



ENERGIAS RENOVÁVEIS: CORROSÃO E PROTEÇÃO DE MATERIAIS

Teresa Cunha Diamantino

teresa.diamantino@lneg.pt

Índice

Evolução do Setor Energético

As energias renováveis no mix energético

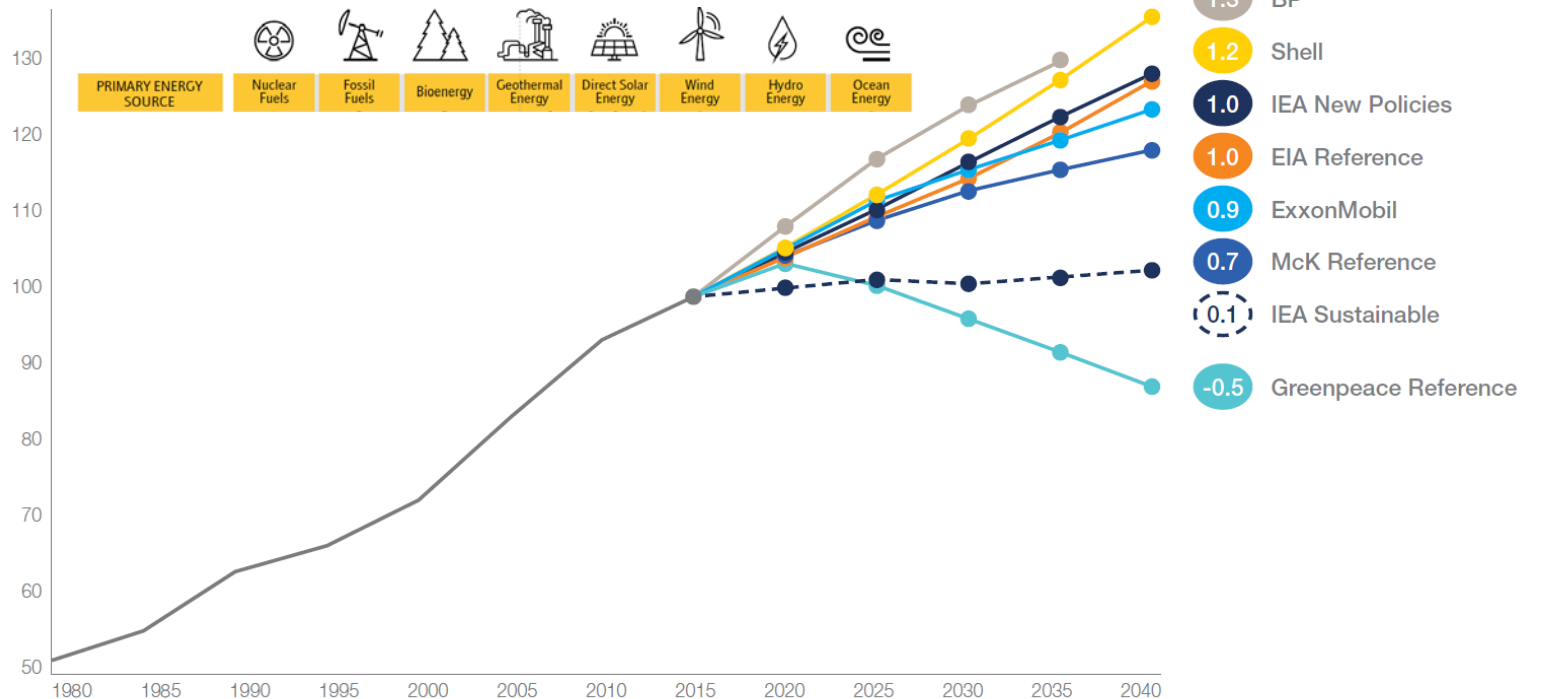
Corrosão e a Proteção de Materiais nas Energias Renováveis

Energia eólica onshore e offshore

Energia Solar Térmica sem e com concentração

DEMANDA DE ENERGIA PRIMÁRIA

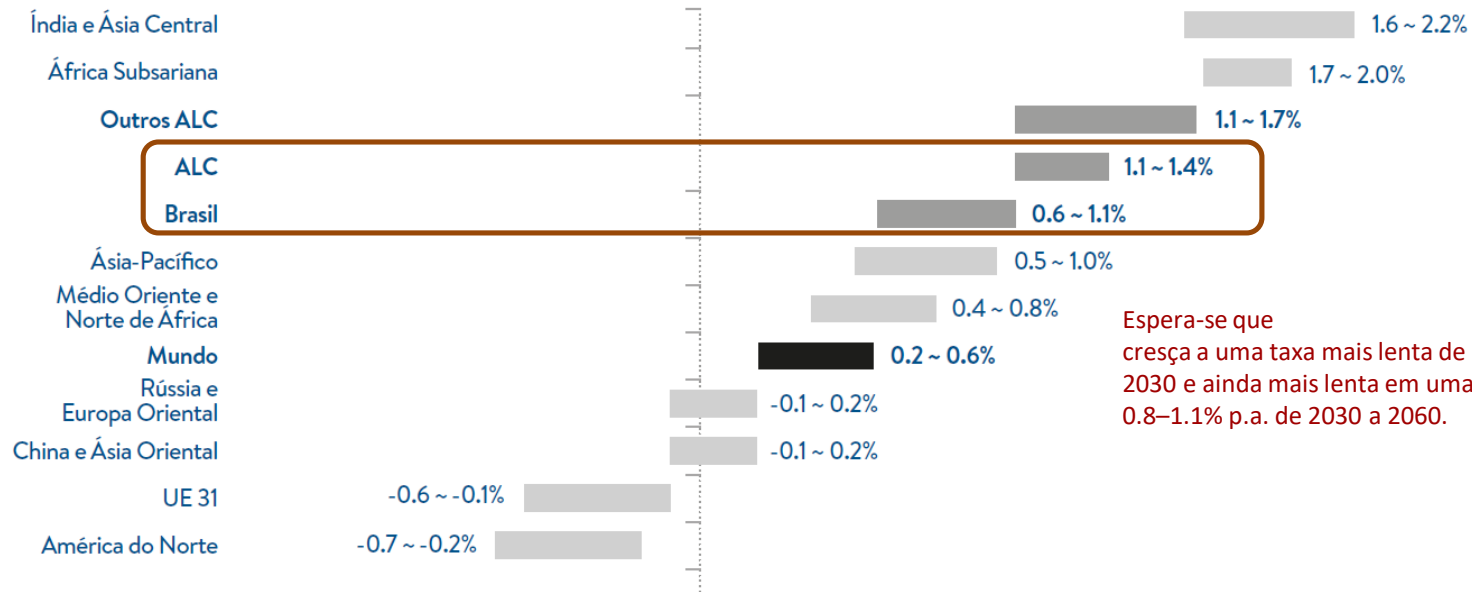
2015: 100%



Sources: McKinsey Energy Insights' Global Energy Perspective, December 2017; BP Energy Outlook 2017; ExxonMobil 2017 Outlook for Energy; IEA WEO 2017; EIA IEO 2017; Shell New Lens Scenarios http://www.ourenergypolicy.org/wp-content/uploads/2018/03/Global_Energy_Perspective_Reference_Case_2018_vp.pdf

CRESCIMENTO DA DEMANDA DE ENERGIA NA ALC PERMANECE RELATIVAMENTE ESTÁVEL E ALTO

Aumento da procura de energia primária por região (CAGR 2014–2060)



Espera-se que cresça a uma taxa mais lenta de 1.6–1.9% de 2014 a 2030 e ainda mais lenta em uma taxa de 0.8–1.1% p.a. de 2030 a 2060.

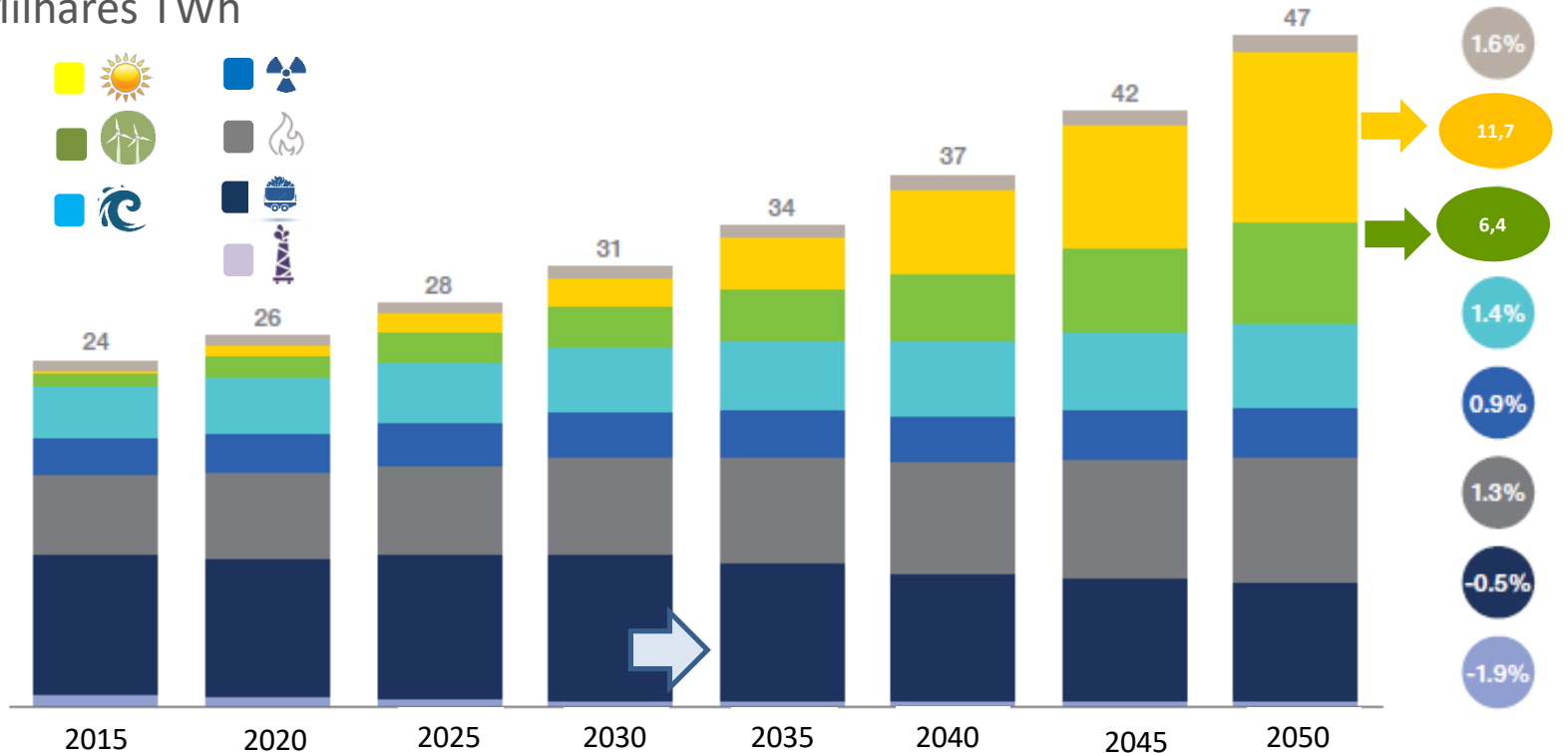
Fonte: World Energy Council e Paul Scherrer Institute

Cenários Mundiais
de Energia | 2017

WORLD
ENERGY
COUNCIL

GERAÇÃO DE ELECTRICIDADE GLOBAL

Milhares TWh

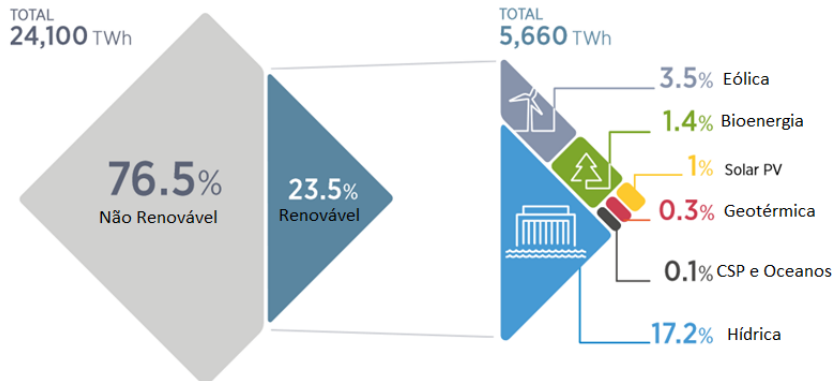


Outros: inclui biomassa, geotermia e energia do mar

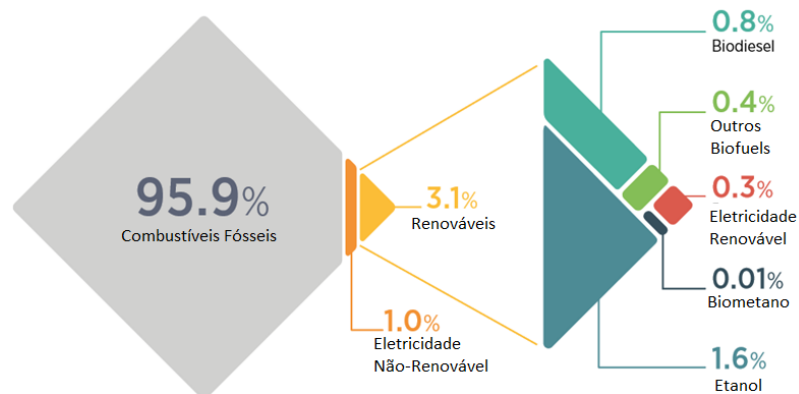
Fonte: McKinsey Energy Insights' Global Energy perspective, December 2017

http://www.ourenergypolicy.org/wp-content/uploads/2018/03/Global_Energy_Perspective_Reference_Case_2018_vP.pdf

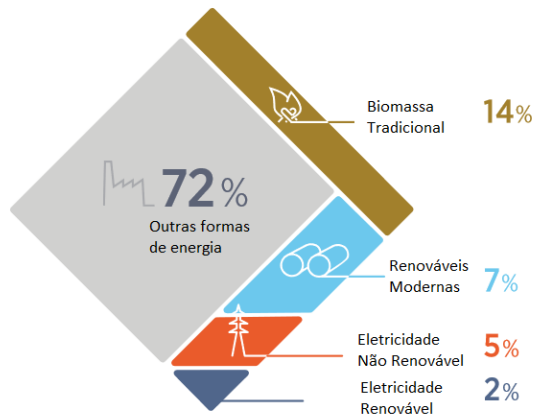
Setor Energético Mundial Eletricidade



Setor Energético Mundial Transportes



Setor Energético Mundial Aquecimento e Arrefecimento



Fonte: APREN com dados REN21 (dados de 2015)

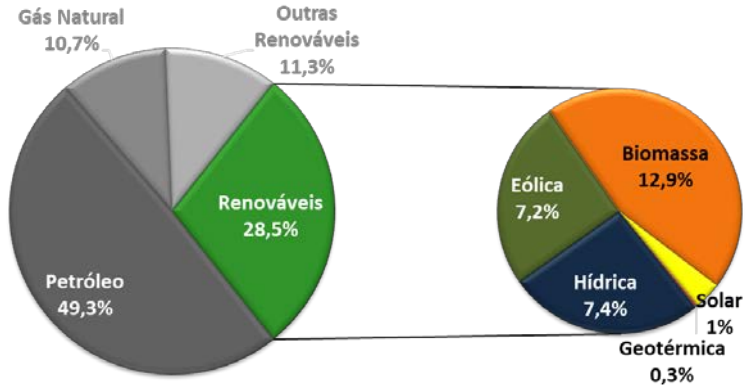
Portugal produced over 100% of its electricity from renewables in March



Portugal's monthly renewable energy production exceeded power demand on the mainland last month.

Image: REUTERS/Jose Manuel Ribeiro

Taxa de renováveis no setor energético nacional (Eletricidade, transportes e Aquecimento e Arrefecimento)



Fonte: DGEG (dados de 2016); análise APREN

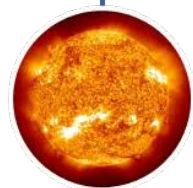
No primeiro trimestre de 2018, a eletricidade renovável representou 62 % (9.382 GWh) do total da produção elétrica de Portugal Continental (15.098 GWh).

IPAC
acreditação

Rede Laboratórios



LABORATÓRIO NACIONAL DE
ENERGIA E GEOLOGIA



Laboratório de
Energia



Laboratório de
Geologia e Minas



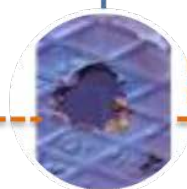
Unidade de Energias
Renováveis e
Integração de
Sistemas de Energia



Unidade de
Bioenergia



Laboratório de
Energia Solar (LES)

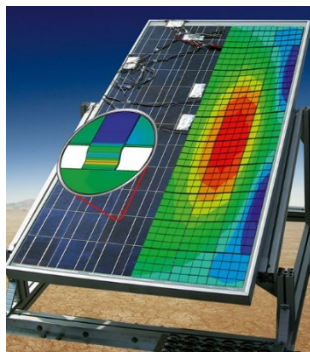
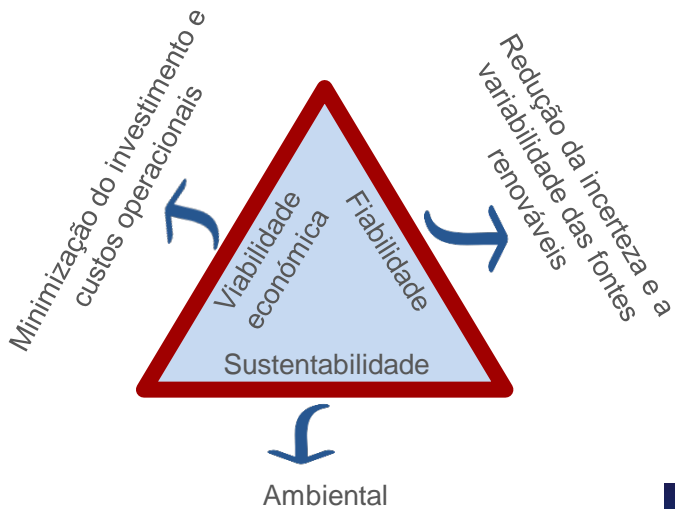


Laboratório de Materiais e
Revestimentos (LMR)



Laboratório de
Biocombustíveis e
Biomassa (LBB)

Requisitos para o futuro da demanda energética

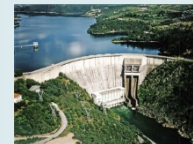


Novos Materiais_Garantias de Durabilidade



Energias Renováveis

Hídrica



Biomassa



Vento



Solar



IMPACTO DA CORROSÃO ATMOSFÉRICA

Corrosão

Elevados impactos

- Económicos
- Ambientais
- Sociais

20% Custos evitáveis

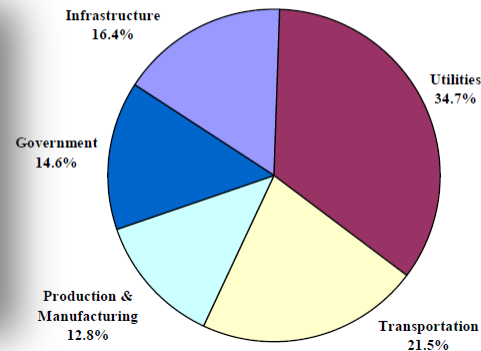


**50% CORROSÃO
ATMOSFÉRICA**



3 - 4% PIB

Cost Of Corrosion
In Industry Categories Analyzed In Current Study
(\$137.9 BILLION)

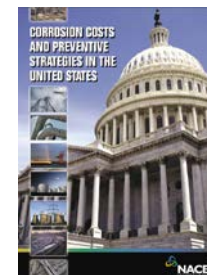


<https://www.nace.org/uploadedFiles/Publications/ccsupp.pdf>

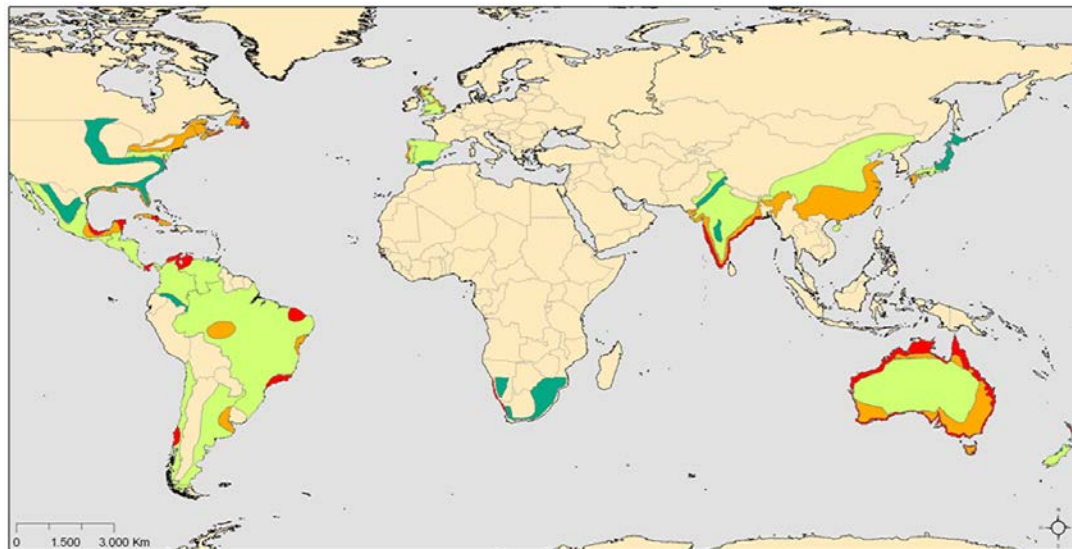
The Global Impact of Corrosion

The global cost of corrosion is estimated to be US\$2.5 trillion, which is equivalent to 3.4% of the global Gross Domestic Product (GDP) (2013). By using available corrosion control practices, it is estimated that savings of between 15 and 35% of the cost of corrosion could be realized; i.e., between US\$375 and \$875 billion annually on a global basis, an astronomical savings. In addition, these costs typically do not include individual safety or environmental consequences. The high cost of corrosion has been known for years; Uhlig performed a comprehensive study in 1949 that revealed a cost of corrosion equivalent to 2.5% of the U.S. GDP. (NACE Report 2016)

<http://impact.nace.org/documents/Nace-International-Report.pdf>



DADOS DE CORROSIVIDADE ATMOSFÉRICA NO MUNDO



Legend



© F. NIELSEN/PHOTON ENERGY



- C1 very low corrosivity
- C2 low corrosivity
- C3 medium corrosivity
- C4 high corrosivity
- C5 very high corrosivity
- CX extreme corrosivity

K.Slamova et al. *Photon. Energy*. 2(1), 2012
<http://dx.doi.org/10.1117/1.JPE.2.022003>

Energia Eólica

O tempo de vida dos ativos eólicos

Início da operação



IEC61400-1: WIND ENERGY GENERATION SYSTEMS - Design requirements
Prevê uma vida útil mínima de 20 anos

Final do tempo de vida útil

Em condições de projeto (t = 20 anos)



6 External conditions

6.1 General

The external conditions described in this clause shall be considered in the design of a wind turbine.

Wind conditions are the primary external conditions affecting structural integrity. Other environmental conditions also affect design features such as control system function, durability, corrosion, etc.

Vida remanescente



Energia Eólica



Aço carbono



Reference materials	Carbon steel	
Samples orientation	NW	S
Corrosion rate (g/(m ² .a))	3535.76	1346.01
Corrosion category (ISO 9223:2012)	Category	CX
	Reference values	1500 < rcorr ≤ 5500
		650 < rcorr ≤ 1500

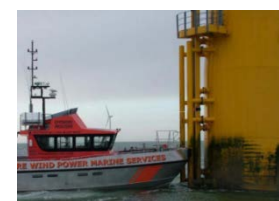
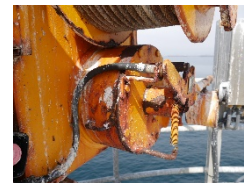
Orientação: Sul



- ▶ Atmosférica
- ▶ Salpicos (zona de corrosão severa)
- ▶ Tidal
- ▶ Imersão total
- ▶ Enterrada

Diferentes tipologias de corrosão:

- ▶ Corrosão uniforme
- ▶ Corrosão localizada
- ▶ Corrosão microbiana (MIC)
- ▶ Corrosão por picada
- ▶ Corrosão por fadiga, erosão ...





ISO 12944_1
Introdução geral

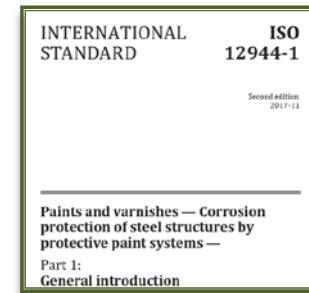
ISO 12944_2
Classificação de Ambientes

ISO 12944_3
Conceção e disposições construtivas

ISO 12944_4
Tipos de superfície e de preparação de superfície

ISO 12944_6
Ensaios de desempenho em laboratório

ISO 12944_7 e 8
Execução e supervisão dos trabalhos de pintura
Desenvolvimento de especificações para obras novas e manutenção



ISO 12944_5
Esquemas de pintura

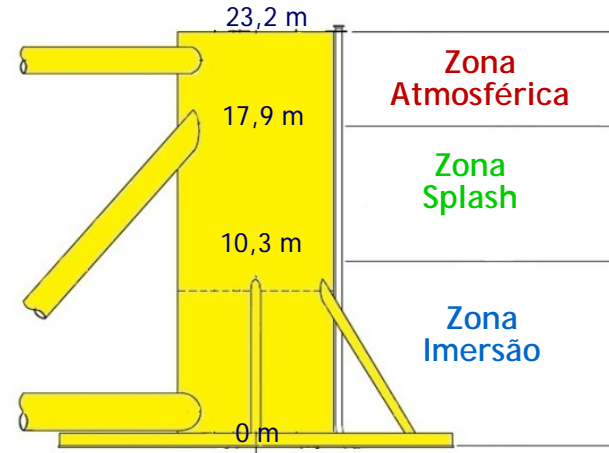


PROJECTO WIND_ENERMAR

Estudo Experimental no Protótipo WindFloat



O Projecto Wind_Enermar envolveu a exposição de amostras de aço sem e com aplicação de distintos esquemas de pintura, seleccionados de acordo com as diferentes zonas de exposição e solicitação mecânica a que se encontra submetido o protótipo WINDFLOAT – zona **atmosférica**, **splash** e **imersão**.



A **Prevenção e Controlo da Corrosão** assumem um papel preponderante no ciclo de vida de uma estrutura eólica *Offshore*

WORLD ENERGY

2015 Use ²⁶ 18.5 TWy/y

RENEWABLES

Solar ¹² 23,000 TWy/y

Wind ³ 75-130 TWy/y

Waves ⁴ 0.2-2 TWy/y

OTEC ⁵ 3-11 TWy/y

Biomass ⁶ 2-6 TWy/y

Hydro ⁷ 3-4 TWy/y

Geotherm. ^{8,22,23} 0.2-3++ TWy/y

Tidal ² 0.3 TWy/y

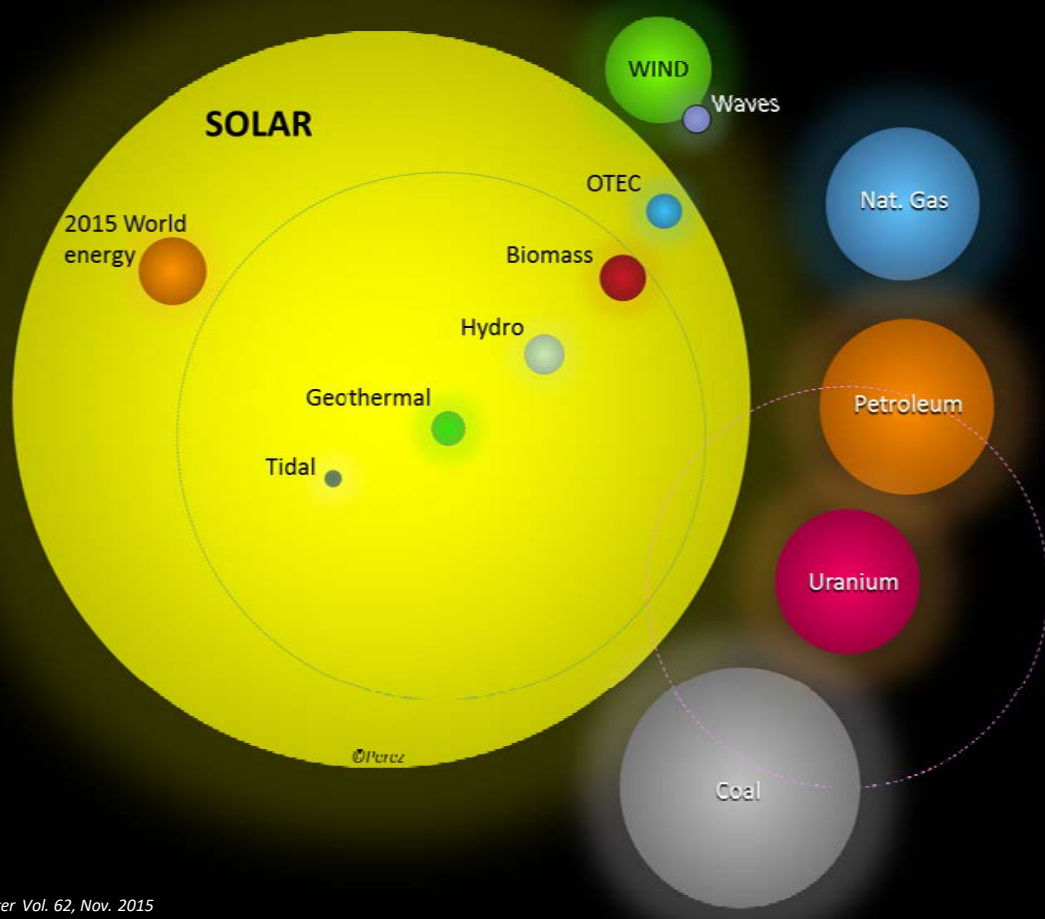
FINITE

Nat. Gas ^{9,21} 220 TWy

Petroleum ^{9,21} 335 TWy

Uranium ^{13 to 20} 185++ TWy

Coal ^{9,21} 830 TWy

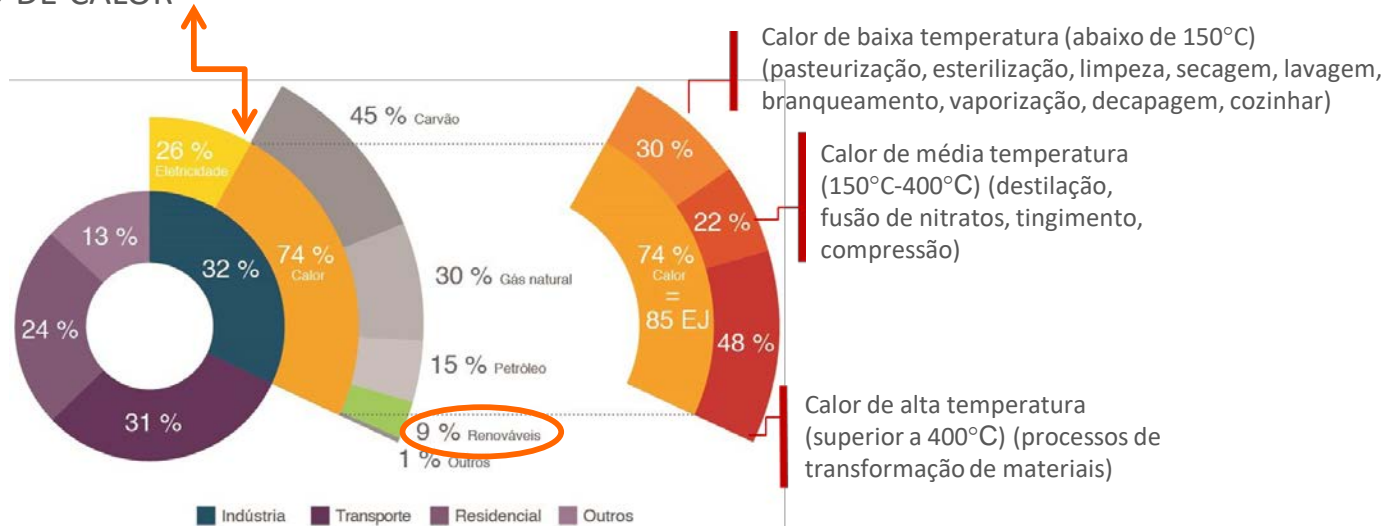


Energia Solar



Colectores solares
PRODUÇÃO DE CALOR

Módulos fotovoltaicos
PRODUÇÃO DE ELECTRICIDADE



Solar Payback Project (<https://www.solar-payback.com/>)

Energia Solar Térmica sem e com concentração solar

100°C

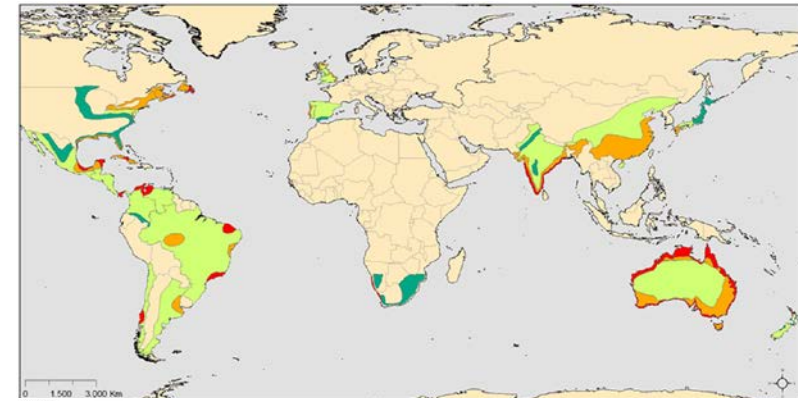
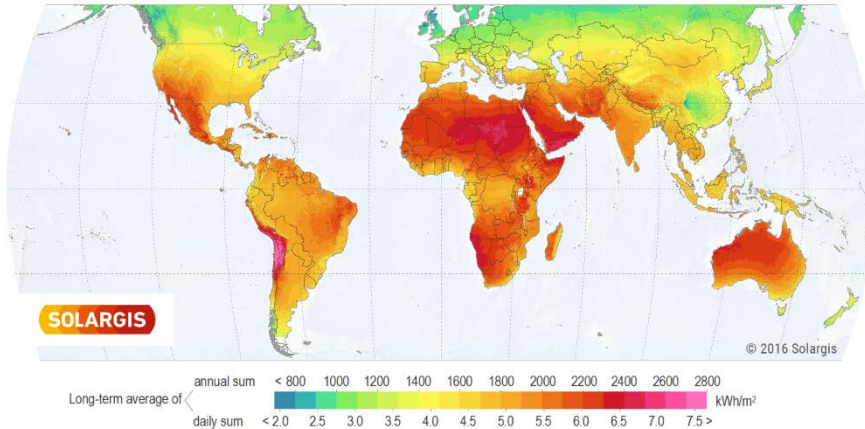
200°C

300°C

400°C



GLOBAL HORIZONTAL IRRADIATION



K.Slamova et al., *Photon. Energy*, 2(1), 2012
<http://dx.doi.org/10.1117/1.JPE.2.022003>

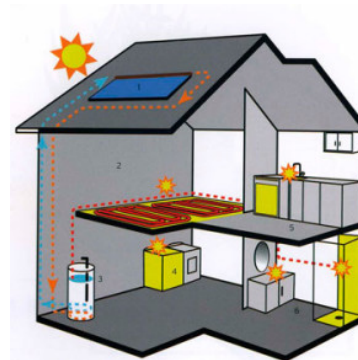
Energia Solar Térmica sem concentração solar

COLETORES PLANOS

- Absorvedor
- Caixa do coletor
- Cobertura
- Fluido de Transferência de Calor
- Isolamento



COLETORES SOLARES TÉRMICOS



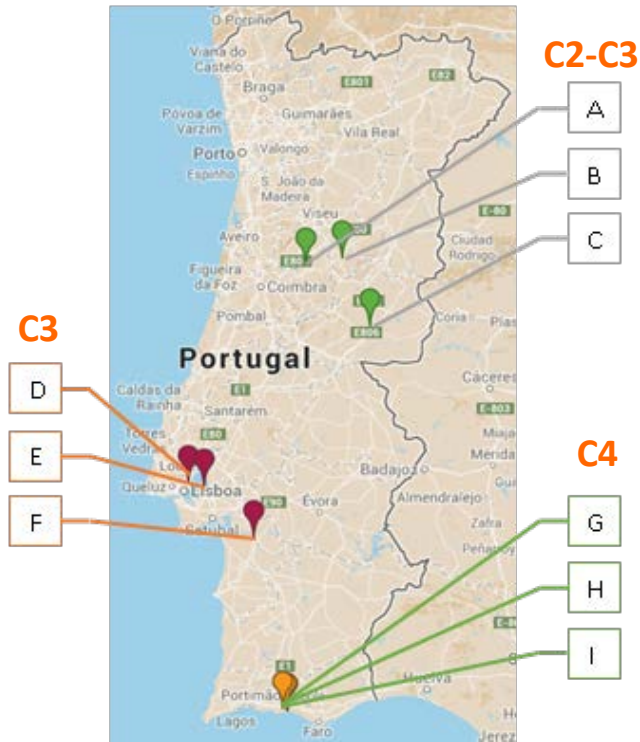
TUBOS DE VÁCUO

COLETORES CONCENTRADORES

PARABÓLICOS COMPOSTOS - CPC



Inspeção e análise de falha em função da corrosividade ambiental



Inquérito e visitas de inspeção realizados às instalações existentes em Portugal de média e grande dimensão, com tempos similares de funcionamento (13-17 anos)



- 1) Identificar a tipologia dos danos existentes em coletores solares térmicos;
- 2) quais os componentes com maiores danos e
- 3) verificar se existe correlação entre o processo de degradação, a corrosividade ambiental de Portugal e a proximidade da orla marítima.

Diamantino et al. 2016. *Corrosão e Protecção de Materiais*, 35 (1) 15-20 (2016)
<http://dx.medra.org/10.19228/j.cpm.2016.35.02>

COLETORES SOLARES TÉRMICOS

Especial enfoque nos **coletores**:

- Caixa do coletor;
- Absorção;
- Vedantes



Outros componentes:

- Suportes
- Isolamentos tubagem
- Erros anteriores

Severidade (S)	Valor
Nenhum efeito no componente	1
Efeito menor no produto mas nenhum efeito no funcionamento no sistema	2-3
Risco de falha de funcionamento	4-6
Certeza de falha no funcionamento do produto	7-9
Falha que pode afetar a segurança	10

Coletores solares – Caixa

Placa posterior



Cantos

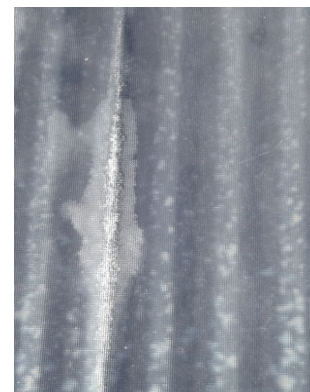
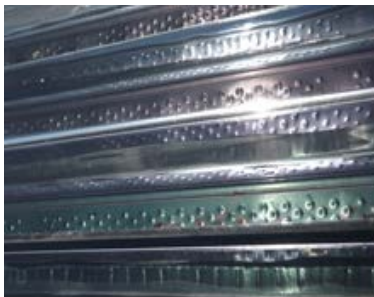


Coletores solares – Vedantes

Encolhimento / fissuração vedantes



Coletores solares – Absorsores



Coletores solares – Suportes



Outros componentes da instalação

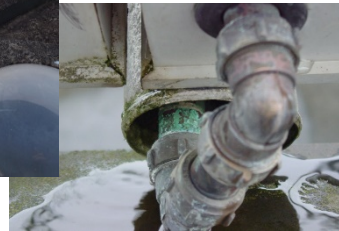
Tubagem com problemas de fugas



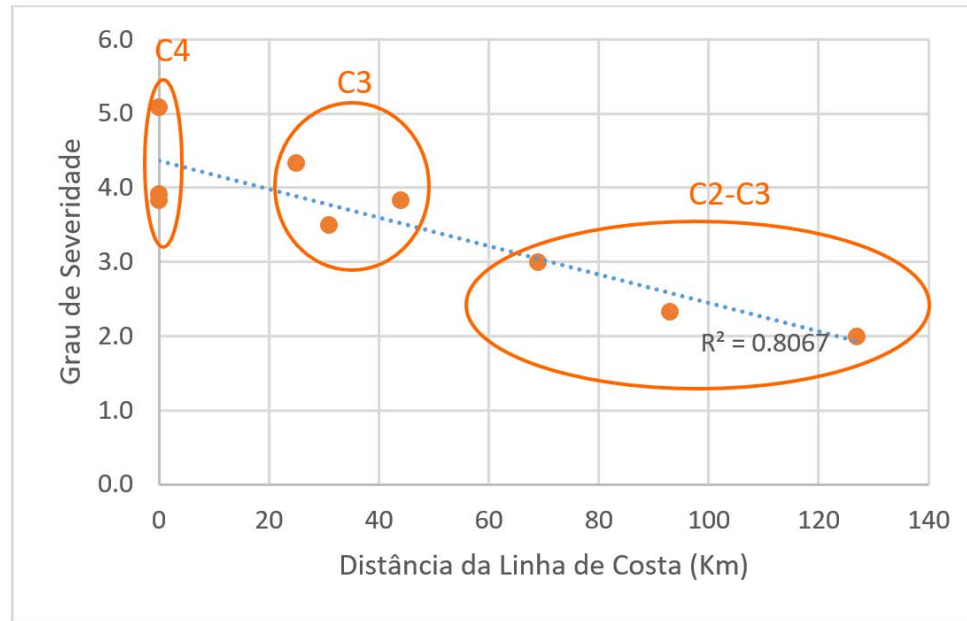
Degradação de componentes em salas técnicas



Isolamentos degradados sem proteção mecânica



Inspeção e análise de falha em função da corrosividade ambiental



COLETORES
SOLARES
TÉRMICOS

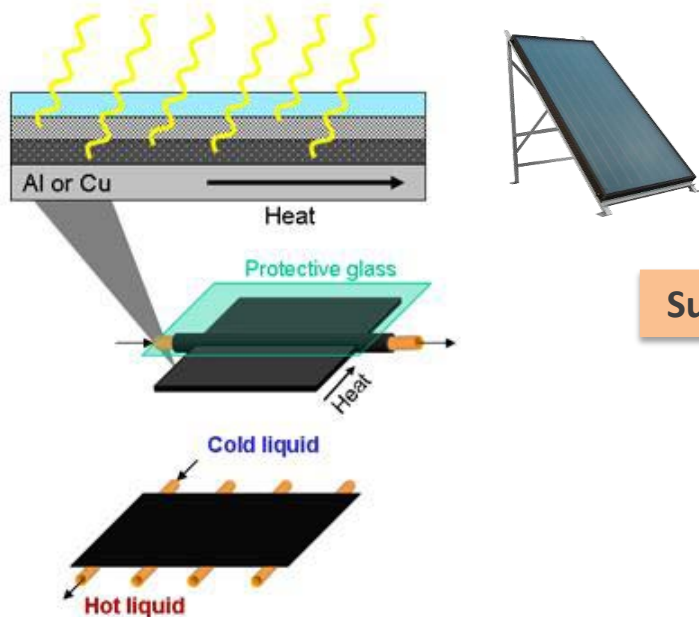
Correlação entre o grau de severidade e a distância da costa para as 9 instalações. O desempenho dos colectores solares térmicos depende da durabilidade dos seus componentes, em particular da **superfície absorvora** e dos componentes elastoméricos, bem como do sistema de ventilação do colector.

Diamantino et al. 2016. *Corrosão e Protecção de Materiais*, 35 (1) 15-20 (2016)
<http://dx.medra.org/10.19228/j.cpm.2016.35.02>

Absoror

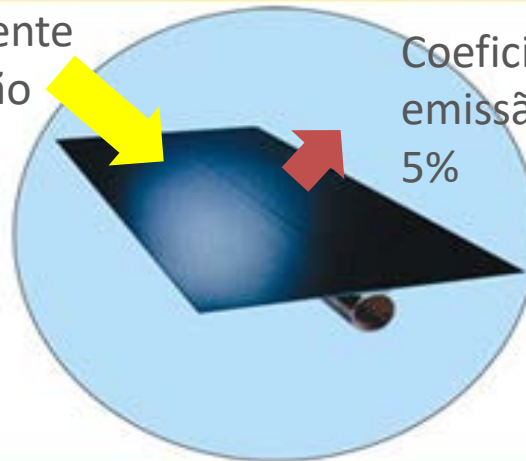


Absorção da energia radiante, transferindo-a sob a forma de calor para o fluido de transferência



Coeficiente absorção
95%

Coeficiente emissão
5%



Substrato metálico



Revestimento

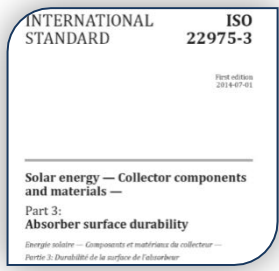
Cu
Al

Limitações dos revestimentos PVD:

- Durabilidade
- Corrosão
- Resistência à humidade e condensação
- Custo
- Complexas técnicas de produção
- Resistência à riscagem



<http://www.kemi.uu.se/research/inorganic-chemistry/research-areas/nanomaterials-from-solution/spectrally-selective-solar-heat-absorbers/>



Qualificação da Superfície AbsorSORa



Resistência térmica

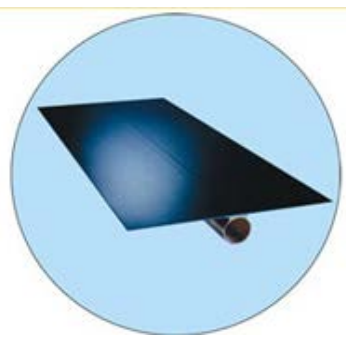


Resistência Humidade e Temperatura com condensação



Resistência atmosferas húmidas com dióxido de enxofre

ADERÊNCIA DO REVESTIMENTO
Pull-off (ISO 4624:2002)
Quadrícula (ISO 2409:2007)



PROPRIEDADES ÓTICAS

$\Delta\alpha_s$ = alteração do coeficiente absorção
 $\Delta\varepsilon_T$ = alteração da emissividade



Corrosão e proteção anticorrosiva dos revestimentos

Superfície absorSORa qualificada
=
Durabilidade superior a 25 anos

Durabilidade das Superfícies Absororas

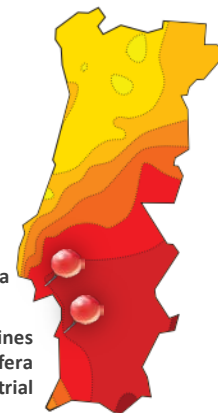


Estações Atmosféricas

PVD1	mirotherm®
PVD2	eta plus®
PC1	SUNCOLOR TS S Black (TSSS)
PC2	SOLKOTE HI/SORB-II™ (TSSS)
PC3	SUNCOLOR PUR Black (TISS)

Lumiar_Lisboa
Atmosfera urbana

Sines
Atmosfera
marítima_industrial



Estudos em Laboratório

Caracterização de materiais



Diamantino et al. Solar Energy Materials and Solar Cells, (2017) 166, 27-38 <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2017.03.004>

Ensaios acelerados



Fernandes et al. Solar Energy Materials & Solar Cells 160 (2017) 149–163
<http://dx.doi.org/10.1016/j.solmat.2016.10.015>



Durabilidade das Superfícies Absorvasoras

Ensaio acelerados

TIPO DE TESTE	NORMA	TEMPO ENSAIO (h/CICLOS)	CONDIÇÕES DE ENSAIO	CÂMARAS DE ENSAIO
NEVOEIRO SALINO NEUTRO	ISO 9227:2012	120 h	[NaCl]=50±5g/L; T=35±2 °C; RH=100%; pH=6.5-7.2	Erichsen Model 606/400L 
ATMOSFERAS SATURADAS COM SO ₂	ISO 6988:1985	120 h	Each cycle of 24 h (8 h 40°C±3°C and 100% of RH (SO ₂ – 0.2L) and 16 h at 18-28 °C and RH max 75% (test chamber vented))	VLM Model CCT 400-Air CTD-A 
EXPOSIÇÃO CÍCLICA SECAGEM_MOLHAGEM	NA	25 cycles 600 h	2h T=35±2 °C (RH>95%) + 4h T=60±2 °C (RH<30%) + 2h T=50±2 °C (RH>95%)	Q-Panel Q-FOG/CCT600 
EXPOSIÇÃO CÍCLICA AO NEVOEIRO SALINO, SECAGEM E MOLHAGEM	ISO 14993:2001	10 ciclos 240 h	2h salt mist (ISO 9227) + 4h T=60±2 °C (RH<30%) + 2h T=50±2 °C (RH>95%)	
VARIAÇÃO CÍCLICA DE MISTURA DE GASES, ELEVADA HUMIDADE, NEVOEIRO SALINO E SECAGEM	ISO 21207:2015	4 ciclos (4 semanas) (672 h)	Each cycle: 2 h neutral salt spray (ISO 9227) + 22 h standard climate (23 °C and 50% RH) + 120 h with corrosive atmosphere (NO ₂ =1.5x10 ⁻⁶ + SO ₂ =0.5x10 ⁻⁶) (25 °C and 95%RH) + 24h standard climate (23 °C and 50% RH)	Erichsen Model 606/400L + WEISS WK3-340/0-BSB  

CARACTERIZAÇÃO ÓTICA

Absortância solar(α_s)



Spectrophotometer UV-VIS-NIR Perkin-Elmer Lambda 950 (175 – 3300 nm) with Integrating sphere InGaAs 150 mm (200 – 2500 nm)

Emissividade(ϵ_T)



FTIR (7800 – 225 cm⁻¹) (1.3 – 44. 4 μm) With integrating sphere MID-IR (5000-250 cm⁻¹) (2 – 40μm)

ESPECTROSCOPIA DE IMPEDÂNCIA ELECTROQUÍMICA (EIS)

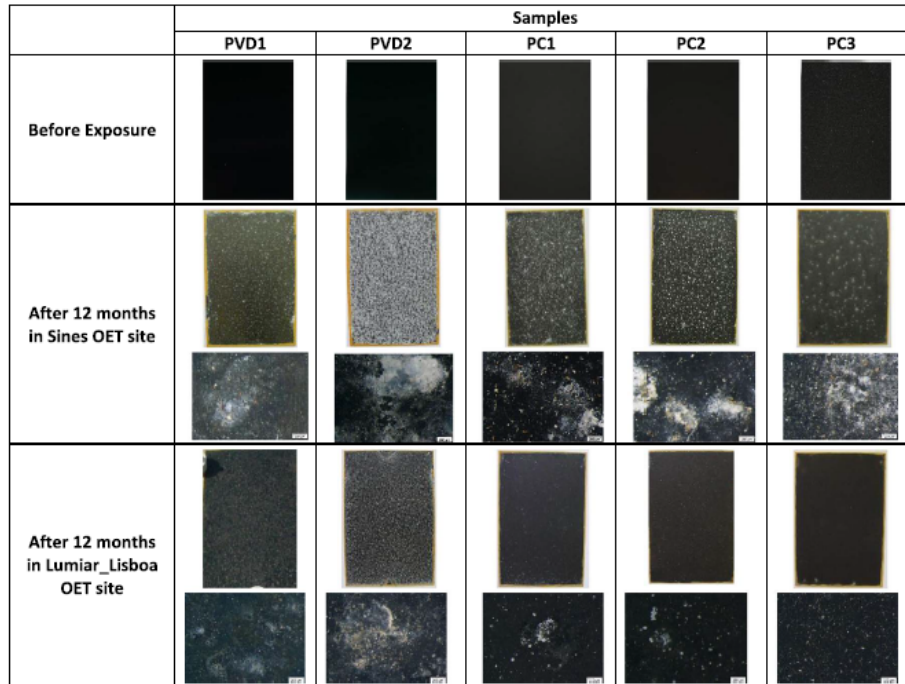
Imersão em 0,5M Na₂SO₄ e em 0,5M NaCl

Gamry FAS1 Femtostat & Gamry Ref 600 PTC (paint test cell) com combinação de 3 eléctrodos

Tempo de teste: 28 dias

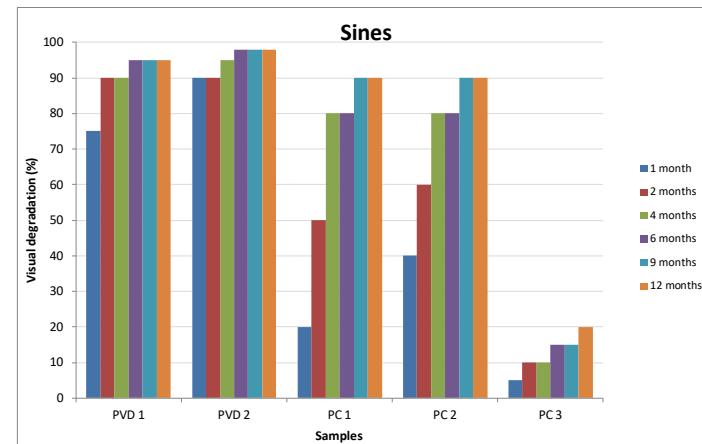


Estações atmosféricas

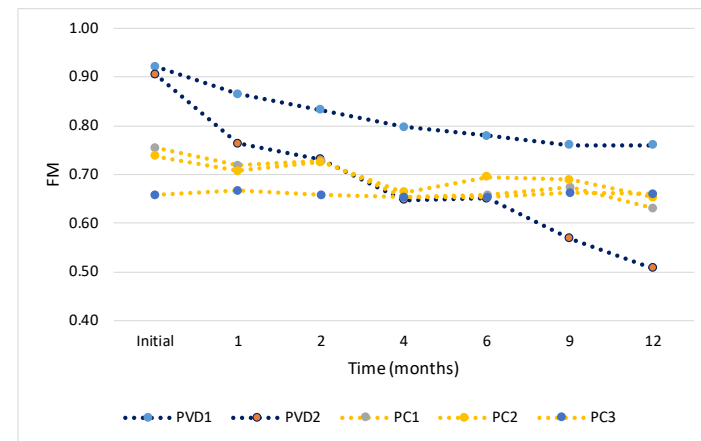


Proteção anticorrosiva
 $PC3 > PC1 \cong PC2 >> PVD1 > PVD2$

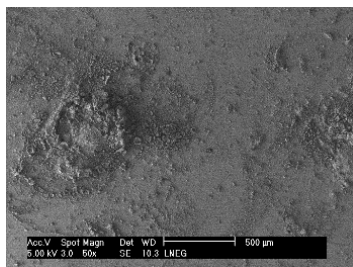
FM: $PVD1 > PC3 \cong PC1 \cong PC2 >> PVD2$



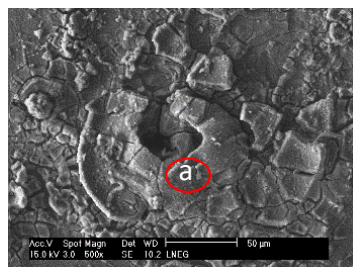
Diamantino T. C. et al. Solar Energy Materials & Solar Cells 166 (2017) 27–38
<http://dx.doi.org/10.1016/j.solmat.2017.03.004>



EXPOSIÇÃO NATURAL – REVESTIMENTOS PVD **FORA** DOS COLETORES SOLARES (6 MESES)



PVD2 (1)

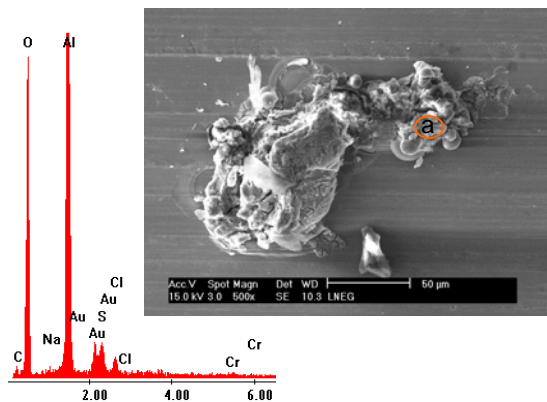


PVD2 (2)

Chemical elements	wt% (PVD2 (2a))
Carbon	6
Oxygen	53
Sodium	2
Magnesium	3
Aluminium	32
Sulfur	2
Chlorine	2

Diamantino T. C. et al. Solar Energy Materials & Solar Cells 166 (2017) 27–38
<http://dx.doi.org/10.1016/j.solmat.2017.03.004>

EXPOSIÇÃO NATURAL – REVESTIMENTOS PVD **DENTRO** DOS COLETORES SOLARES (24 MESES)



ANÁLISES QUÍMICAS DENTRO DO COLETOR NA SUPERFÍCIE DO REVESTIMENTO PVD

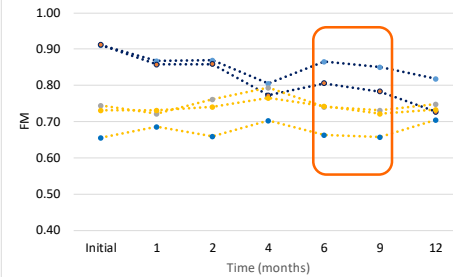
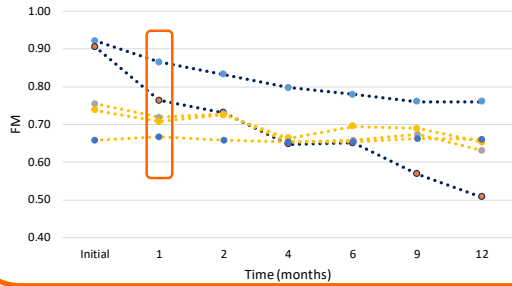
Interior do coletor	Cloreto mg/L	Nitrato mg/L	Sulfato mg/L
1	0.7	<1	<1
2	1.0	<1	<1
3	4.1	1.8	<1

Diamantino et al. Eurocorr 2017

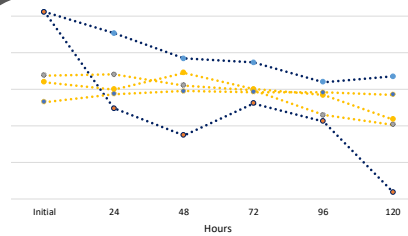
Resultados

ESTAÇÕES ATMOSFÉRICAS

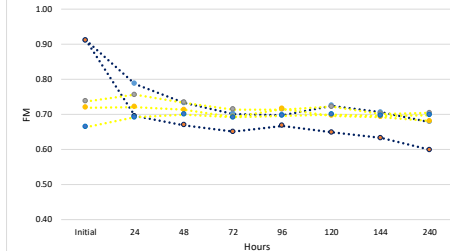
●●●● PVD1 ●●●● PVD2 ●●●● PC1 ●●●● PC2 ●●●● PC3



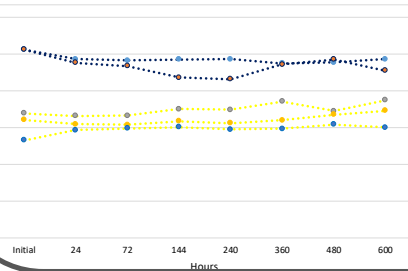
ENSAIOS ACELERADOS ALTERNATIVOS



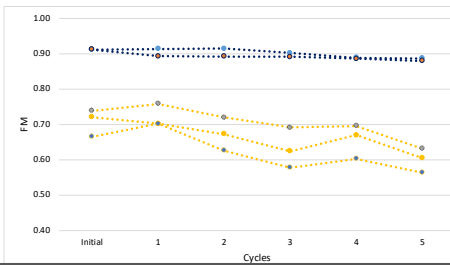
NEVOEIRO
SALINO
NEUTRO



EXPOSIÇÃO
CÍCLICA COM
NEVOEIRO
SALINO,
SECAGEM,
MOLHAGEM

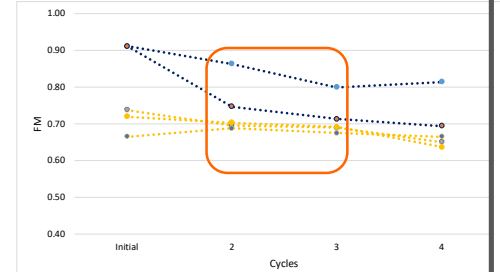


EXPOSIÇÃO CÍCLICA
COM
SECAGEM_MOLHAGEM



ATMOSFERA
SATURADA COM
SO₂

VARIAÇÃO CÍCLICA DE MISTURA DE GASES (SO₂+NO₂), ELEVADA HUMIDADE, NEVOEIRO SALINO E SECAGEM



Diamantino et al. Solar Energy Materials and Solar Cells, (2017) 166, 27-38 <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2017.03.004>

DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PRODUTOS (NOVAS TINTAS SELECTIVAS)



ESPECIFICAÇÃO DOS MATERIAIS



IMPORTÂNCIA DAS ESTAÇÕES ATMOSFÉRICAS PARA ESTUDOS DE DURABILIDADE DOS MATERIAIS E PARA A INVESTIGAÇÃO PRÉ-NORMATIVA AO NÍVEL DOS ENSAIOS ACELERADOS

INTEGRAÇÃO DOS ESTUDOS DE CORROSÃO NOS ESQUEMAS DE CERTIFICAÇÃO DOS PRODUTOS/COMPONENTES DOS SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS



Energia Solar Térmica com Concentração Solar

Energia Solar Termoelétrica (STE)

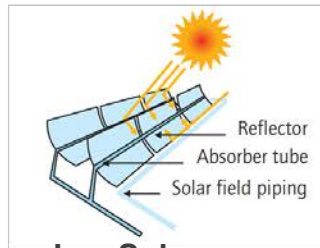
Energia Heliotérmica

Energia Solar Concentrada
CSP – Concentrated Solar Power

Coletor cilíndrico-parabólico



Foco Linear



Luz Solar

↓ concentração

Calor

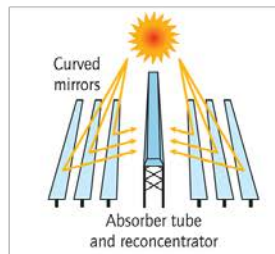
↓ Turbina

Electricidade

Reflector linear de Fresnel

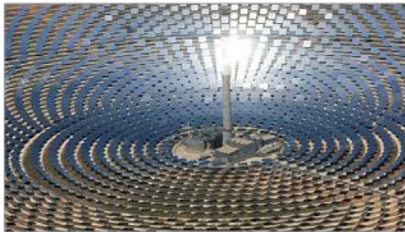


Foco Linear

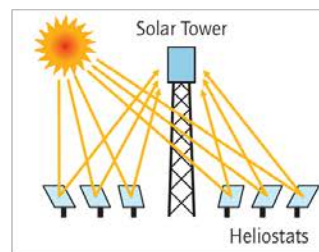


Armazenamento
térmico de energia

Torre Solar



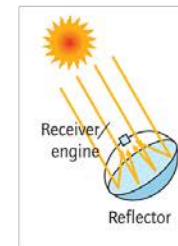
Foco Pontual



Disco parabólico

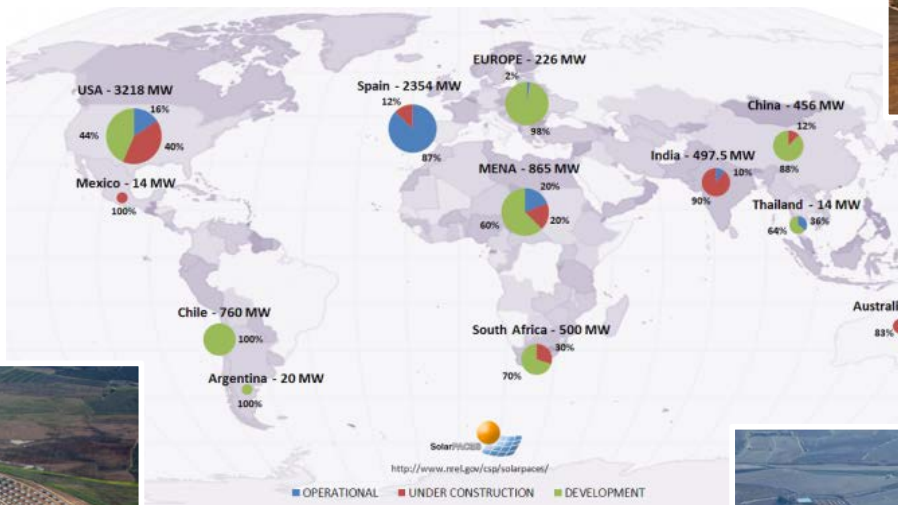


Foco Pontual



REFLECTORES
MATERIAIS METÁLICOS E HTF

Energia Heliotérmica no Mundo



Energia Solar Térmica com concentração solar



[Início](#)
[Energia Heliotérmica](#)
[Vantagens](#)
[Fatos](#)
[Glossário](#)
[Notícias](#)

20.03.2018 |

Brasil começa a aproveitar seu potencial de energia solar



A geração de energia solar cresce e traz economia na conta de luz de residências e empresas – mas o potencial no país está longe de ser explorado.

Ensino à Distância - Moodle

Curso EAD

Energia Heliotérmica

Ler mais

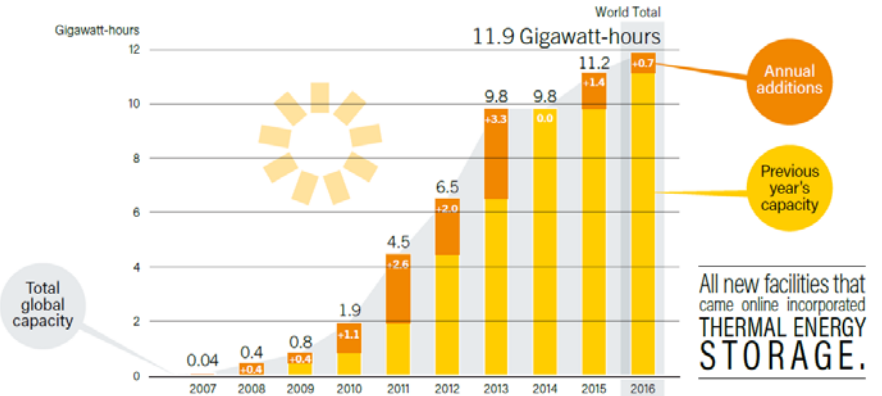
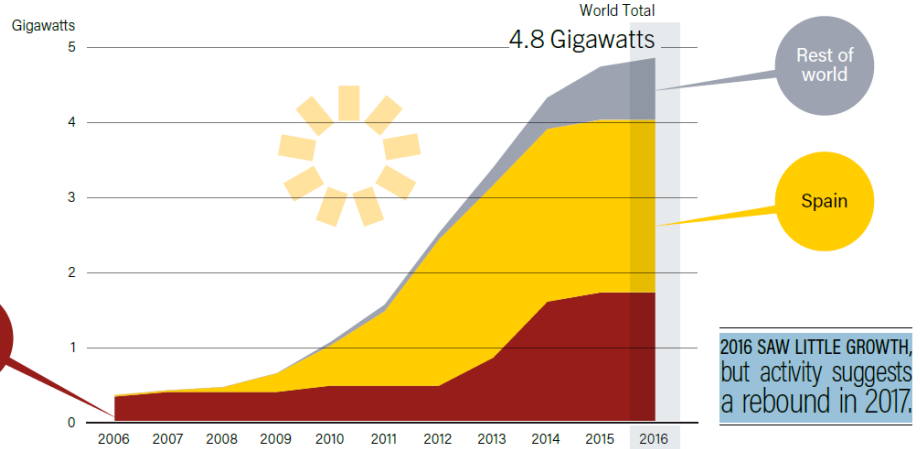
Mapa virtual

Divulgar, em um mapa interativo e consultá as principais usinas heliostéricas em operação.

Ler mais

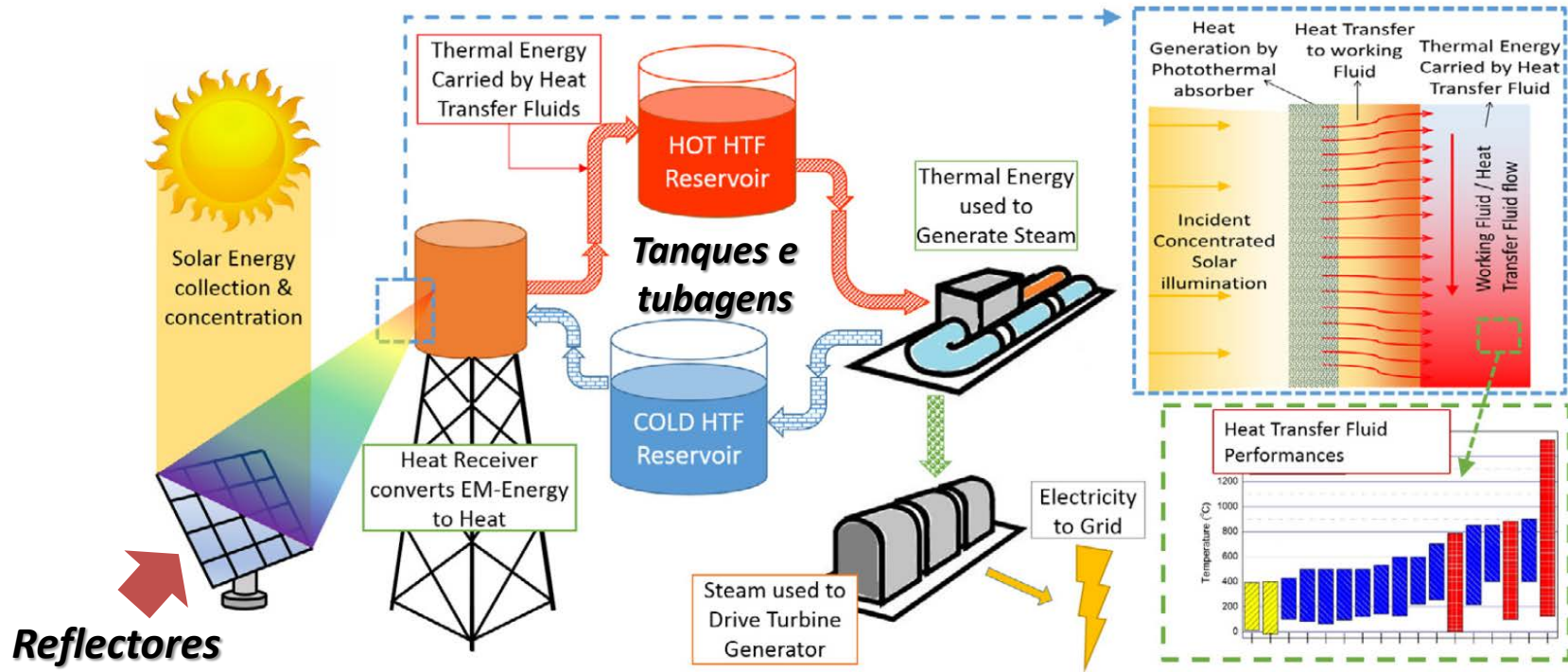
22.01.2018 | Cooperação Internacional

Vídeo: seis mitos sobre a Energia Heliotérmica



http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/06/17-8399_GSR_2017_Full_Report_0621_Opt.pdf

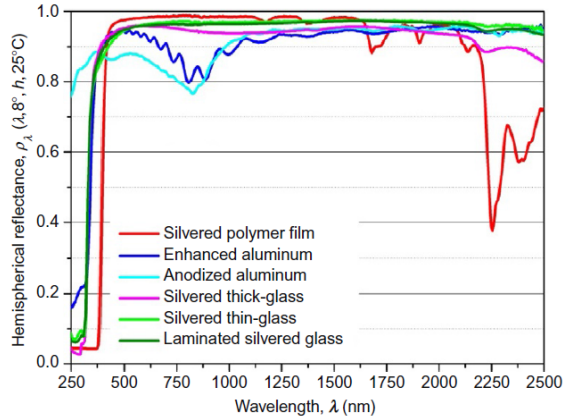
CSP com armazenamento térmico - Fluidos de transferência de calor



graphical abstract

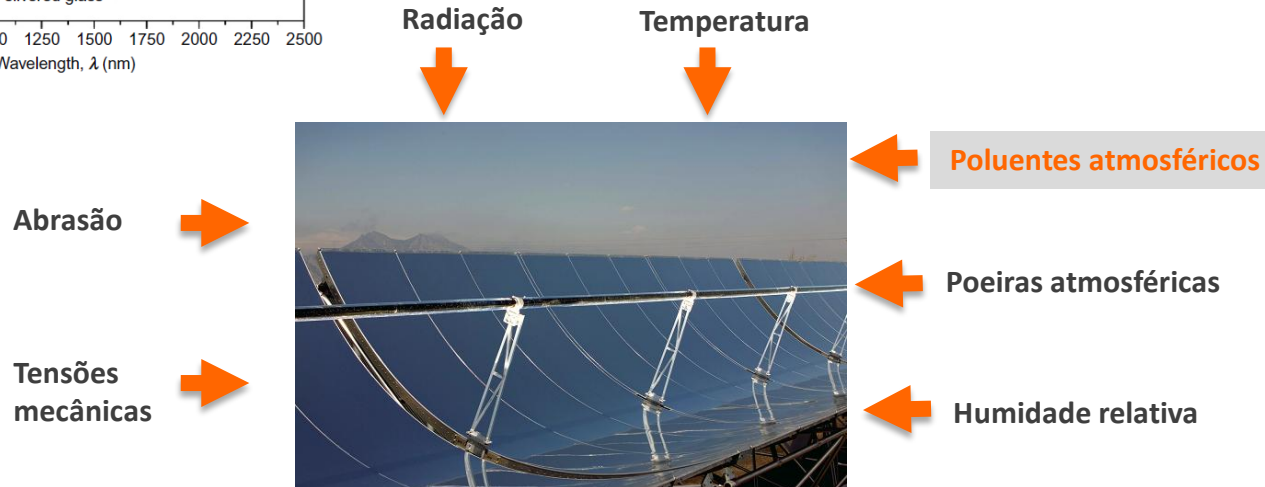
K. Vignarooban et al. Applied Energy 146 (2015) 383–396

Refletores



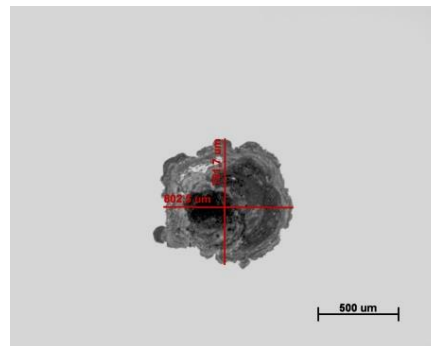
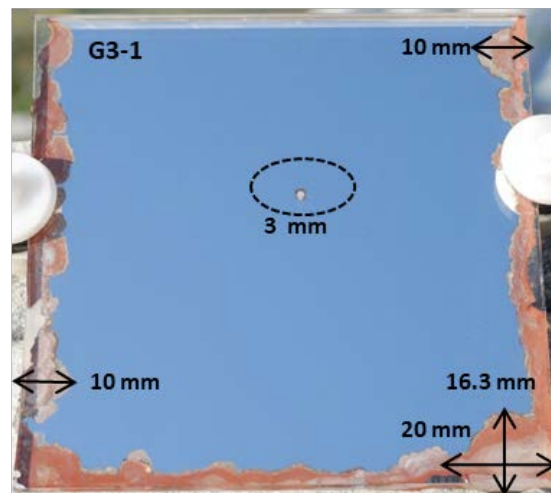
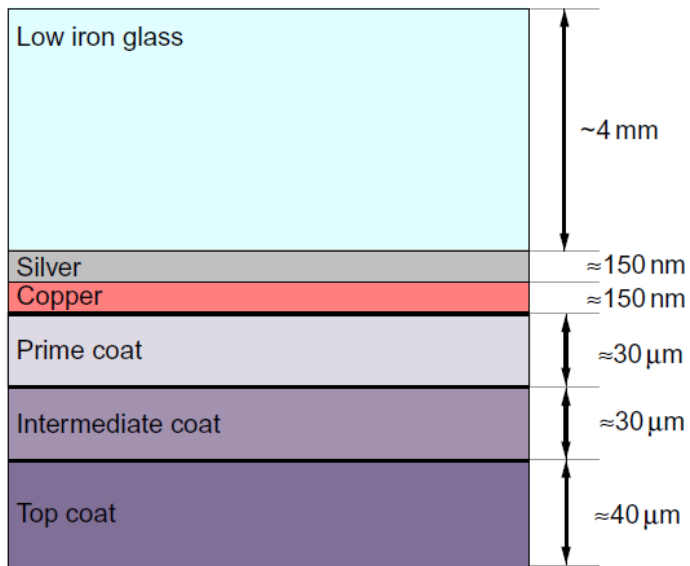
Type of mirror	Solar hemispherical reflectance
Silvered thin-glass	0.94–0.96
Laminated silvered glass	0.95–0.96
Silvered thick-glass	0.94–0.95
Silvered polymer film	0.90–0.95
Aluminum	0.83–0.90

A. Fernández-García *et al.* Mirrors in The performance of CSP systems. Analysis, measurement and assessment. Peter Heller (Ed.) 2017



Refletores

Refletores de Vidro

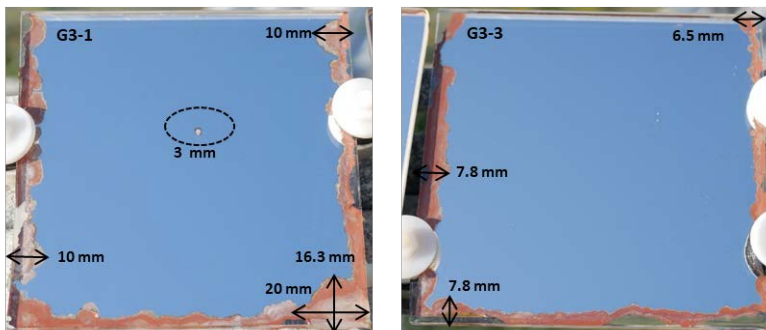


Refletores

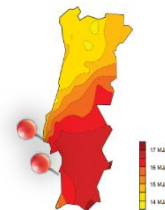
2 anos de
exposição

Refletores vidro

(atmosfera corrosividade muito alta - extrema)

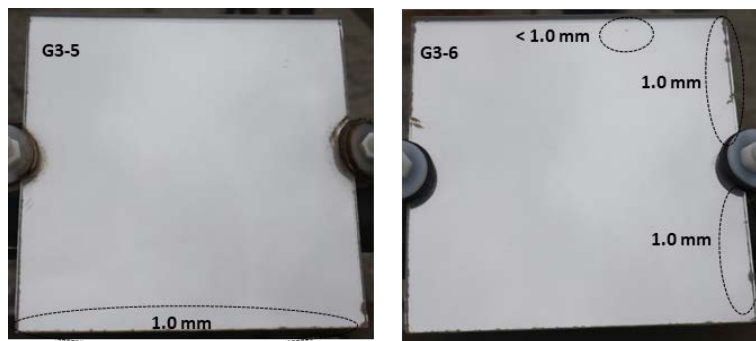


Máxima progressão da corrosão a partir das arestas **20 mm**;
Corrosão fora das arestas (\varnothing 3 mm);
Descamação do revestimento orgânico a partir das arestas.



Refletores vidro

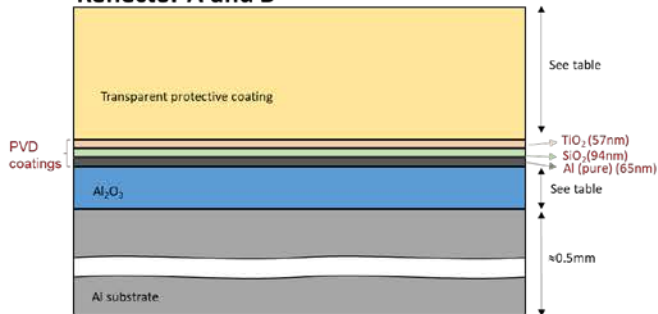
(atmosfera corrosividade baixa - média)



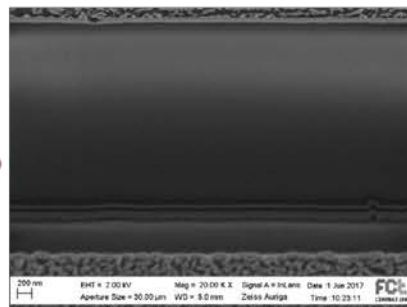
Máxima progressão da corrosão a partir das arestas **1 mm**;
Corrosão fora das arestas (<1 mm);
Descamação do revestimento orgânico a partir das arestas apenas na aresta superior

Refletores de alumínio

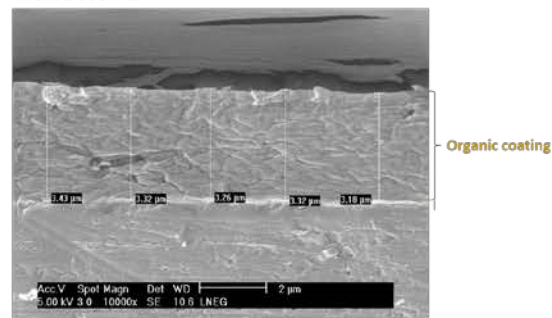
Reflector A and D



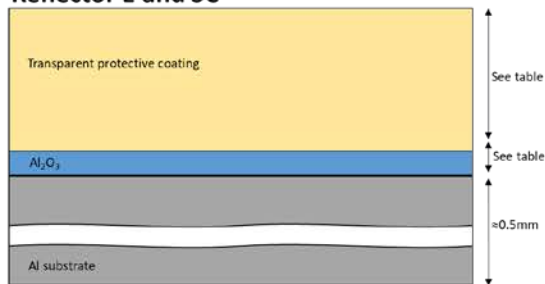
Reflector A



Reflector E



Reflector E and SC



Adapted from [4]

Reflector type	Solar Hemispherical Reflectance (Average / Standard deviation (%))*	Monochromatic Specular Reflectance $\rho_{s,\phi}$ (660nm, 15°, 12.5mrad) (%)**	Al ₂ O ₃ (anodized coating) (µm)	PVD coating system	Protective coating and thickness (µm)
A	89.4 / 0.1	84.2±0.6	0.9	✓	Sol gel SiO ₂ (A) (2.5)
D	89.6 / 0.1	81.5±1.0	1.4	✓	Sol gel SiO ₂ (D) (2.3)
E	85.3 / 0.0(3)	78.8±0.1	0.3	X	Polymer (3.3)
SC	83.6 / 0.4	72.3±1.7	0.4	X	Sol gel SiO ₂ (SC) (2.0)

*From 10 replicates; **From 49 replicates [1]

The reflectors with PVD coatings presents a higher reflectance than those without it.

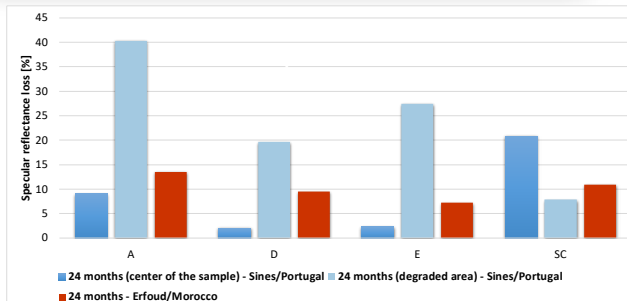
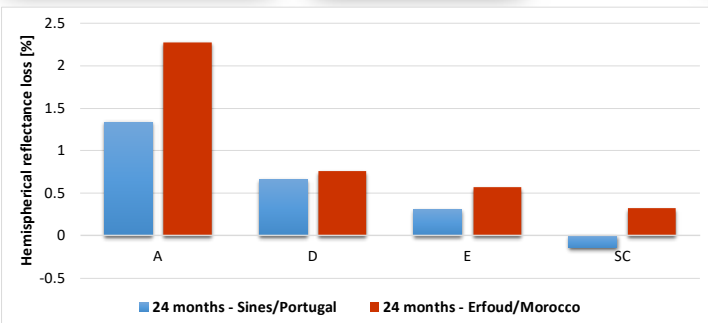
Diamantino et al. Eurocorr 2017

Refletores

Erfoud_Marrococ

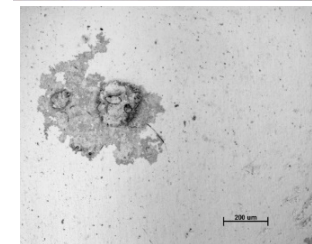
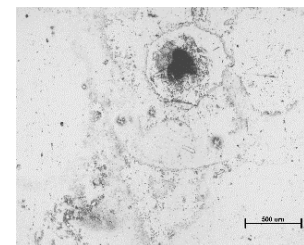


Sines_Portugal



Diamantino et al. Eurocorr 2017

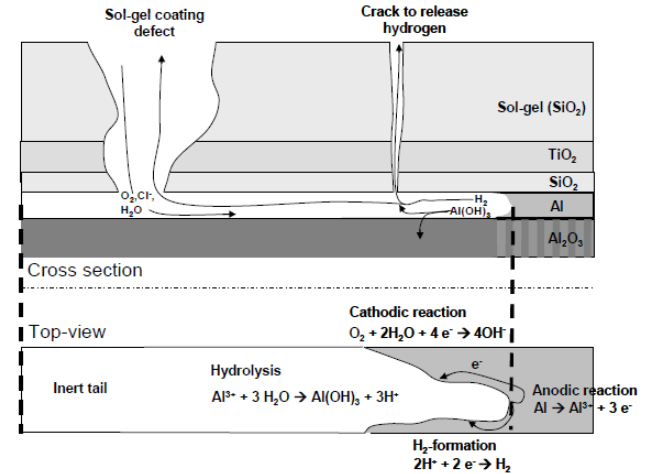
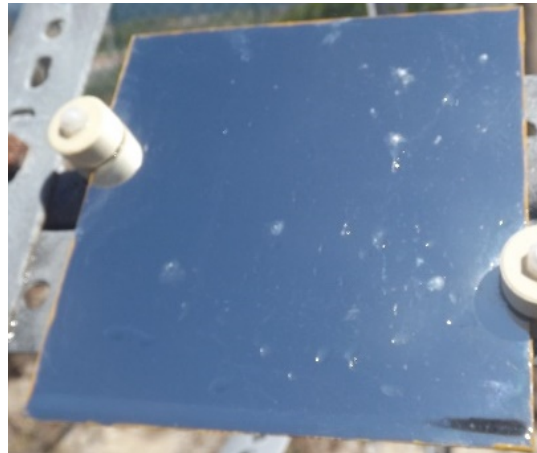
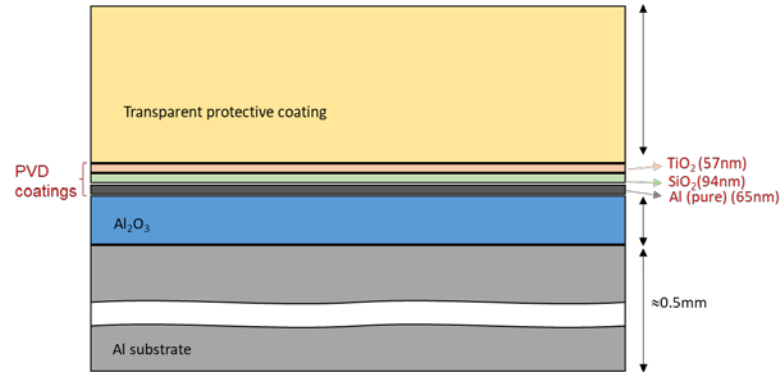
Micropicadas
Corrosão revestimento PVD
Corrosão por picadas



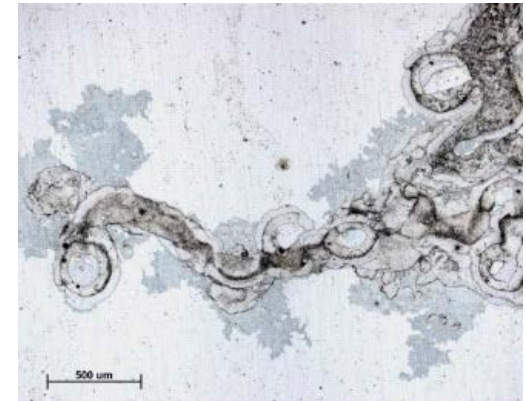
Diamantino et al. Eurocorr 2017

Refletores

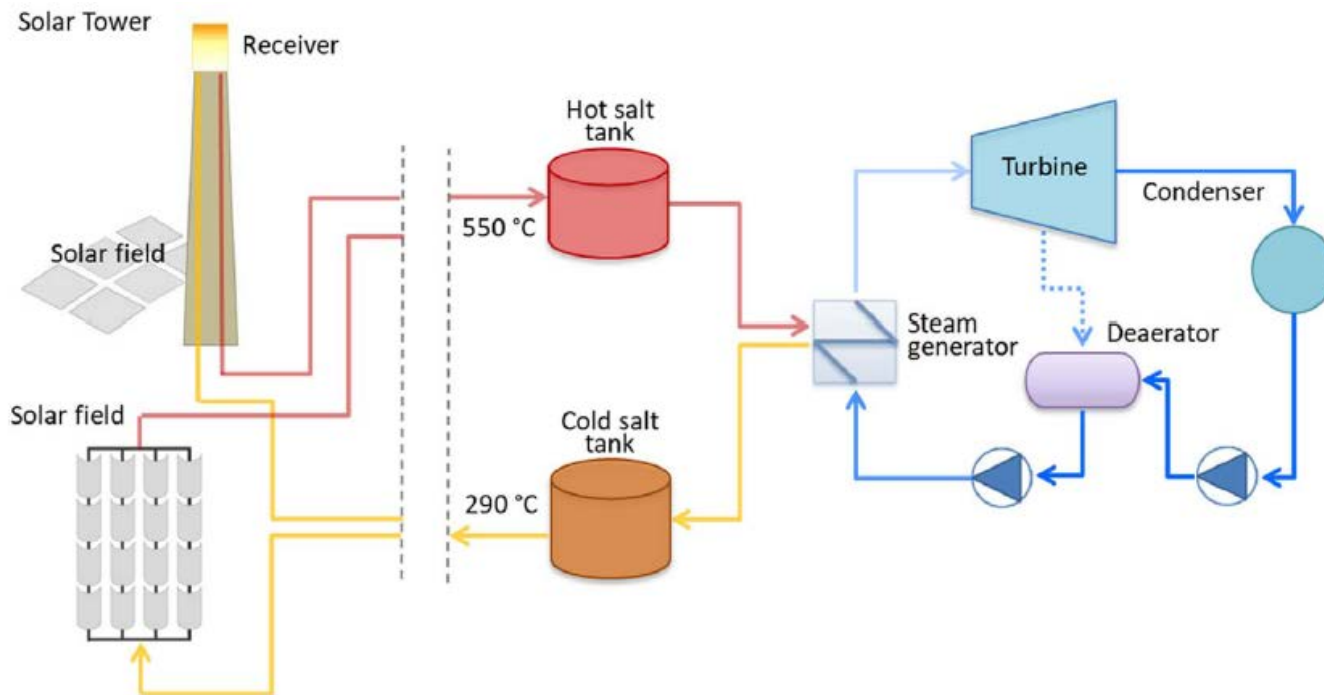
Refletores de Alumínio



Sutter, F. and Wette, J. and Lopez-Martin, R. (2012) SolarPACES 2012

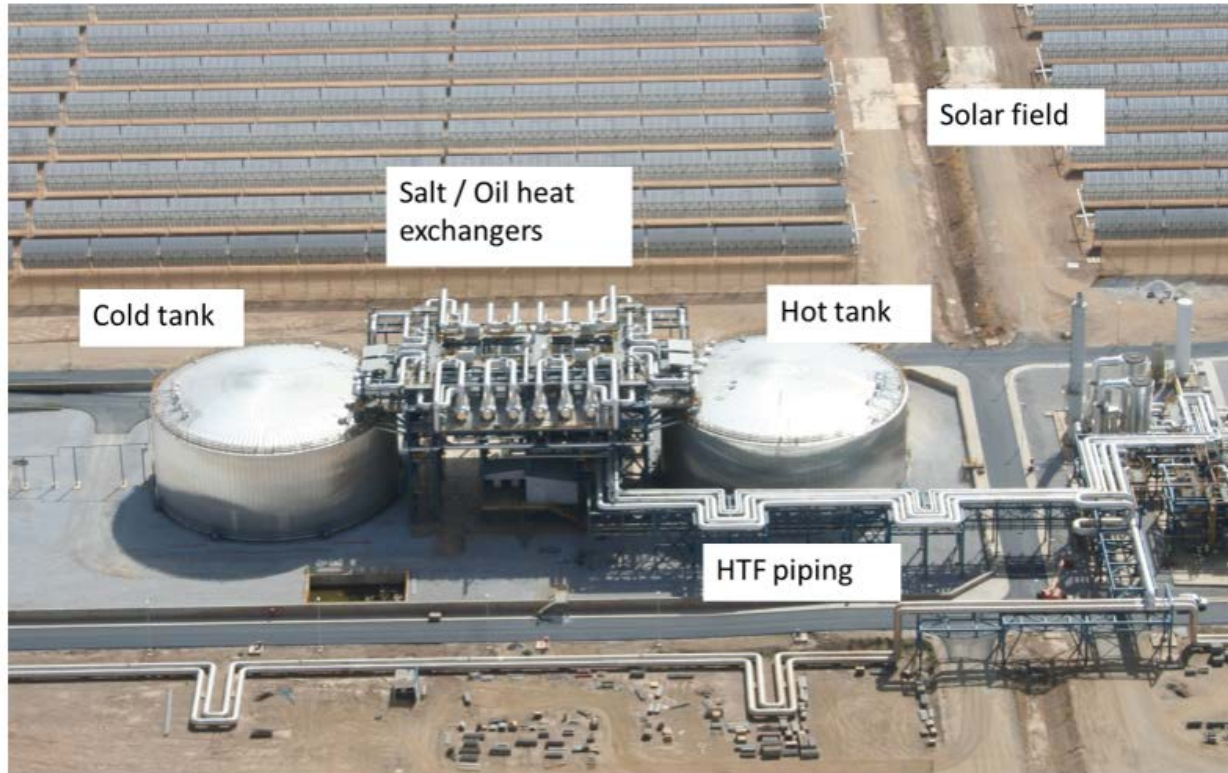


Esquema simplificado de uma central CSP



Magdalena Walczak et al. Renewable and Sustainable Energy Reviews 86 (2018) 22–44
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.01.010>

Armazenamento Térmico de energia – Sais fundidos



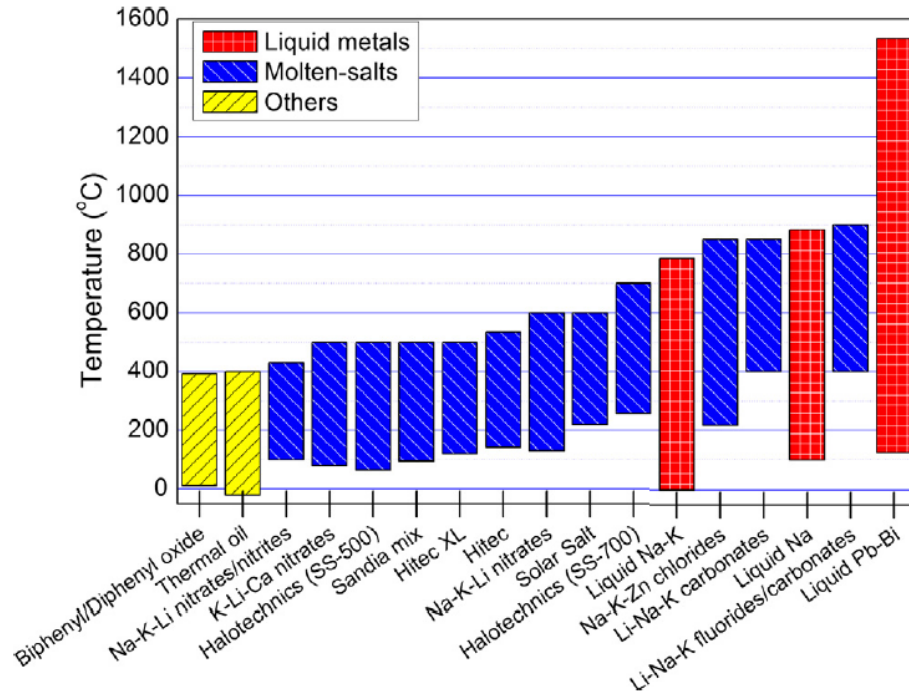
<https://bigdishesolar.com/>

Armazenamento térmico de energia – Sais fundidos



Elevadas temperaturas são necessárias para aumentar a eficiência do Sistema CSP. Os sais fundidos continuam a ser os candidatos mais promissores para atingir temperaturas até aos 800°C.

Gamas de temperatura de fusão / funcionamento dos fluidos de transferência de calor (HTF)



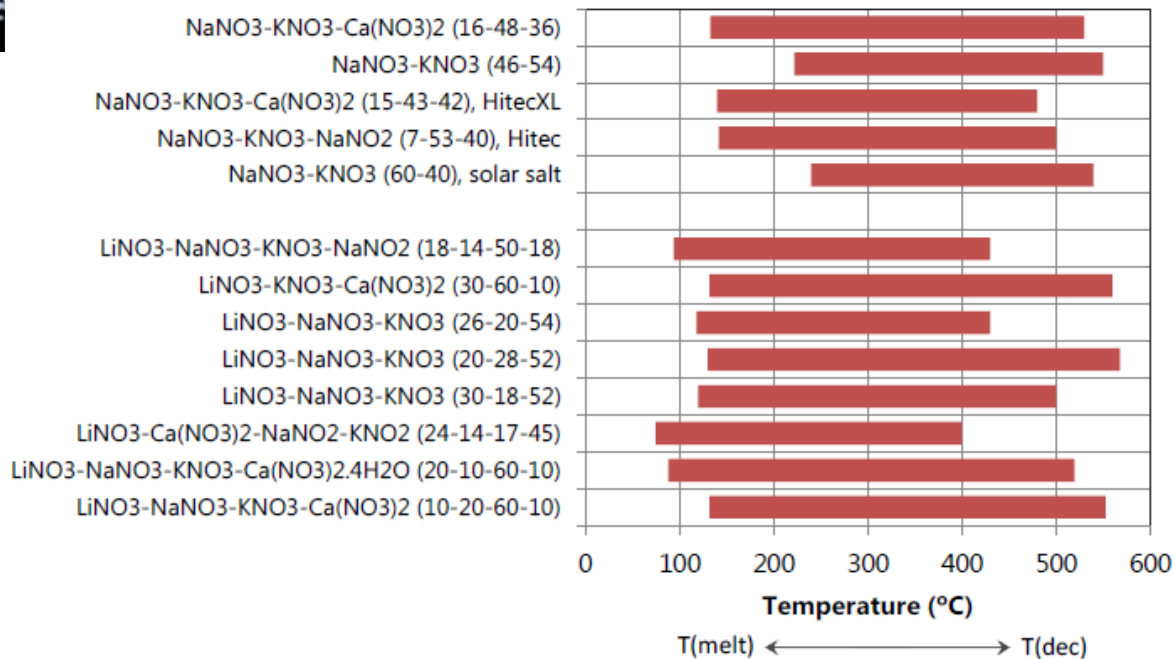
K. Vignarooban et al. Applied Energy 146 (2015) 383–396

- Baixo ponto de fusão
- Elevado calor específico
- Elevada condutividade térmica
- Elevado ponto de ebulição
- Baixa pressão de vapor
- Baixa viscosidade
- Baixa reatividade
- Baixo custo
- Disponibilidade económica
- Baixa Corrosividade**



CALOR SENSÍVEL

Gamas de temperatura de fusão / funcionamento dos fluidos de transferência de calor (HTF)



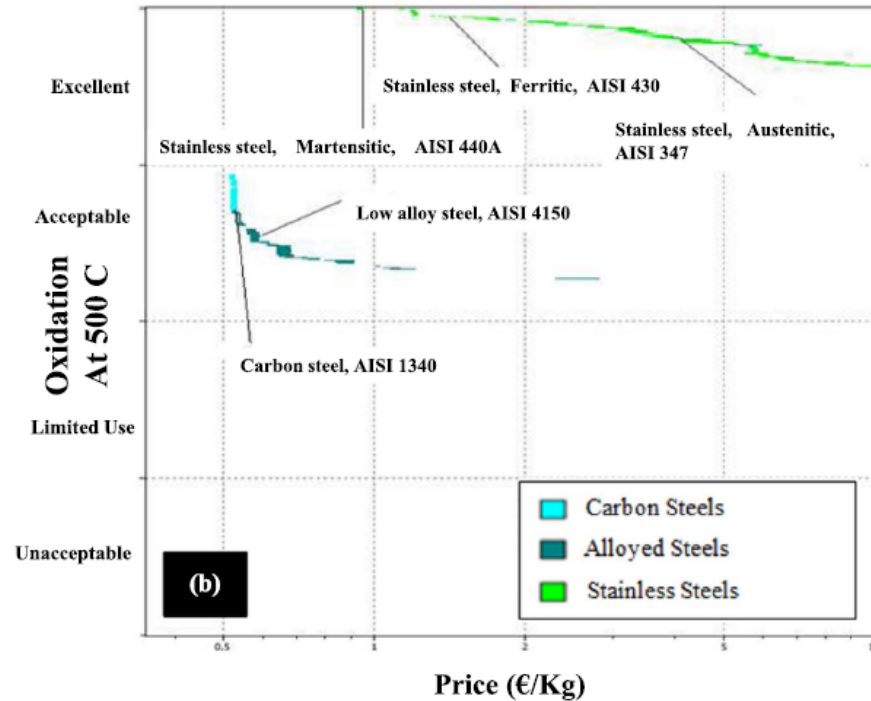
Pedrosa *et al* ECOS 2018

The falling cost of concentrating solar power



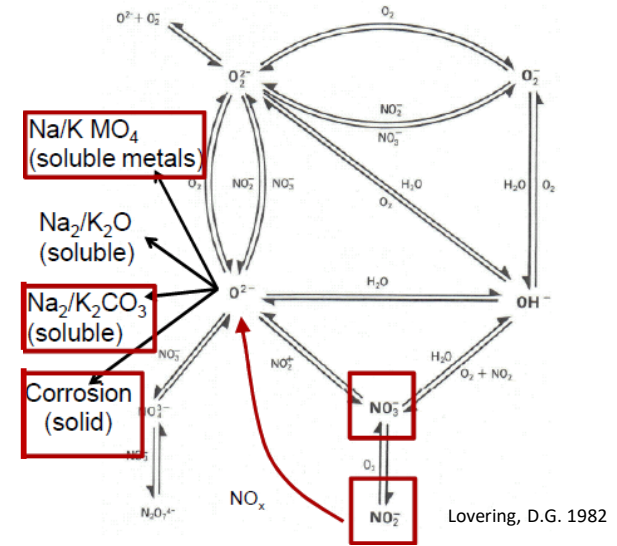
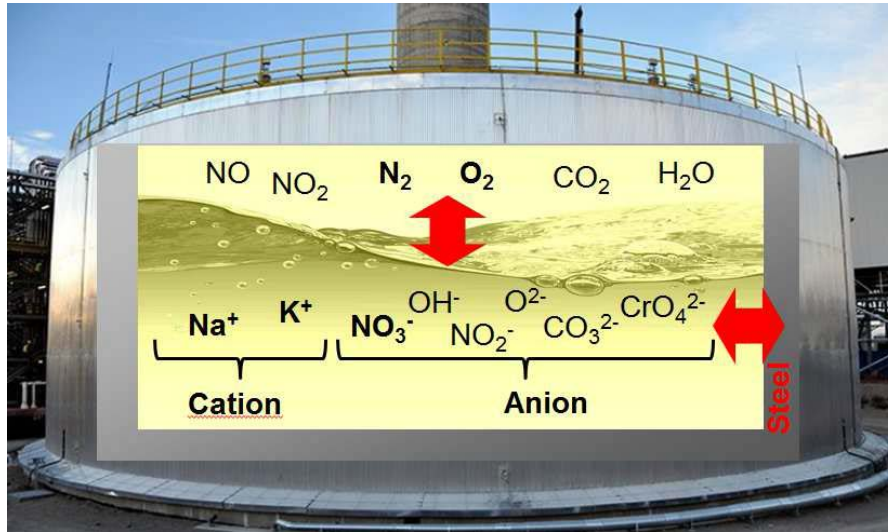
<http://www.renewableenergyworld.com/>

**ELEVADA EFICIÊNCIA E DURABILIDADE
BAIXO CUSTO**



F.J. Ruiz-Cabañas et al. Solar Energy Materials & Solar Cells 163 (2017) 134–147

Armazenamento de energia – Sais fundidos



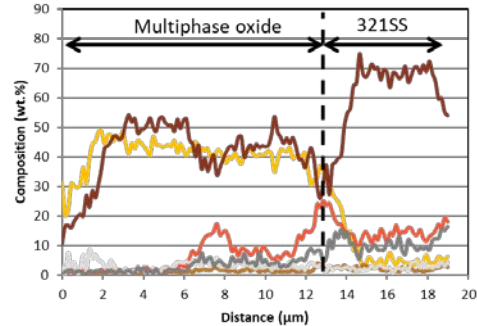
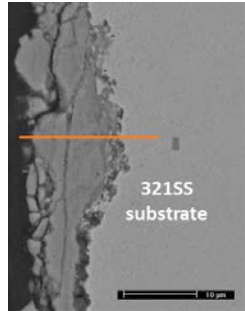
Estabilidade dos materiais metálicos em contacto com os HTF é um parâmetro crucial para a longevidade dos sistemas CSP.

Que materiais metálicos e quais os tempos de vida



Sais fundidos e a Corrosão

SS 321H



XRD



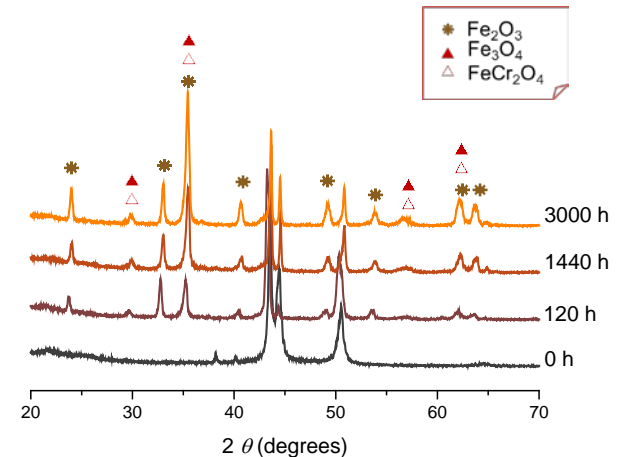
SEM/EDS



Poucos dados estão disponíveis sobre a degradação dos materiais estruturais tendo em conta as análises de falha.

Outros estudos de corrosão são necessários para obter o conhecimento sobre os mecanismos de degradação com diferentes sais fundidos para as instalações CSP nomeadamente:

- Ensaio de corrosão dinâmicos
- Ensaio electroquímicos
- Ensaio mecânicos (fadiga e de corrosão sob tensão)



A. Gomes et al 2016 doi:10.18086/eurosun.2016.03.12
Available at <http://proceedings.ises.org>

Sais fundidos e a Corrosão

Renewable and Sustainable Energy Reviews 66 (2018) 22–44



Renewable and Sustainable Energy Reviews

journal homepage: www.elsevier.com/locate/rser

Materials corrosion for thermal energy storage systems in concentrated solar power plants

Magdalena Walczak^{a,b,*}, Fabiola Pineda^{b,c}, Ángel G. Fernández^d, Carlos Mata-Torres^b, Rodrigo A. Escobar^{a,b}

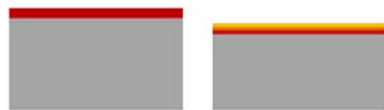
Aços carbono e aços de baixa liga
Aços inoxidáveis
Ligas de níquel



General corrosion



Hot corrosion



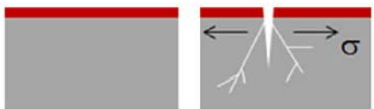
Localized corrosion (pitting)



Localized corrosion (crevice)



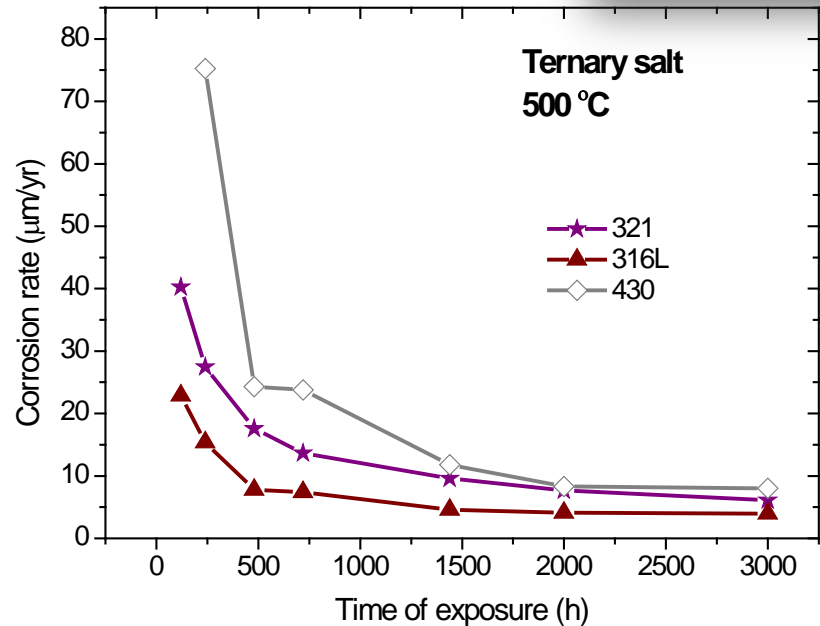
Stress corrosion cracking



Flow accelerated corrosion



Resumo dos mecanismos de corrosão identificados nas ligas metálicas expostas aos sais fundidos



ENERGIAS RENOVÁVEIS: MATERIAIS E A DURABILIDADE, UMA INVESTIGAÇÃO INTERDISCIPLINAR



MUITO OBRIGADA PELA ATENÇÃO

teresa.diamantino@lneg.pt



www.lneg.pt

AGRADECIMENTO ESPECIAL A TODOS OS COLEGAS DO LABORATÓRIO DE MATERIAIS E REVESTIMENTOS (LMR) E DO LABORATÓRIO DE ENERGIA SOLAR (LES) DO LNEG

Este trabalho teve o Apoio financeiro da FCT através dos projetos DURASOL (FCOMP-01-0124-FEDER-027507 (Ref. FCT RECI/EMS-ENE/0170/2012)) e LIFESOLAR POCI-01-0145-FEDER-016709 FCT (PTDC/EMS-ENE/0578/2014)



Project STAGE-STE - Scientific and Technological Alliance for Guaranteeing the European excellence in Concentrating Solar Thermal energy (7FP) (2014-2018) GA 609837



Funded by the
European Union



New Storage Latent and Sensible Concept for High Efficient CSP Plants. H2020 project, GA No. 720985

