e absorvidade do absorsor, mas reflete também os aspetos relacionados com a transferência de calor na alheta. O mesmo se passa com os coeficientes de perdas térmicas a_1 e a_2 que contém também o efeito da alheta.

Nas **Tabela 11(a) a d)** estão apresentados os valores de potência resultantes da variação do diâmetro externo das tubagens (a), do espaçamento entre tubos (b), da espessura do isolamento da base (c) e da espessura do absorsor (d) calculados com base nos parâmetros indicados na **Tabela 10**. A escala de cor indica a diferença relativamente ao ponto inicial que está representado na primeira linha de cada tabela. A cada tabela está associada uma escala de cor de modo a visualizar o impacto de variação de cada uma das características construtivas do coletor no valor de potência do coletor para incidência normal.

4. Notas finais

A aplicação *CharaColl* poderá ser uma ferramenta útil no desenho de novos coletores permitindo avaliar os benefícios da utilização de diferentes tipos de materiais ou de diferentes características dimensionais do coletor. Pode também permitir alguma avaliação do impacto da degradação de materiais constituintes do coletor no seu comportamento térmico.

O modelo adotado para a determinação das características térmicas do coletor não abrange aspetos como a ventilação do coletor; isto é, maior ou menor grau de estanquicidade e não permite reproduzir situações relacionadas com o estabelecimento de pontes térmicas, por exemplo, contacto entre o absorsor e a cobertura devido a deformação do absorsor; uma das falhas graves identificada pela ISO 9806.

Por este motivo, não é objetivo da aplicação substituir-se a ensaios de determinação do comportamento térmico do coletor realizados em Laboratório de acordo com normas como a ISO 9806.

A aplicação *CharaColl* é neste momento de uso interno no LNEG servindo de suporte a serviços a acordar com potenciais interessados nos resultados da sua utilização.

Referências

João C.S. Fernandes, Ana Nunes M. João Carvalho, Teresa C. Diamantino (2017), *Degradation of selective solar absorber surfaces in solar thermal collectors – An EIS study*, Solar Energy Materials and Solar Cells, vol. 160, page 149-163, <http://dx.doi.org/10.1016/j.solmat.2016.10.015>

T.C. Diamantino, M.J. Carvalho, A. Nunes, C. Ferreira, Durabilidade de coletores solares térmicos: Inspeção e análise de falha em função da corrosividade ambiental, *Corros. Prot Mater*; 35(1) (2016a) 15-20 <http://dx.medra.org/10.19228/j.cpm.2016.35.02>

M.C. Ferreira, A.R. Rosado, M.J. Carvalho and T.C. Diamantino (2016) *Assessment of Elastomeric Components of a Solar Thermal Collector*, EuroSun 2016 / ISES Conference Proceedings (2016), doi:10.18086/eurosun.2016.06.03 Available at <http://proceedings.ises.org>

T. C. Diamantino, A. Nunes, R. Gonçalves, S. Páscoa, T. Chambino and M. J. Carvalho (2016b) *Selective Absorber Coatings Qualification - ISO 22975-3:2014. Full Application*. EuroSun 2016 / ISES Conference Proceedings (2016), doi:10.18086/eurosun.2016.06.01 Available at <http://proceedings.ises.org>

Teresa C. Diamantino, Rita Gonçalves, Ana Nunes, Soraia Páscoa, M. João Carvalho (2017) *Durability of different selective solar absorber coatings in environments with different corrosivity*, Solar Energy Materials and Solar Cells, vol. 166, page 27-38, <http://dx.doi.org/10.1016/j.solmat.2017.03.004>

T. Diamantino, R. Gonçalves, S. Páscoa, I. Nascimento, and M. João Carvalho, *Accelerated aging tests for selective solar absorber coatings*, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 2021 (submitted).

M.J. Carvalho, S. Páscoa, N. Mexa, R. Gonçalves, J. Correia, A. Gano, T. Diamantino (2017), *Solar thermal collector's degradation – influence of corrosivity inside and outside the collectors*, ISES Solar World Congress 2017 & IEA SHC International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry, doi:10.18086/swc.2017.19.02 Available at <http://proceedings.ises.org>

Soraia Páscoa, Maria João Carvalho and Teresa Cunha Diamantino (2018) *Assessment of Durability of Solar Absorbers - Performance Criterion EuroSun 2018 Conference Proceedings*, doi:10.18086/eurosun2018.10.08 Available at <http://proceedings.ises.org>

T. C. Diamantino, R. Gonçalves, S. Páscoa, I. Nascimento, T. Chambino, C. Ferreira and M.J. Carvalho, *Accelerated Aging Tests for Solar Absorber Coatings*, EuroSun 2018 Conference Proceedings, doi:10.18086/eurosun2018.10.01 Available at <http://proceedings.ises.org>

D.E. Roberts, A. Forbes (2012), *An analytical expression for the instantaneous efficiency of a flat plate solar water heater and the influence of absorber plate absorptance and emittance*, *Solar Energy* 86 (2012), Issue 5, Pages 1416-1427, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.01.032>.

D.E. Roberts (2013), *A figure of merit for selective absorbers in flat plate solar water heaters*, *Solar Energy* 98 (2013), Part C, Pages 503-510, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.10.012>.

ISO 9806:2017, *Solar energy – Solar thermal collectors – Test methods*

Regras Específicas Solar Keymark, Annex P5.6–Calculation of Kd (<http://www.estif.org/solarkeymarknew/the-solar-keymark-scheme-rules>)

Agradecimentos

Este trabalho é resultado do projeto FCOMP-01-0124-FEDER-027507 (Ref^o 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^o 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, MCG, OpenPlus e Permasolaris), pelo fornecimento de amostras e pelos meios para realizar este trabalho.

II a)	Potência do coletor para incidência normal (W)																	
	Blue Sky ($\vartheta_m - \vartheta_s$)						Hazy Sky ($\vartheta_m - \vartheta_s$)						Grey Sky ($\vartheta_m - \vartheta_s$)					
D[m]	0	10	30	50	70	100	0	10	30	50	70	100	0	10	30	50	70	100
0.005	1398	1322	1164	999	826	551	949	873	716	550	377	103	495	419	261	96	0	0
0.008	1488	1411	1249	1078	898	611	1011	933	771	600	420	133	527	449	287	116	0	0
0.01	1520	1442	1279	1106	923	631	1032	954	791	618	435	143	538	460	297	123	0	0
0.015	1569	1489	1323	1147	961	662	1065	986	820	644	457	159	555	476	310	134	0	0
0.02	1597	1517	1350	1172	982	679	1085	1005	837	659	470	166	566	486	318	140	0	0

0%
5%
10%
15%
20%
>30%

II d)	Potência do coletor para incidência normal (W)																	
	Blue Sky ($\vartheta_m - \vartheta_s$)						Hazy Sky ($\vartheta_m - \vartheta_s$)						Grey Sky ($\vartheta_m - \vartheta_s$)					
W[m]	0	10	30	50	70	100	0	10	30	50	70	100	0	10	30	50	70	100
0.03	1692	1610	1437	1251	1053	734	1149	1067	893	708	510	191	599	517	343	158	0	0
0.05	1661	1579	1407	1223	1028	714	1128	1046	874	691	495	181	588	506	334	151	0	0
0.1	1555	1476	1310	1134	947	649	1056	977	811	635	448	150	551	471	305	129	0	0
0.13	1474	1396	1235	1065	887	602	1001	923	762	592	414	129	522	445	283	114	0	0
0.15	1412	1336	1179	1014	841	566	959	883	726	561	388	113	500	424	267	102	0	0

<-30%
-20%
-15%
-10%
-5%
0%

II c)	Potência do coletor para incidência normal (W)																	
	Blue Sky ($\vartheta_m - \vartheta_s$)						Hazy Sky ($\vartheta_m - \vartheta_s$)						Grey Sky ($\vartheta_m - \vartheta_s$)					
L _b [m]	0	10	30	50	70	100	0	10	30	50	70	100	0	10	30	50	70	100
0.02	1397	1306	1119	925	723	406	948	858	671	477	275	0	494	404	217	23	0	0
0.03	1447	1364	1190	1008	817	516	983	899	726	544	353	51	512	429	255	73	0	0
0.04	1473	1393	1227	1051	867	574	1000	920	754	579	394	102	521	442	275	100	0	0
0.05	1488	1411	1249	1078	898	611	1011	933	771	600	420	133	527	449	287	116	0	0
0.06	1498	1422	1263	1095	918	635	1017	941	782	614	437	154	530	454	296	127	0	0

0%
5%
10%
15%
20%
>30%

II d)	Potência do coletor para incidência normal (W)																	
	Blue Sky ($\vartheta_m - \vartheta_s$)						Hazy Sky ($\vartheta_m - \vartheta_s$)						Grey Sky ($\vartheta_m - \vartheta_s$)					
δ [m]	0	10	30	50	70	100	0	10	30	50	70	100	0	10	30	50	70	100
0.0003	1520	1441	1277	1103	920	627	1032	954	789	615	432	139	538	460	295	121	0	0
0.0005	1546	1466	1300	1124	938	641	1050	970	804	628	442	145	547	468	302	126	0	0
0.0008	1560	1480	1313	1135	947	646	1059	979	812	634	447	146	552	472	305	127	0	0
0.001	1565	1485	1317	1139	951	650	1063	983	815	637	449	148	554	474	306	128	0	0
0.0015	1571	1491	1323	1144	955	652	1067	987	818	640	451	148	556	476	308	129	0	0

0%
3%
5%
7%

Tabela II Valores de potência resultantes da variação do diâmetro externo das tubagens (a), do espaçamento entre tubos (b), da espessura do isolamento da base (c) e da espessura do absorvedor (d). A escala de cor é qualitativa e indica a diferença relativamente ao ponto inicial. **lm**