

European Twinning for research in Solar energy to (2) water (H<sub>2</sub>O) production and treatment technologies  
GA Number: 101079305  
European Research Executive Agency REA.C3



Funded by  
the European Union

# Sol2H2O



UNIVERSIDADE  
DE ÉVORA



Università  
degli Studi  
di Palermo

itc

INSTITUTO TECNOLÓGICO  
DE CANARIAS



# Fórum de Especialização regional:

## Soluções tecnológicas para a produção e tratamento de águas por via solar (nomeadamente, Dessalinização e Fotocatálise solares)

ÉVORA, 31.10.2023

# Sol2H2O



Pedro Horta

# Projeto Sol2H2O

European Twinning for research in Solar energy to (2) water  
(H2O) production and treatment technologies

# OBJETIVOS E IMPACTOS DO PROJETO

**Sol2H2O** aims at enhanced networking with the Coordinator Widening partner, raising its research profile through the exploitation of their staff and infrastructural synergies in the **establishment of a reference European facility for the development and testing of Circular Solar-driven Water Production & Treatment technologies.**



# OBJETIVOS E IMPACTOS DO PROJETO

## Produção de água com energia solar e soluções de “Zero-Liquid Discharge”

Com foco tecnológico em

- Desalinização por Osmose inversa alimentada por sistemas fotovoltaicos (PV-RO)
- Destilação por Membrana tipo “Vacuum-enhanced air-gap” para produção de água doce por via de salmouras e acoplamento com energia solar térmica
- Processos de tratamento de salmoura para recuperação de matérias-primas e descarga de zero líquido (ZLD)

## Energia solar no tratamento de águas residuais

Conceptualização e construção de fotorreatores para diferentes aplicações como tratamento de efluentes industriais e urbanos para reutilização (actividades agrícolas)

- Otimização de fotorreatores (diâmetro do tubo absorvedor do CPC, alteração do mecanismo de agitação em reatores “raceway pond” (RPR)). Adequabilidade às características do efluente e à qualidade da água tratada dependendo dos fins a que se destina (reutilização na irrigação);
- Combinação com sistemas fotovoltaicos para suprir a energia dos equipamentos auxiliares do fotorreator

# Sol2H2O

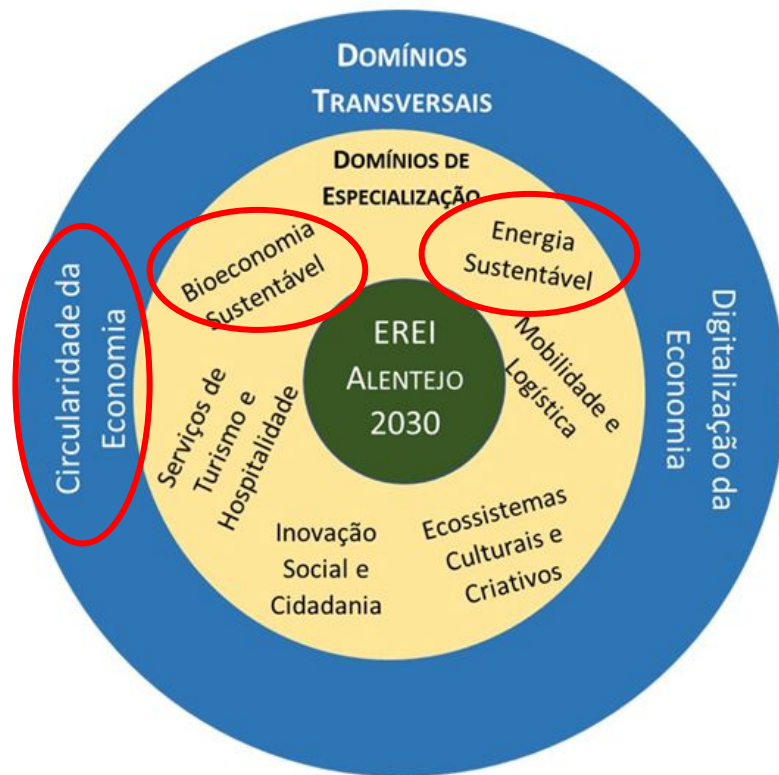


Pedro Horta

# Impacto na Estratégia Regional

Évora, 31.10.2023

# EREI Alentejo 2030



EREI Alentejo 2030.

# EREI Alentejo 2030

EREI Alentejo 2030.

## INCREMENTAR A SUSTENTABILIDADE E COESÃO TERRITORIAL - LINHAS DE AÇÃO

Desenvolvimento de I&DT com vista a uma melhoria nos indicadores ligados à biodiversidade e ativos regionais, bem como à valorização sustentável de sistemas produtivos chave da região como são a Indústria Extrativa, o Ecossistema da Floresta Mediterrânica, os Sistemas de Regadio e os Ecossistemas do Mar e Dulçaquícolas

Incorporação de I&DT na economia que impacte sobre a transição energética (descarbonização) e sobre a transição dos modelos lineares para modelos circulares (utilização eficiente dos recursos solo e água, reforço do uso de materiais secundários e diminuição dos resíduos)

Atratividade do Alentejo com base nos seus elementos patrimoniais e nas amenidades proporcionadas pelos ecossistemas, com vista a uma cidadania ambiental e a uma elevada qualidade de vida (económica, ambiental e social).

## REFORÇAR O VALOR DAS CADEIAS PRODUTIVAS REGIONAIS - LINHAS DE AÇÃO

Incorporação de I&DT nas cadeias produtivas que impacte sobre as “falhas de cadeia”, criando assim processos mais “completos” (da extração à comercialização) e de maior valor acrescentado para a região

Incremento dos efeitos âncora e de spillover sobre (e dos) projetos estruturantes da região, reforçando a sua inter-relação com o conjunto das cadeias produtivas regionais e/ou criando novas oportunidades empresariais

Incorporação de I&DT na economia regional que impactem positivamente sobre componentes como a valorização unitária dos produtos e serviços, sobre a internacionalização e sobre a evolução ponderada da venda de produtos de alta tecnologia

# EREI Alentejo 2030

EREI Alentejo 2030.

## INCREMENTAR A QUALIFICAÇÃO DOS RECURSOS HUMANOS REGIONAIS (TALENTOS) - LINHAS DE AÇÃO

Investimento regional em ações de I&I&DT que permitam, assente no reforço da ligação entre as Instituições de Ensino Superior, os centros de valorização e transferência de tecnologia, as empresas e as instituições, a construção de conhecimento/soluções aplicado/aplicadas e a criação de ecossistemas digitais e criativos abertos, que sejam propícios à atração de talentos e à criação de emprego qualificado

Investimento regional em I&DT e em formação/qualificação/literacia digital (ao longo da vida) que sejam capazes de produzir efeitos positivos em dinâmicas como a evolução das qualificações a nível regional, a diminuição das desigualdades no acesso ao emprego, a evolução do registo de patentes, a evolução da produção de inovação aplicada e a evolução do investimento empresarial em recursos humanos altamente qualificados

Desenvolvimento e prototipagem de Políticas Públicas Experimentais e de soluções em I&DT que, com base nas características distintivas da região, sejam capazes de gerar produtos, bens e serviços de alta tecnologia no âmbito dos diferentes domínios regionais (transversais e de especialização).



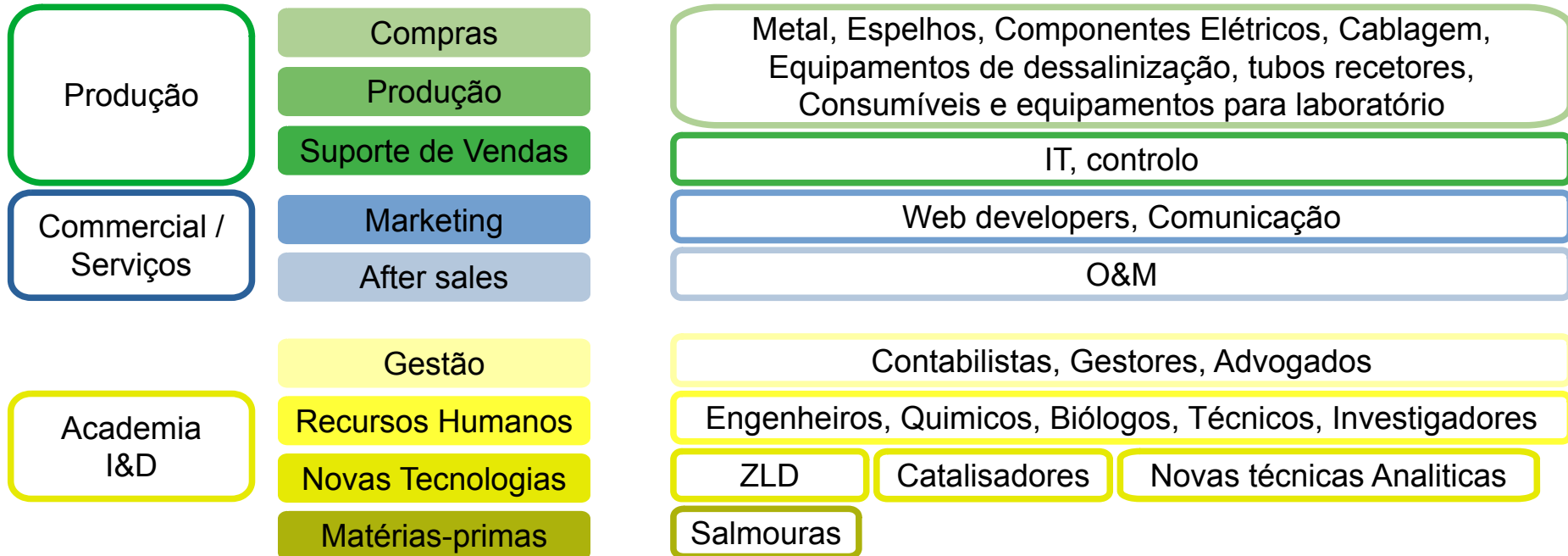
# EREI Alentejo 2030

- **Ações Transformativas de Base Regional (T-REGIO):** Gases renováveis, Energias renováveis, Eficiência energética
- **Linhas de Ação Específicas:**
  - Incrementar a eficiência energética das cadeias produtivas;
  - Promoção das energias renováveis (produção, armazenamento e consumo).

EREI Alentejo 2030.

# EREI Alentejo 2030

## Melhoria da competitividade e Atractividade económica para a região do Alentejo - EREI



# Sol2H2O

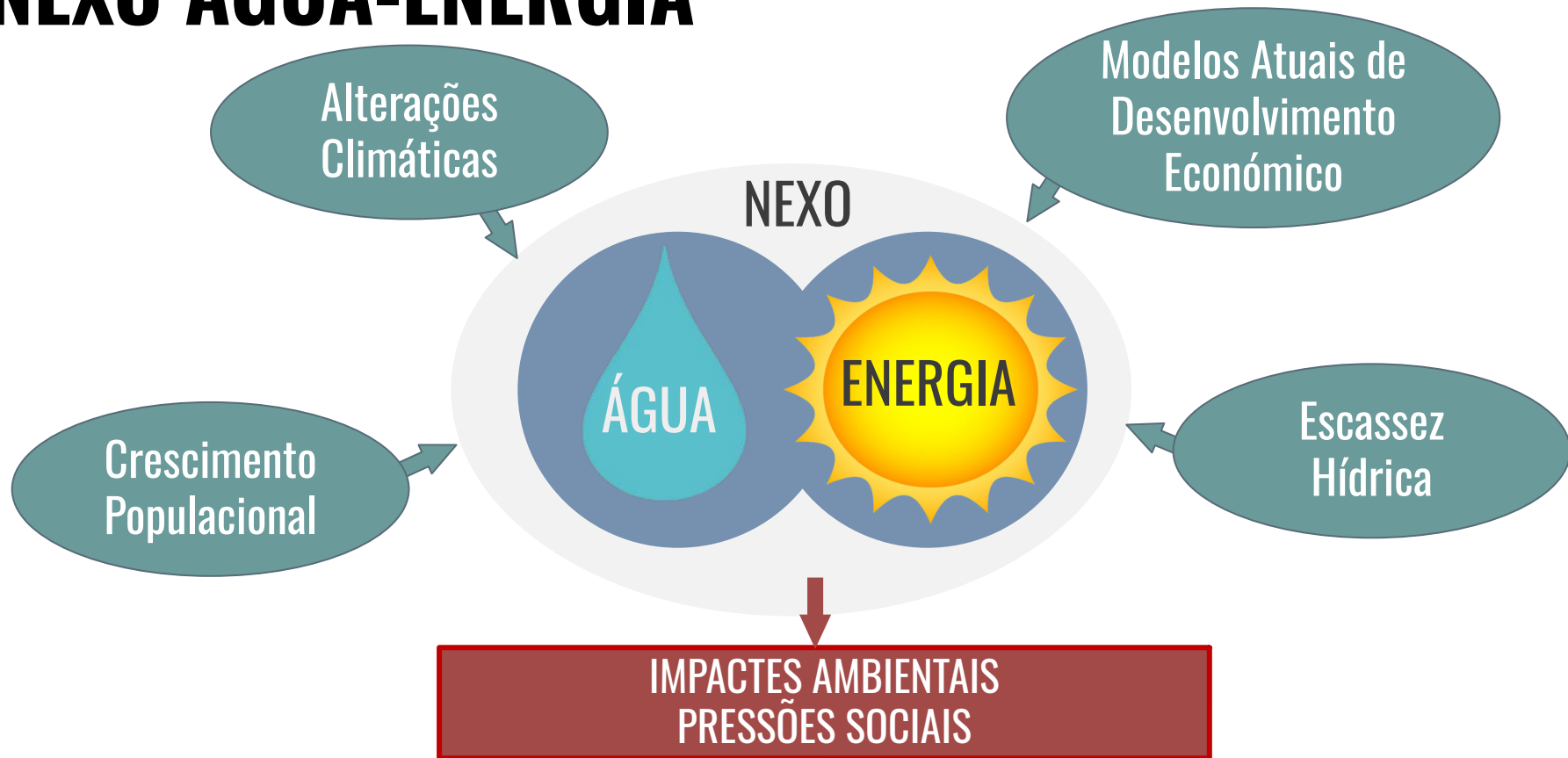


**Pedro Horta**

# Enquadramento

Évora, 31.10.2023

# NEXO ÁGUA-ENERGIA



# REQUISITOS ENERGÉTICOS

**Sector da Água** – 4% consumo de electricidade a nível europeu (2040).  
30% a 40% da despesa em electricidade dos municípios

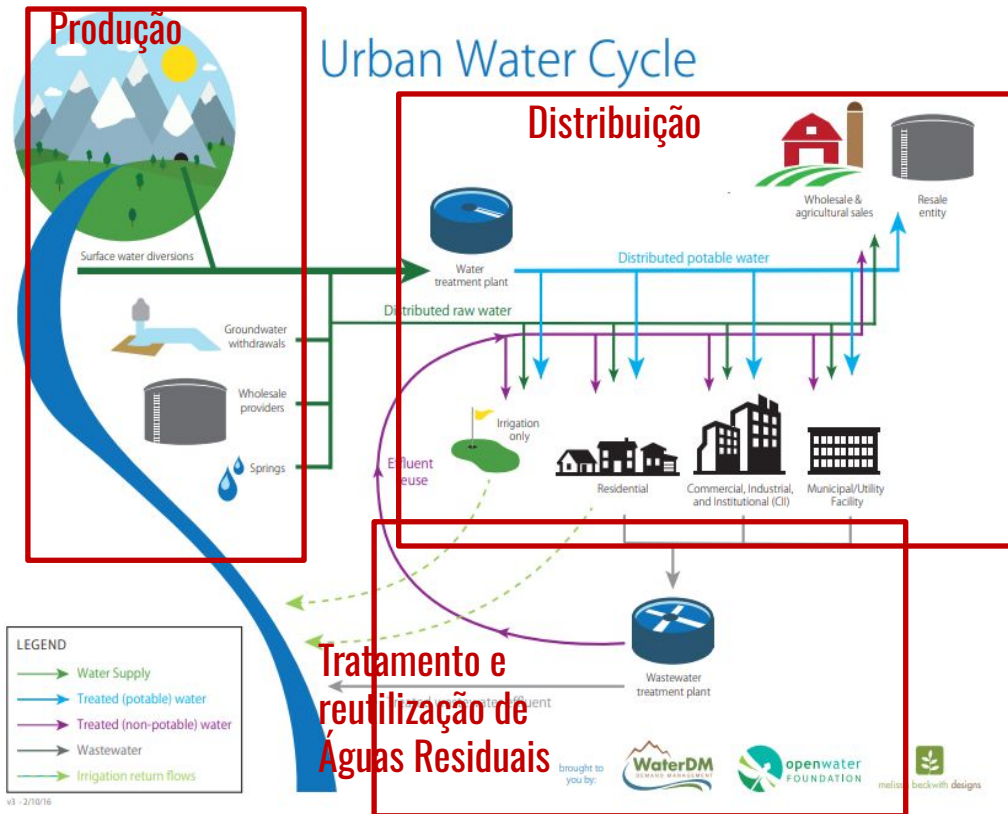
Fonte: [1] - Magnana et al. 2019

## Portugal

Sector da Água – energia elétrica > 1 000 GWh/ano, > 2% consumo total em energia elétrica > 470,000 ton CO<sup>2</sup>

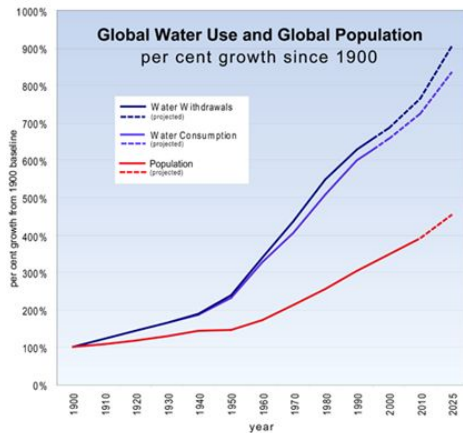
É um dos setores incluídos no Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE) (11% das instalações registadas)

Fonte: [2] ADENE 2018

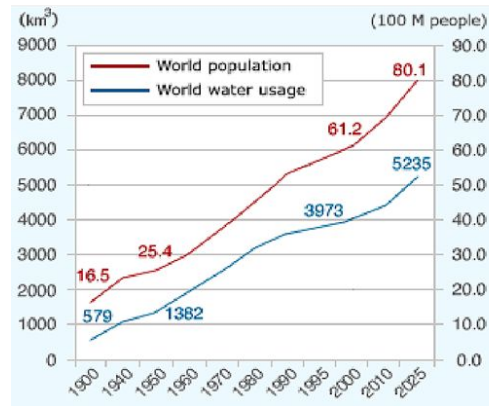


# ESCASSEZ HÍDRICA

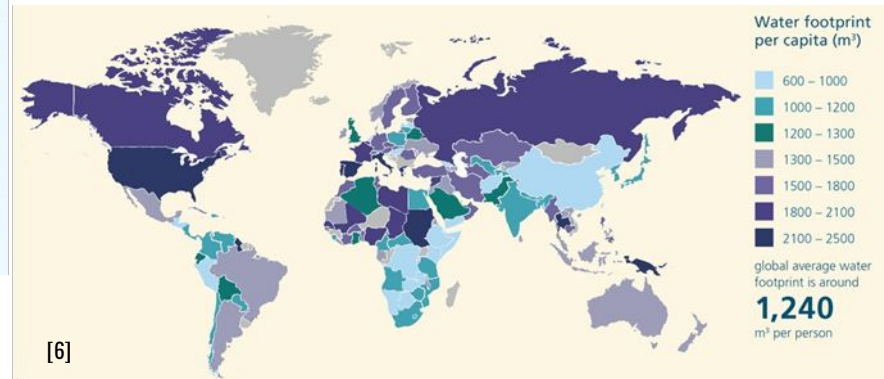
- Existe uma relação entre o crescimento populacional e o uso da água. [4] e [5]
- A taxa de crescimento da captação e do consumo de água doce per capita por país tem sido mais rápida do que o crescimento da população global.



[4]



[5]



[6]

# ESCASSEZ HÍDRICA

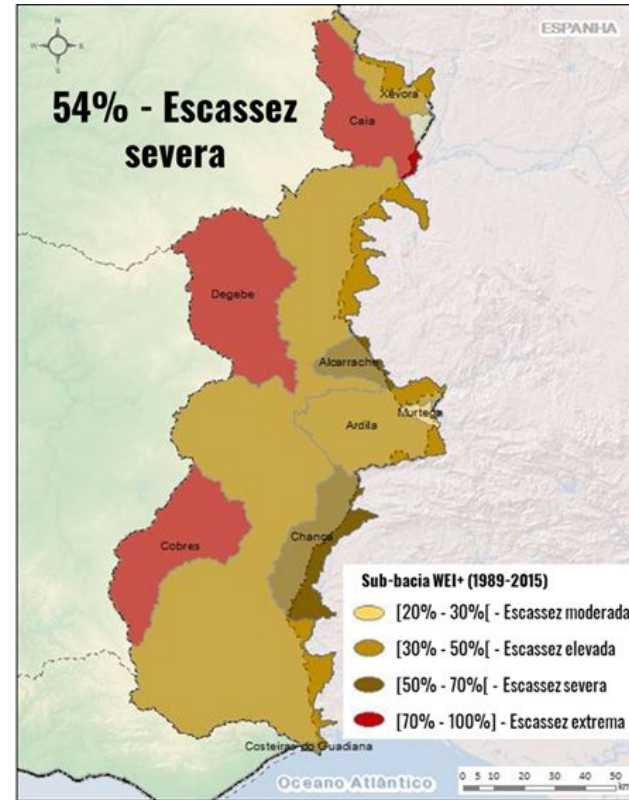
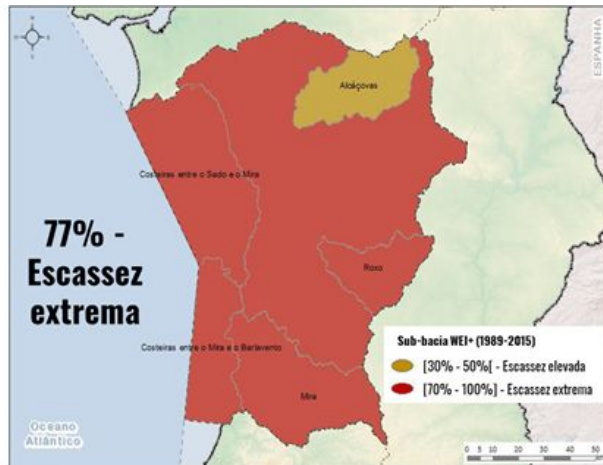
## Caso Alentejo:

- Índice de escassez WEI+ → Avaliar o stress hídrico
  - ❖ WEI+ (Water Exploitation Index plus)
  - ❖ corresponde à razão entre a procura média anual de água e os recursos médios disponíveis a longo prazo

Portugal (1989-2015)

**29%**

**Escassez moderada**

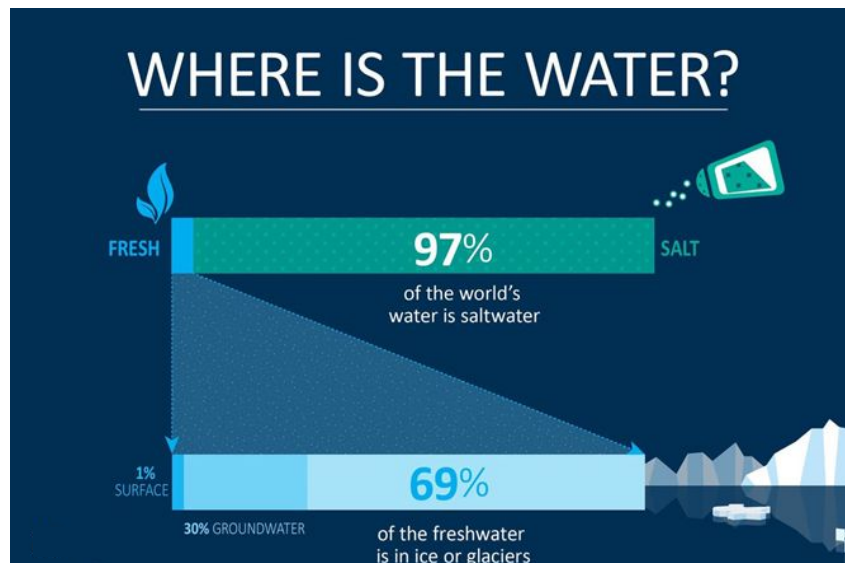
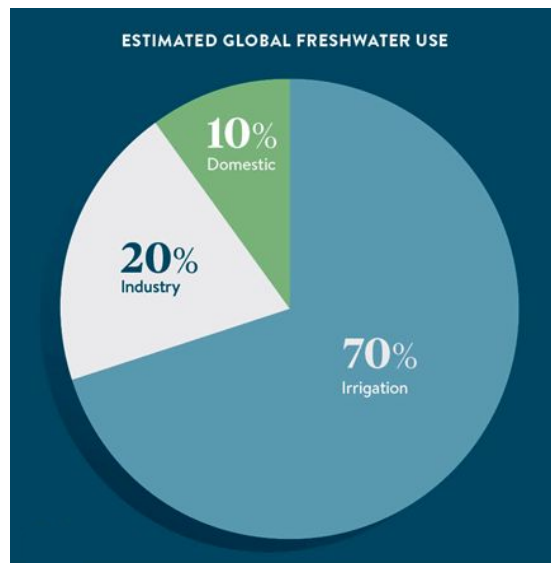


Adaptado de [7b]

Adaptado de [7a]

# CONSUMO DE ÁGUA

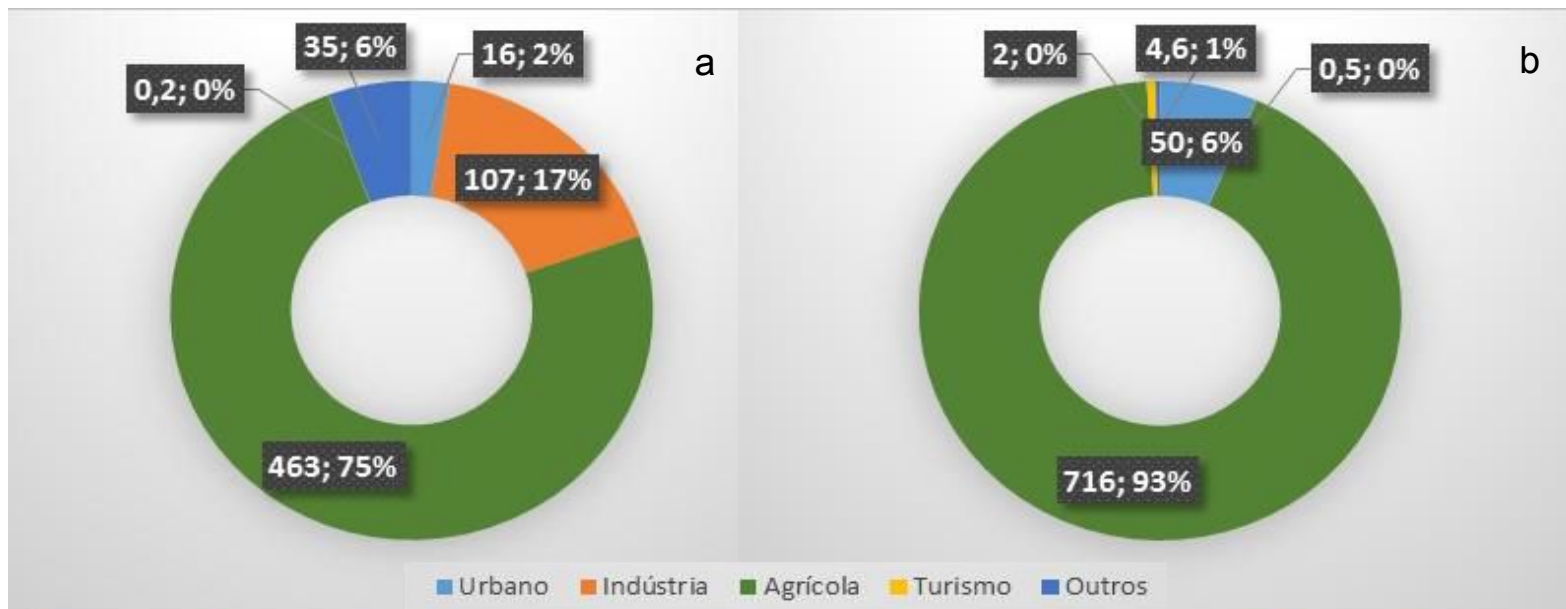
- A **irrigação** representa **70%** do consumo de água doce.
- A **disponibilidade de água doce** representa apenas **3%** de toda a fonte de água.





# CONSUMO DE ÁGUA

Principais utilizações consumptivas (hm<sup>3</sup>) nas Regiões Hidrográficas do Sado e Mira (a) e Guadiana (b)

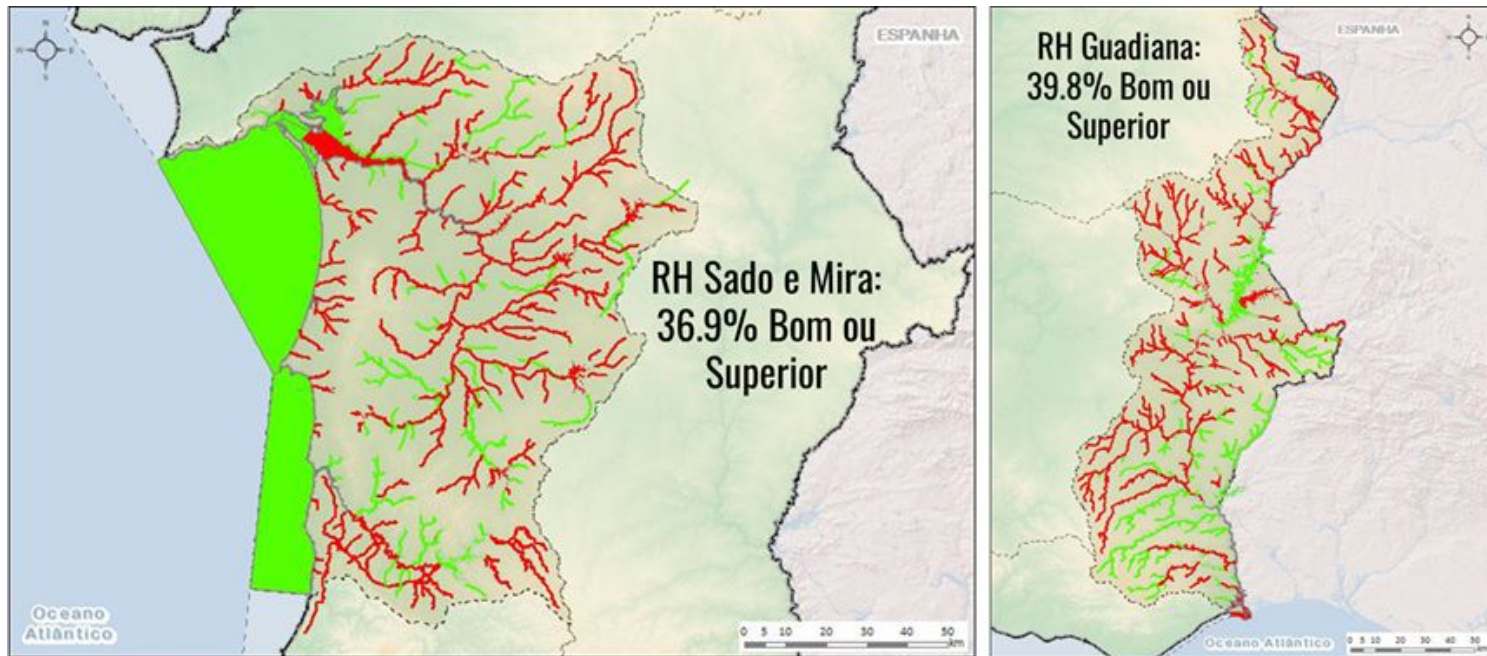


# PRESSÕES

Qualitativas	Quantitativas	Hidromorfológicas	Biológicas
<p><b>Poluição pontual</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Rejeição de águas residuais do setor urbano, industrial, agricultura e pecuária</li></ul> <p><b>Poluição difusa</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Agricultura</li><li>- Golfe</li><li>- Pecuária intensiva e extensiva</li><li>- Extração mineira</li></ul>	<p><b>Captação de Água</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Superficial</li><li>- Subterrânea</li></ul>	<p><b>Alterações do regime hidrológico</b></p> <p><b>Alterações morfológicas</b></p>	<p><b>Introdução de espécies</b></p> <p><b>Exploração ou remoção de recursos</b></p>

# ESTADO GLOBAL DAS MASSAS DE ÁGUA

## Superficiais



Adaptado de [7]  
PGRH, 2022a, b

### ESTADO GLOBAL:

#### Massas de Água Rios

- Bom e superior
- Inferior a bom

#### Massas de Água Lagos (Albufeiras)

- Bom e superior
- Inferior a bom

#### Massas de Água Costeiras

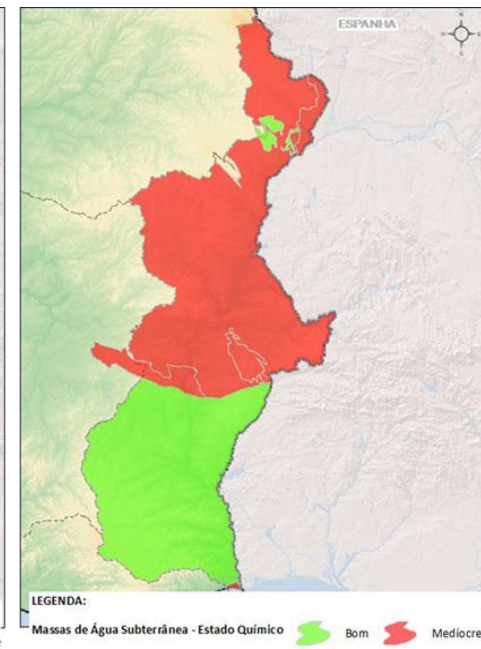
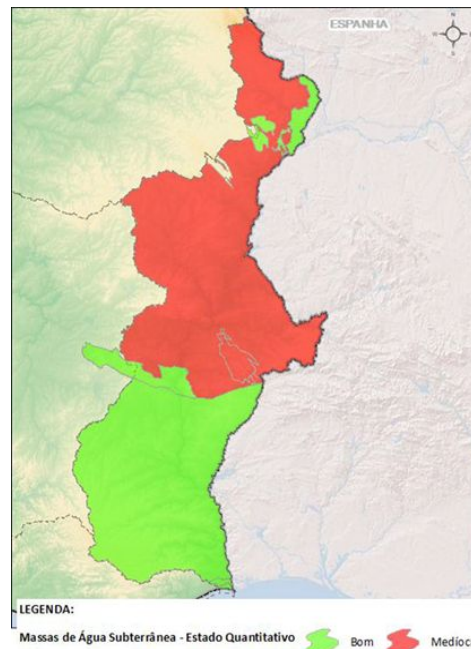
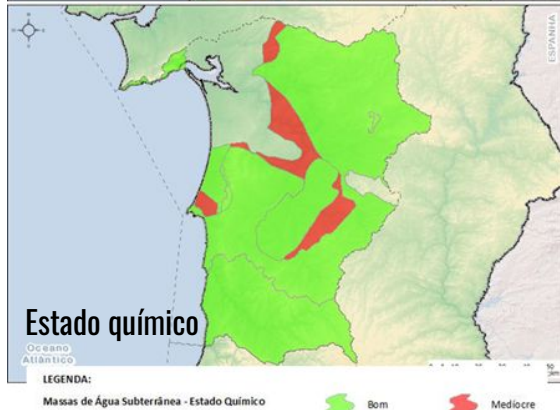
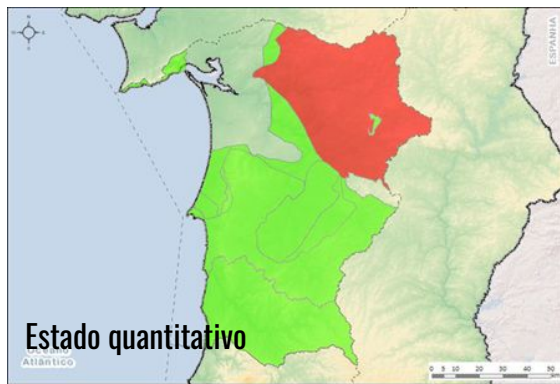
- Bom e superior
- Inferior a bom

#### Massas de Água de Transição

- Bom e superior
- Inferior a bom

# ESTADO GLOBAL DAS MASSAS DE ÁGUA

## Subterrâneas

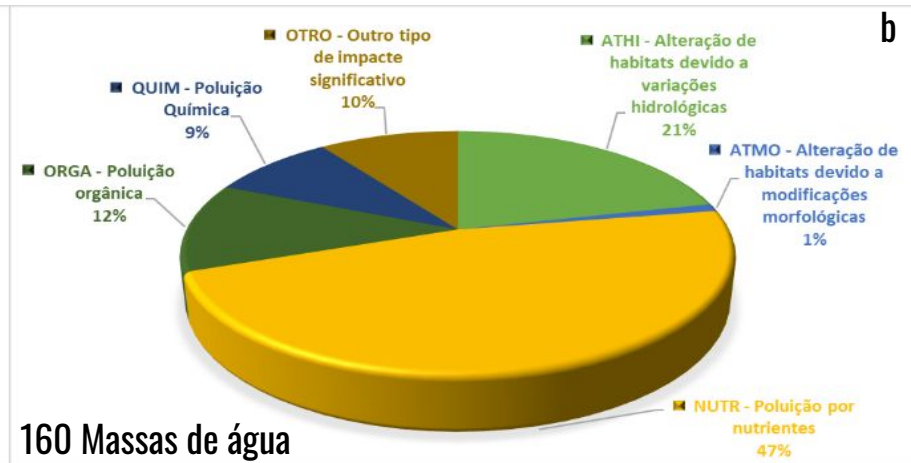
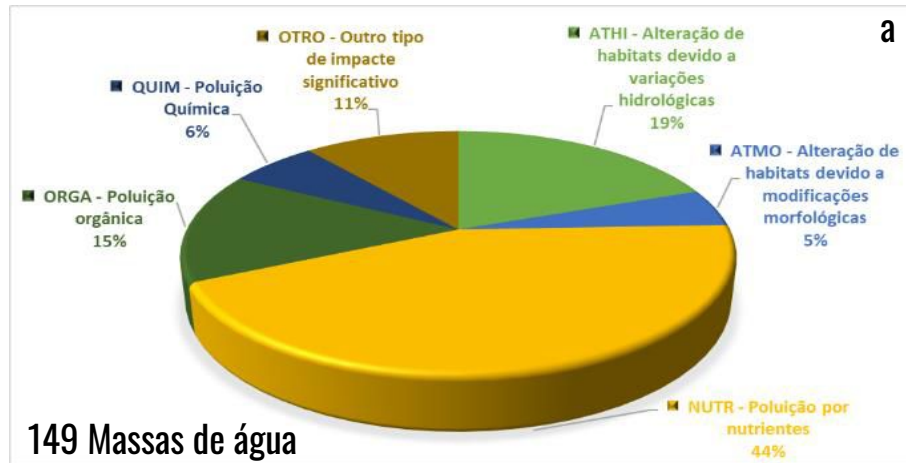


**Bom Estado: RH Sado e Mira: 67%; RH Guadiana: 37.5%**

Adaptado de [7]  
PGRH, 2022a, b

# IMPACTES SIGNIFICATIVOS

Nas massas de água superficiais das Regiões Hidrográficas do Sado e Mira (a) e Guadiana (b)



Adaptado de [7] PGRH, 2022a, b

Massas de água subterrâneas:

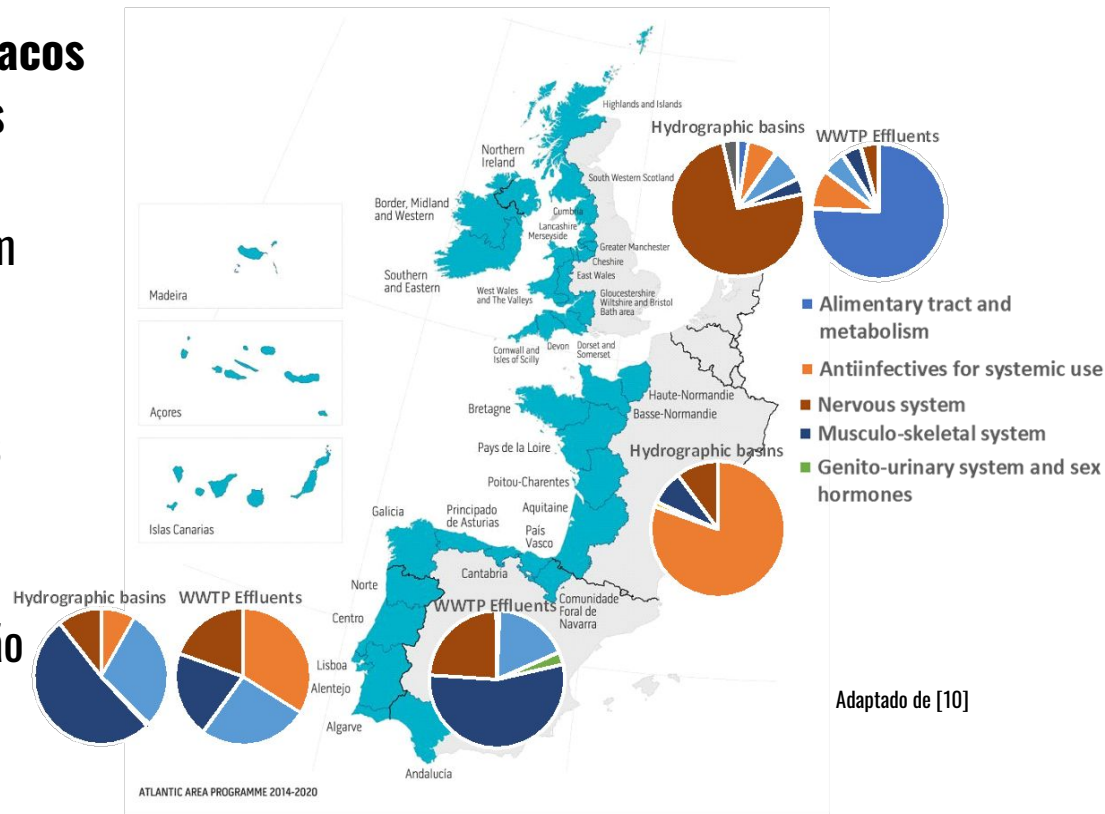
Massas de água em risco de não atingir o Bom estado quantitativo: extrações que excedem os recursos hídricos subterrâneos disponíveis

Massas de água em risco de não atingir o Bom estado químico: poluição por nutrientes e química.

# CONTAMINANTES EMERGENTES

## Preocupação crescente com os Fármacos

- Onnipresença nos recursos aquáticos
- Estruturalmente sintetizados para potenciar a sua atividade biológica em baixas concentrações
- Difícilmente degradados pelos tratamentos convencionais nas ETARs
- Risco para o ambiente e para a saúde humana
- 2019, Abordagem Estratégica da União Europeia relativa aos Produtos Farmacêuticos no Ambiente [9]



# Sol2H2O



**Pedro Horta**

# Soluções Tecnológicas

Évora, 31.10.2023

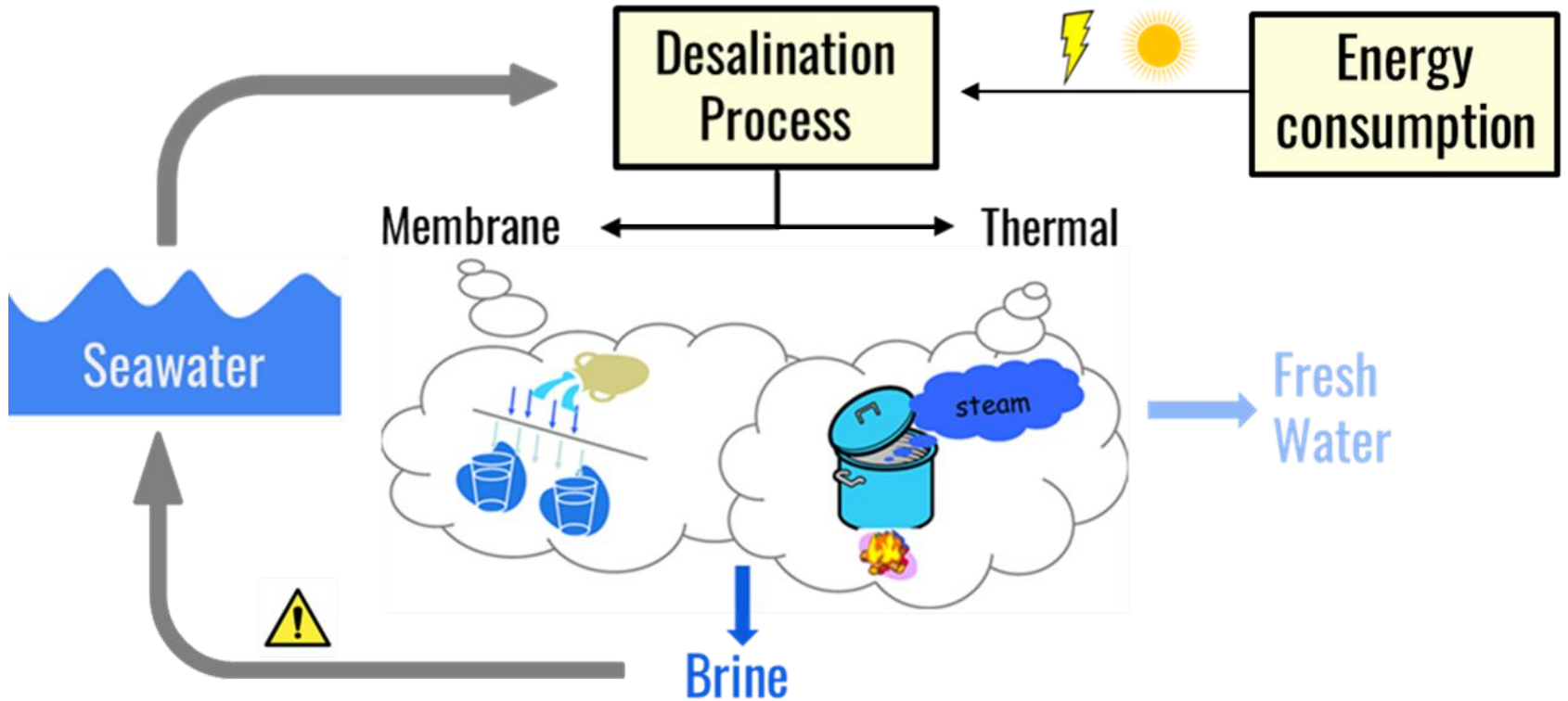
# DESSALINIZAÇÃO

## Definição

- A dessalinização é um procedimento físico de **separação do excesso de sais dissolvidos da água salobra ou do mar** para qualquer uso adequado.
- Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), o **limite permitido de salinidade na água é de 500 partes por milhão (ppm)** e para casos especiais até 1000 ppm.
- A **água do mar** normalmente tem **salinidade entre 35.000 a 45.000 ppm** na forma de sais totais dissolvidos.
- A **actual capacidade de dessalinização**, considerando sistemas de aplicações industriais e farmacêuticas, pode **produzir 900 milhões de m<sup>3</sup> por dia**, o que é insuficiente para cobrir as áreas e pessoas afectadas.

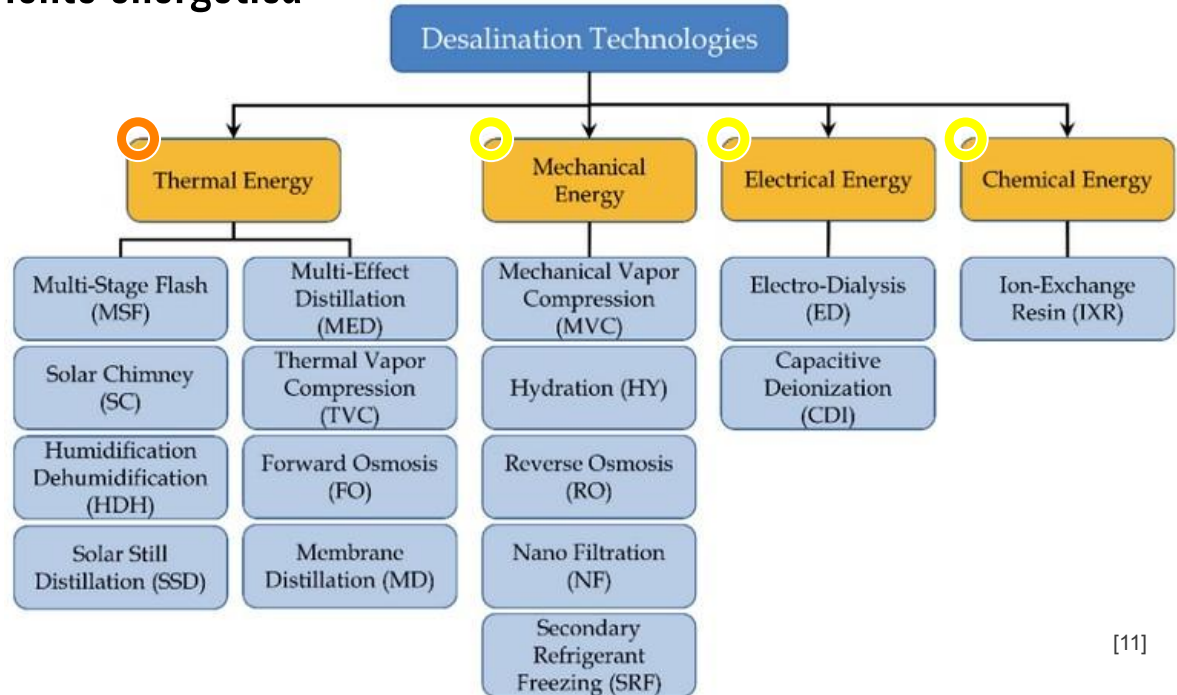


# PRODUÇÃO: DESSALINIZAÇÃO



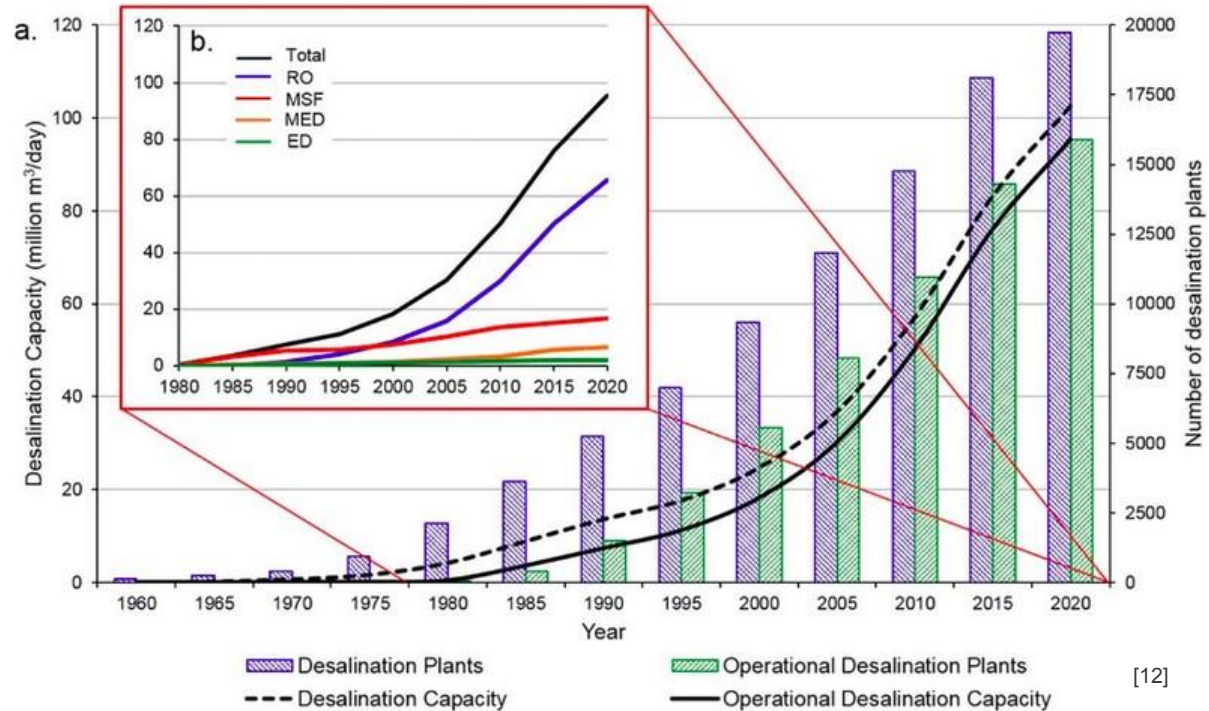
# PROCESSOS DE DESSALINIZAÇÃO

## Tecnologias de dessalinização e fonte energética



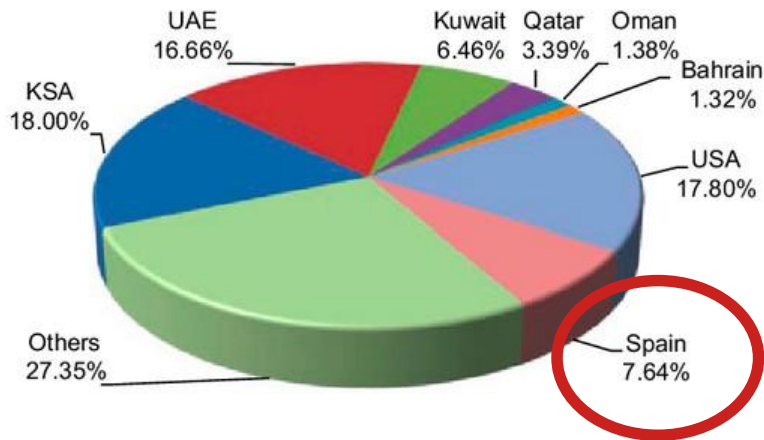
# CAPACIDADE INSTALADA POR TECNOLOGIA

- MSF / Calor de processo
- → 1990's / 2000's →
- RO / Electricidade

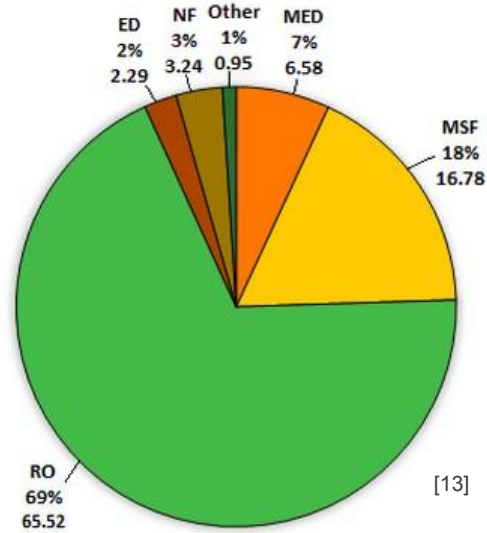


# CAPACIDADE INSTALADA POR TECNOLOGIA

- MSF / Calor de processo
- → 1990's / 2000's →
- RO / Electricidade



SHARE OF GLOBAL DESALINATION CAPACITY in Mm<sup>3</sup>/day

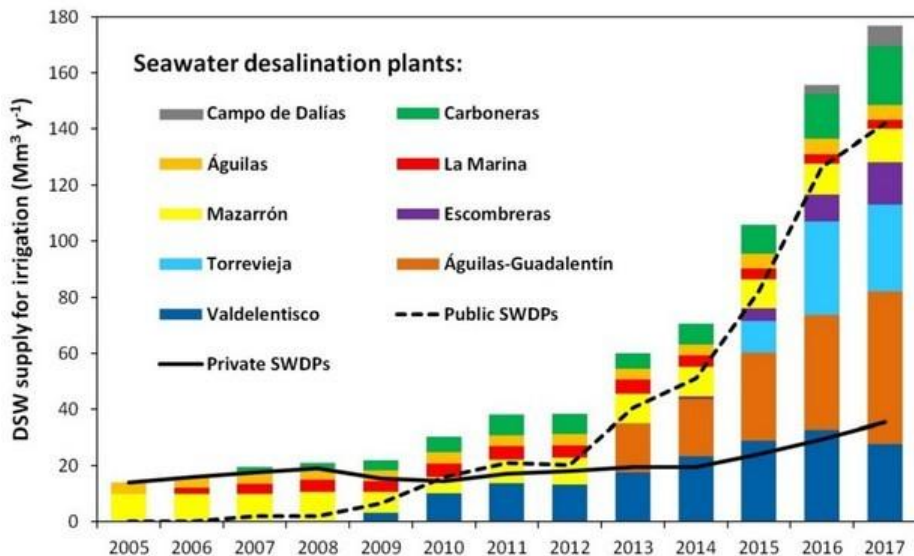


# CAPACIDADE INSTALADA POR TECNOLOGIA

[15]

## O caso Espanhol

[14]



[16]

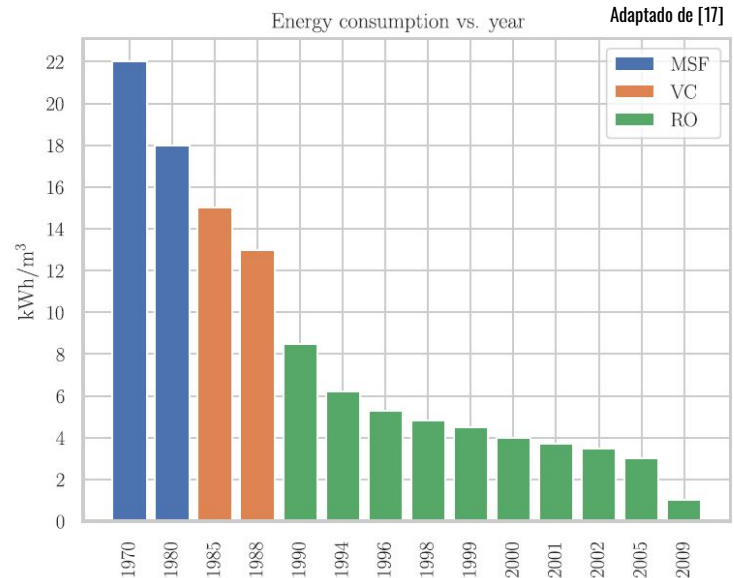


# NECESSIDADE ENERGÉTICA

- Evolução do consumo médio específico de energia nas centrais de dessalinização de água do mar espanholas, com inclusão de Equipamentos de recuperação de Energia.

Year	Technology	kW-h/m <sup>3</sup>
1970	MSF	22
1980	MSF	18
1985	VC	15
1988	VC	13
1990	RO	8.5
1994	RO	6.2
1996	RO	5.3
1998	RO	4.8
1999	RO	4.5
2000	RO	4.0
2001	RO	3.7
2002	RO	3.5
2005	RO	3
2009	RO	< 3

[17]



# DESSALINIZAÇÃO - CASO PORTUGUÊS

01

Central Desalinizadora <sup>31</sup>

- Construção na zona do Algarve
- Capacidade de 24 hm<sup>3</sup>
- Corresponde a 7% do consumo de água do Algarve ou 20% do consumo humano

02

Em discussão construção de 2 centrais

- Medida de desenvolvimento no **setor urbano** - Construção de uma central de dessalinização da água do mar, na zona de **Sines**.
- Medida de desenvolvimento no **setor agrícola** - Construção de uma central de dessalinização da água do mar, na zona de **Mira**.

Adaptado de [18]  
e [7a]





# ENERGIA SOLAR NO TRATAMENTO DE ÁGUA

Situado nas instalações da **Cátedra Energias Renováveis** na Herdade da Mitra, inserido na **PECS - Plataforma de Ensaio de Concentradores Solares**



# ENERGIA SOLAR NO TRATAMENTO DE ÁGUA

## O sistema:

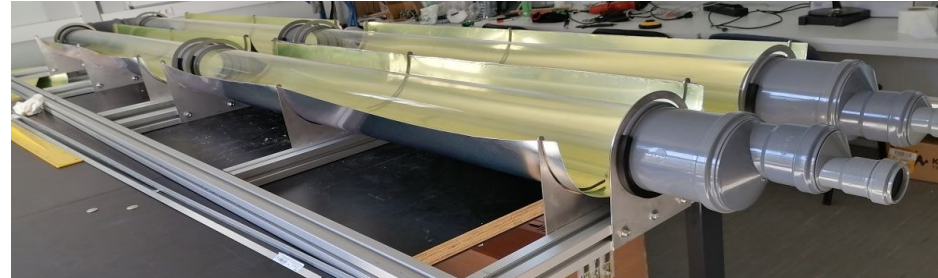
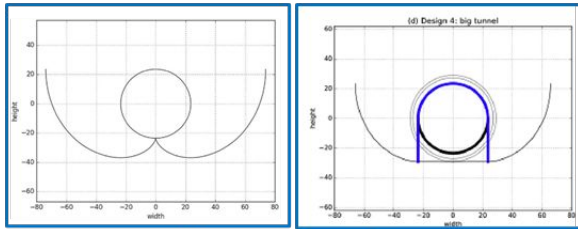
- Fotorreator Tubular com elevado percurso óptico; Inclinação: 40°
- **135 L volume total; 62.32 L volume iluminado**
- Operação em lotes com recirculação da água e caudal ~120 L/min
- Area de abertura = 1.83 m<sup>2</sup>



# CARACTERÍSTICAS DO FOTORREATOR

## Colector Solar Parabólico Composto One-Sun (One-Sun CPC)

Design simplificado para reduzir custos de produção (“big tunnel”), Osório et al. (2019) [19]



## Electro-brightened pre-coated mirror finished aluminium (SWR686)

- $\geq 84\%$  Total solar reflectance
- $\geq 87\%$  Total solar reflectance “visible range”
- $< 3\%$  Diffuse reflectance
- $\geq 80\%$  Specular reflectance



# CARACTERÍSTICAS DO FOTORREATOR

- 4 tubos de vidro borosilicato 3.3 DURAN®
- 125 mm diâmetro externo e 5 mm espessura
- 1.5 m comprimento
- Tubos e válvulas em HDPE
- Radiómetro
- Piranómetro
- Estação meteorológica

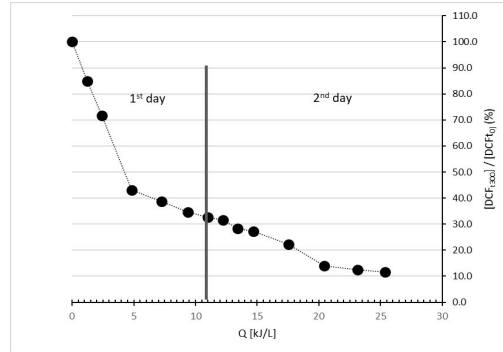
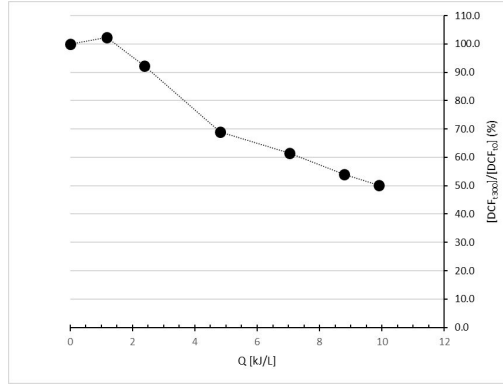
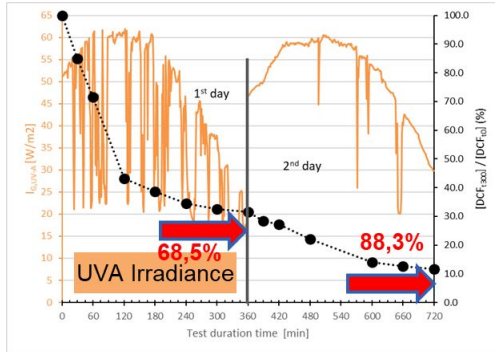
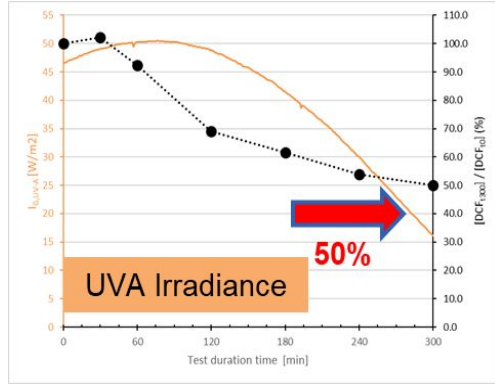


# CARACTERÍSTICAS DO FOTORREATOR



# ENSAIOS DE FOTODEGRADAÇÃO

## Diclofenaco (10 mg L<sup>-1</sup>)

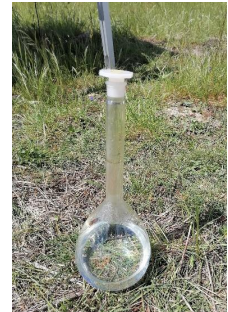


Controlo no escuro:  
s/ alterações

Controlo Iluminado  
- 22 Fevereiro 22  
[DCF<sub>t300</sub>]/[DCF<sub>t0</sub>]: 92.3 %

4 e 5 de Maio  
Dia 1 [DCF<sub>t360</sub>]/[DCF<sub>t0</sub>]: 92.4 %

[DCF<sub>t720</sub>]/[DCF<sub>t0</sub>]: 81.1 %



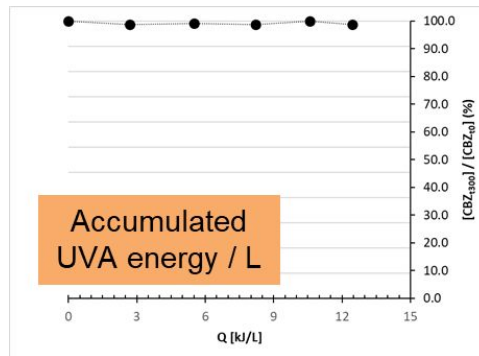
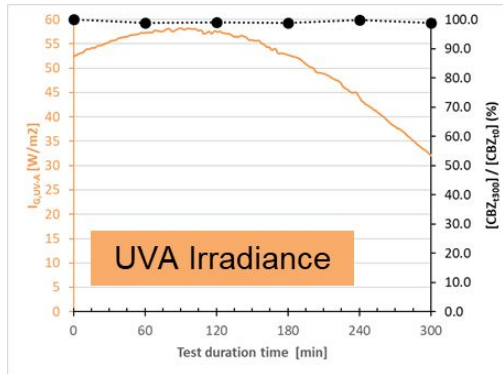
# ENSAIOS DE FOTODEGRADAÇÃO

## Carbamazepina (10 mg L<sup>-1</sup>)

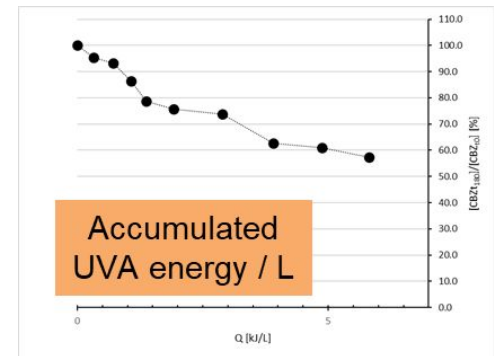
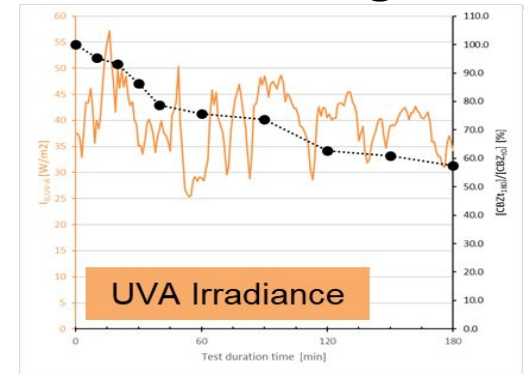
**Controlo no escuro:**  
s/ alterações

**Controlo iluminado - 10 Maio 22**  
[CBZ]<sub>t300</sub>]/[CBZ]<sub>t0</sub>: 98.0 %

### Fotólise

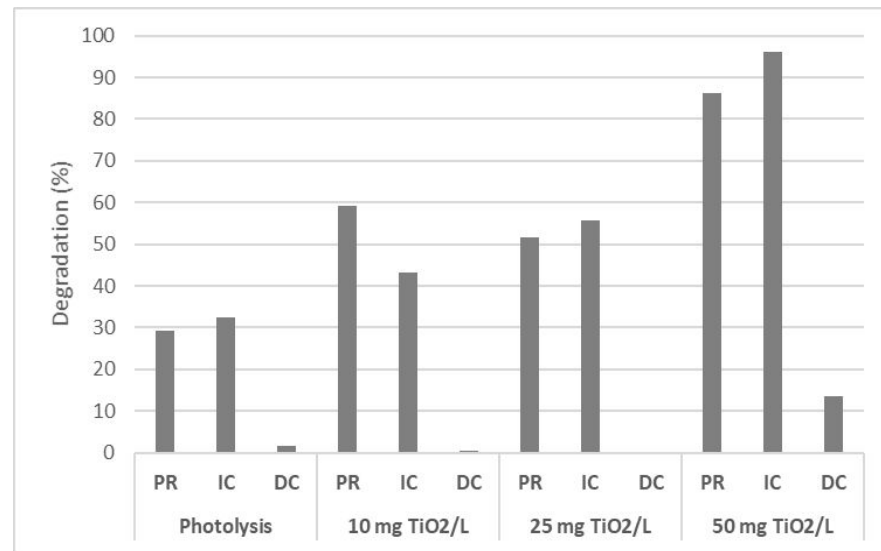
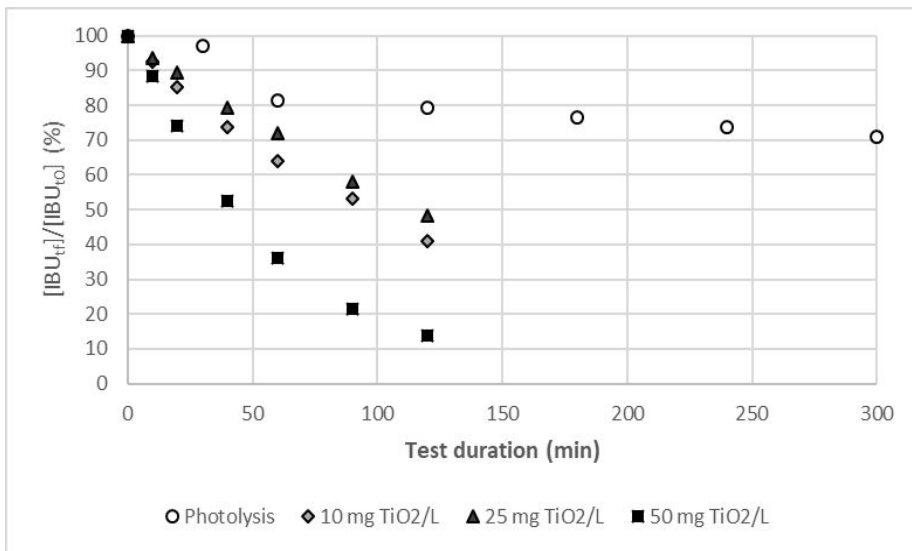


### Fotocatálise 200 mg L<sup>-1</sup> TiO<sub>2</sub>



# FOTOCATÁLISE HETEROGÉNEA COM TiO<sub>2</sub>

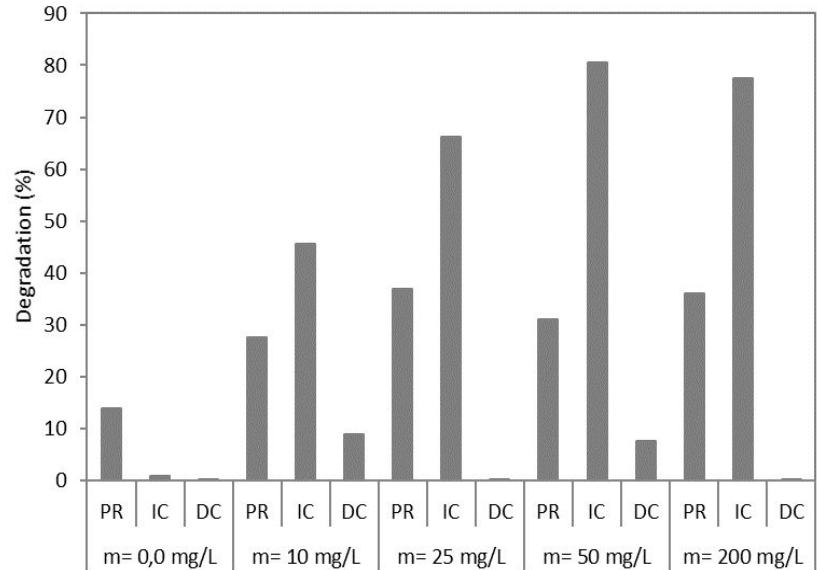
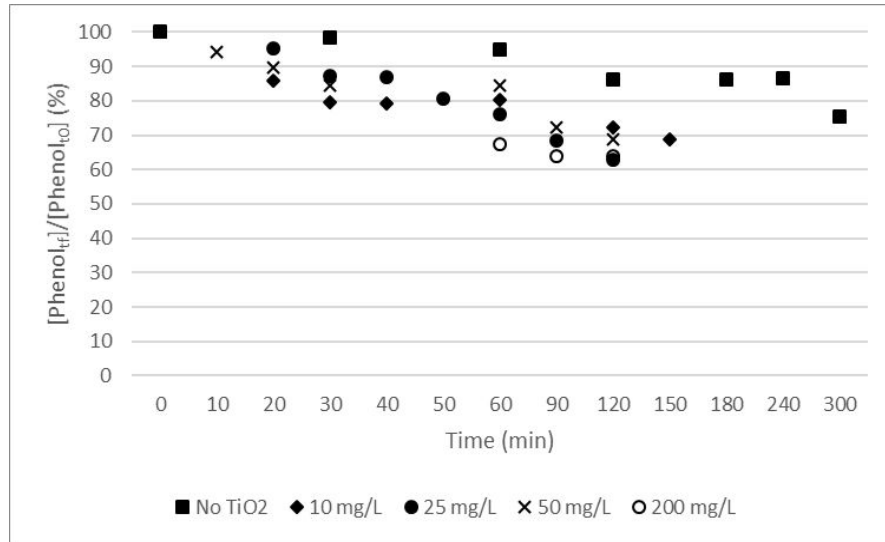
## Ibuprofeno (10 mg L<sup>-1</sup>)





# FOTOCATÁLISE HETEROGÉNEA COM $\text{TiO}_2$

## Fenol ( $20 \text{ mg L}^{-1}$ )



# AVALIAÇÃO ECONÓMICA

- **Considerando reator de 1 m<sup>3</sup>**

Elementos constituintes do reator	Estimativa (€)
Equipamento de controlo e operação	4 195,00 €
Estrutura do reator	2 182,17 €
Acessórios de tubagem	485,23 €
Acessórios do refletor	4 341,60 €
Mão de obra	1 500,00 €
<b>Estimativa para REATOR de 1 m<sup>3</sup></b>	<b>11,858.40 €</b>

Custo nivelado do m<sup>3</sup> de efluente tratado: **Naproxeno: 2.05 €/m<sup>3</sup>**  
**Diclofenaco: 3.92 €/m<sup>3</sup>**

# Sol2H2O



**Pedro Horta**

# Referências

# Referências

- [1] - Magagna D., Hidalgo González I., Bidoglio G., Peteves S., Adamovic M., Bisselink B., De Felice M., De Roo A., Dorati C., Ganora D., Medarac H., Pistocchi A., Van De Bund W. and Vanham D. Water – Energy Nexus in Europe, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2019, ISBN 978-92-76-03385-1, doi: 10.2760/968197, JRC115853
- [2] – ADENE – Agência para a Energia, 2018. Uso Eficiente de Energia nos Serviços de Águas. Freixial P., Mira F., Newton F. & Calau J.P. (Coord.), 310 pp. ISBN 978-972-98996-5-2
- [3] – WaterDM Demand Management. (2016, October 2). Urban Water Cycle. WaterDM Demand Management.
- [4] – [https://www.researchgate.net/figure/The-rate-of-growth-in-freshwater-withdrawal-and-consumption-has-been-even-more-rapid-than\\_fig1\\_303994372](https://www.researchgate.net/figure/The-rate-of-growth-in-freshwater-withdrawal-and-consumption-has-been-even-more-rapid-than_fig1_303994372)
- [5] – [https://www.researchgate.net/figure/World-population-and-water-usage-trends-Source-UN-World-Population-Prospects-2019-21\\_fig3\\_344433103](https://www.researchgate.net/figure/World-population-and-water-usage-trends-Source-UN-World-Population-Prospects-2019-21_fig3_344433103)
- [6] – <https://australian.museum/get-involved/citizen-science/streamwatch/water-catchment/streamwatch-water-around-the-world/>
- [7a] – [https://apambiente.pt/sites/default/files/\\_Agua/DRH/ParticipacaoPublica/PGRH/2022-2027/3\\_Fase/PGRH\\_3\\_RH6\\_Parte2\\_VolumeA.pdf](https://apambiente.pt/sites/default/files/_Agua/DRH/ParticipacaoPublica/PGRH/2022-2027/3_Fase/PGRH_3_RH6_Parte2_VolumeA.pdf)
- [7b] – [https://apambiente.pt/sites/default/files/\\_Agua/DRH/ParticipacaoPublica/PGRH/2022-2027/3\\_Fase/PGRH\\_3\\_RH7\\_Parte1.pdf](https://apambiente.pt/sites/default/files/_Agua/DRH/ParticipacaoPublica/PGRH/2022-2027/3_Fase/PGRH_3_RH7_Parte1.pdf)

# Referências

[8] - <https://www.worldbank.org/en/topic/water>

[9] - <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52019DC0128&from=EN>

[10] - [ageoatlantic.eu](http://ageoatlantic.eu)

[11] - Curto, D.; Franzitta, V.; Guercio, A. A Review of the Water Desalination Technologies. Appl. Sci. 2021, 11, 670

[12] - Jones, E.; Qadir, M.; van Vliet, M.T.H.; Smakhtin, V.; Kang, S.M. The state of desalination and brine production: A global outlook. Sci. Total Environ. 2019, 657, 1343–135

[13] - Greco, F.; Heijman, S.G.J.; Jarquin-Laguna, A. Integration of Wind Energy and Desalination Systems: A Review Study. Processes 2021, 9, 2181. <https://doi.org/10.3390/pr9122181>

[14] - Victoriano Martínez-Alvarez, Jose F. Maestre-Valero, Manuel J. González-Ortega, Belén Gallego-Elvira and Bernardo Martín-Gorriz. Characterization of the Agricultural Supply of Desalinated Seawater in Southeastern Spain. Water 2019, 11, 1233; doi:10.3390/w11061233

[15] - <https://smartwatermagazine.com/news/smart-water-magazine/spanish-desalination-know-how-a-worldwide-benchmark>

# Referências

[16] - <https://www.amusingplanet.com/2013/08/the-greenhouses-of-almeria.html>

[17] - <https://vikaspedia.in/energy/energy-production/solar-energy/solar-stills>

[18] - <https://www.ambienteonline.pt/noticias/dessalinizadora-no-algarve-vai-ter-mais-capacidade-do-que-era-previsto>

[19] - Osório, T., Horta, P., Marchã, J. & Collares-Pereira, M., 2019. One-Sun CPC-type solar collectors with evacuated tubular receivers. Renewable Energy, Volume 134, pp. 247-257.