

PROJETO AGREEMAR

**UMA ABORDAGEM PARTICIPATIVA PARA A
IMPLEMENTAÇÃO DA GESTÃO DE RECARGA DE AQUÍFEROS**

**TIAGO NUNES MARTINS
LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL**

A GESTÃO DA RECARGA DOS AQUÍFEROS

Conceito e objetivos

Gestão da Recarga de Aquíferos (Managed Aquifer Recharge - MAR) → Armazenamento intencional de água num aquífero para recuperação futura ou para a obtenção de benefícios ambientais.

Racional: Armazenamento em épocas de excedente ou de baixas necessidades hídricas.

Objetivos de implementação:

- Aumentar a disponibilidade de água subterrânea e robustecer o abastecimento/rega.
- Preservar os ecossistemas dependentes de águas subterrâneas, manutenção de zonas húmidas.
- Mitigar efeitos de inundações repentinas.
- Combater a intrusão marinha.

Num contexto em que não existem condições geológicas e morfológicas para o armazenamento em superfície...

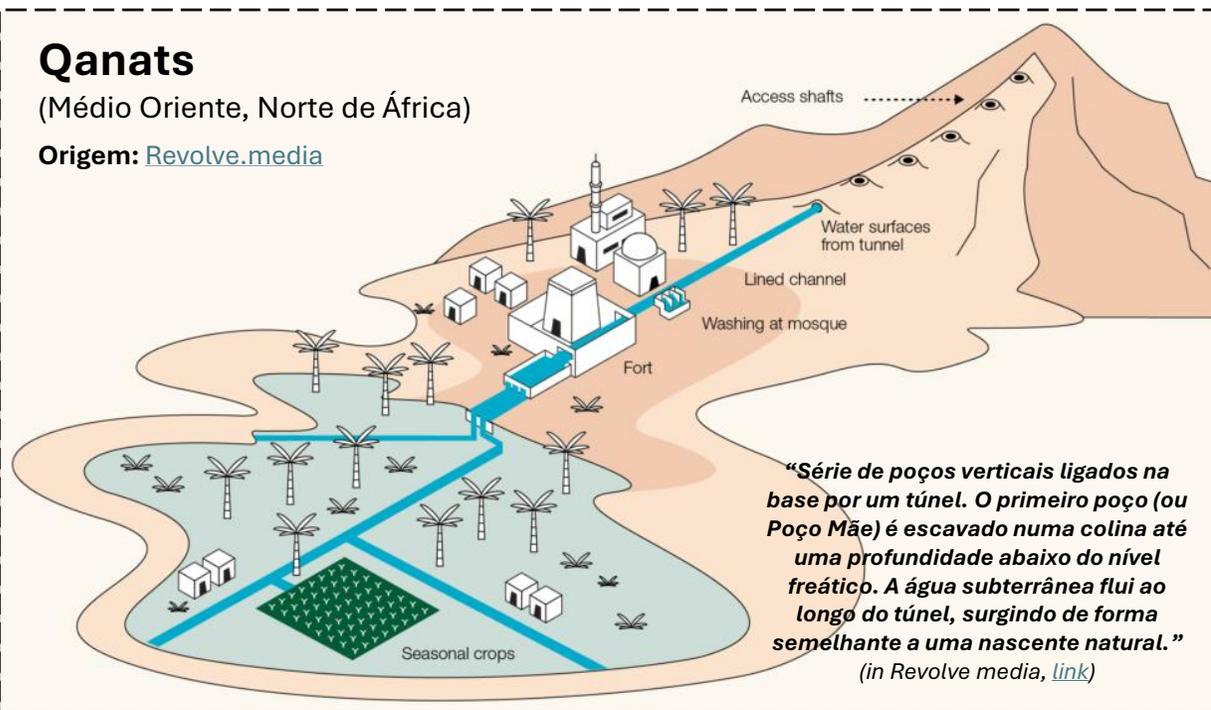
... o armazenamento em aquíferos pode ser uma solução.

Vantagens: Reduzidas perdas por evaporação, menor vulnerabilidade à contaminação

Qanats

(Médio Oriente, Norte de África)

Origem: [Revolve.media](#)



Amunas

(América do Sul)



Origem: [Stakeholders](#)

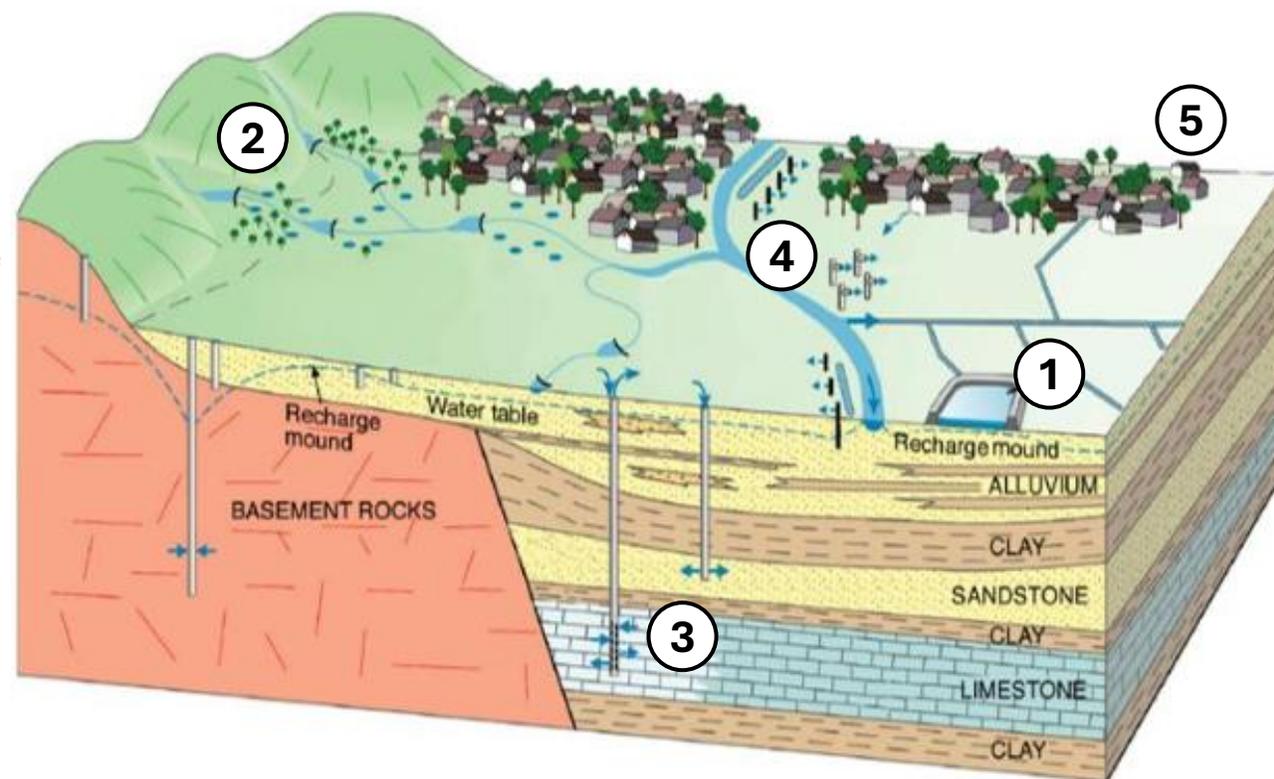
“Os amunas são antigas estruturas andinas que recolhiam e desviavam água da chuva e do degelo, mobilizando-a para áreas onde a infiltração é promovida.” (in Stakeholders, [link](#))

O aumento da recarga, um processo natural, **tem vindo a ser implementado com sucesso ao longo da história da humanidade.**

A GESTÃO DA RECARGA DOS AQUÍFEROS

Métodos

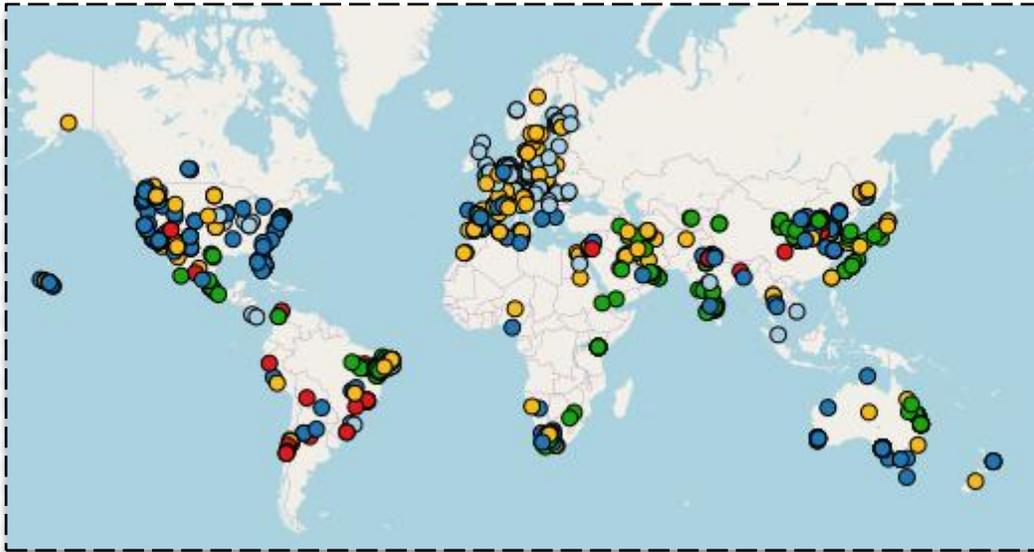
- 1 **Métodos de espalhamento (de água)** → Bacias de infiltração, alagamento controlado de zonas agrícolas.
- 2 **Adaptação de canais/linhas de água** → alterações para reter água e/ou aumentar a infiltração, fazendo uso de barragens/diques (de areia ou subterrâneos).
- 3 **Injeção direta** → Utilização de furos ou poços para introdução de água em profundidade, (aquíferos profundos ou confinados) quando a infiltração direta a partir da superfície não é possível.
- 4 **Filtração induzida em leitos de rios ou lagos** → Extração de água subterrânea nas camadas permeáveis abaixo dos leitos de rios ou lagos, induzindo a infiltração e depuração de água superficial.
- 5 **Captação de escoamento direto/água pluvial** → Direcionamento de excedentes para tanques de infiltração ou diretamente para o aquífero (e.g. através de telhados).



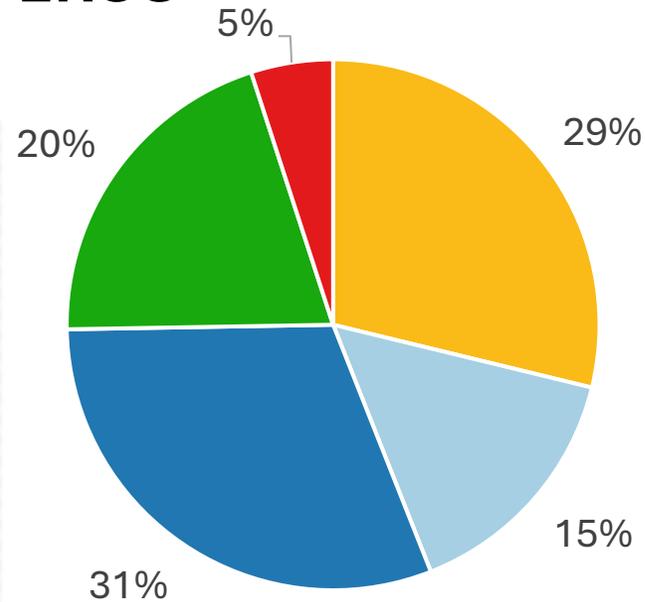
Origem: [MAR: Overview and governance \(IAH\)](#)

A GESTÃO DA RECARGA DOS AQUÍFEROS

Contexto global



Origem: IGRAC [MAR Portal](#)

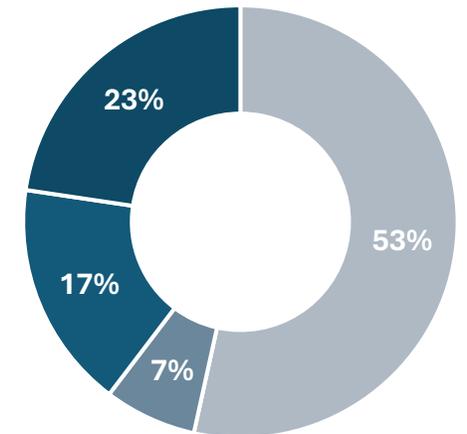


- Métodos de espalhamento
- Filtração induzida em leitos (rios/lagos)
- Injeção direta
- Adaptações de canais/linhas de água
- Captação de escoamento direto/água pluvial

Origens de água para recarga

Natural → rios, lagos, precipitação

Não-convencional → água residual tratada, água dessalinada.



- Rios
- Lagos
- Pluvial
- Não-convencionais

Origem: Registered MAR sites in the world (Zhang et al. 2020)

A GESTÃO DA RECARGA DOS AQUÍFEROS

Gestão e armazenamento de excedentes hídricos



Local: Granite Reef Underground Storage Project, Arizona, EUA.

Objetivo: Gestão integrada de recursos hídricos superficiais e subterrâneos; aumento das disponibilidades através do incremento do armazenamento subterrâneo.

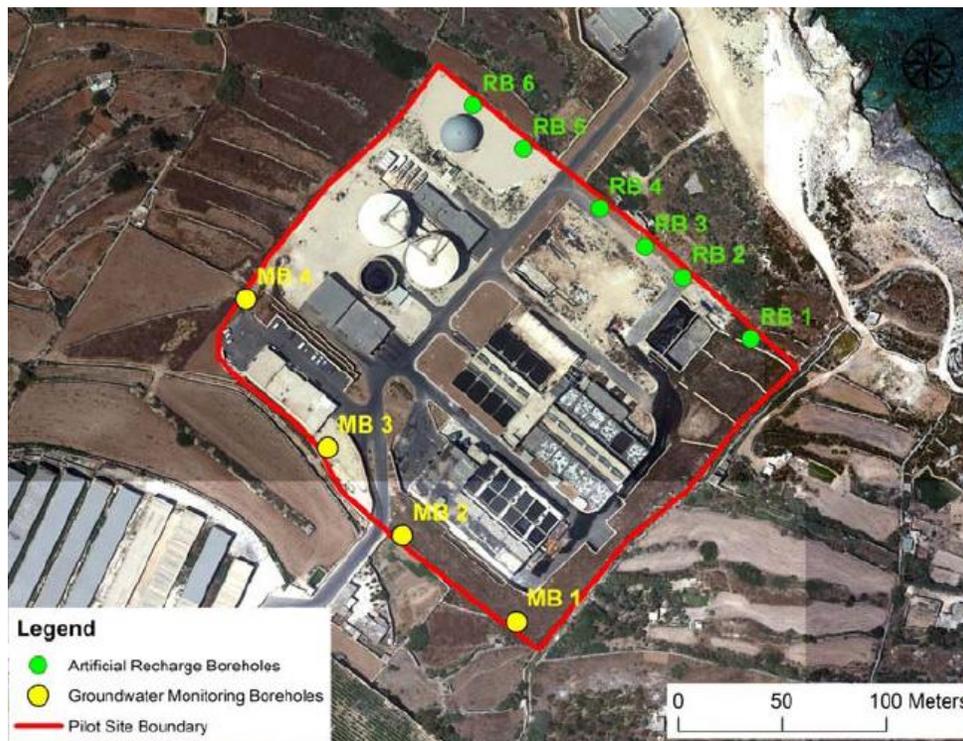
Método(s): Sistema de canais, reservatórios de superfície, bacias de sedimentação e bacias de infiltração.

Origem da água para infiltração: natural, água do Rio Colorado.

Origem: Water-bank Arizona ([link](#)), Boletín Geológico y Minero – IGME ([link](#))

A GESTÃO DA RECARGA DOS AQUÍFEROS

Mitigação da intrusão marinha



Local: Malta, Ta Barkat

Objetivo: proteger a única fonte de água da região da salinização induzida pela sobreexploração

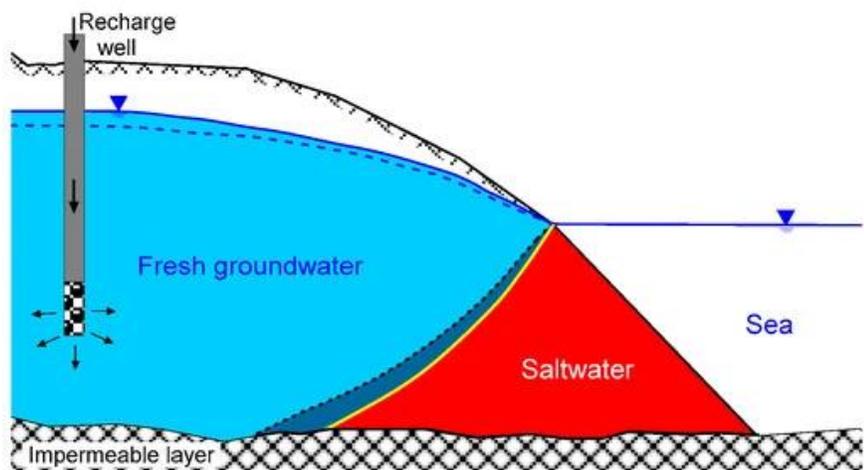
Método: Instalação experimental com furos de injeção nas imediações de uma ETAR

Origem da água para injeção: água residual tratada

Origem: Using MAR to mitigate saltwater intrusion in Southern Malta ([link](#))

A GESTÃO DA RECARGA DOS AQUÍFEROS Mitigação da intrusão marinha

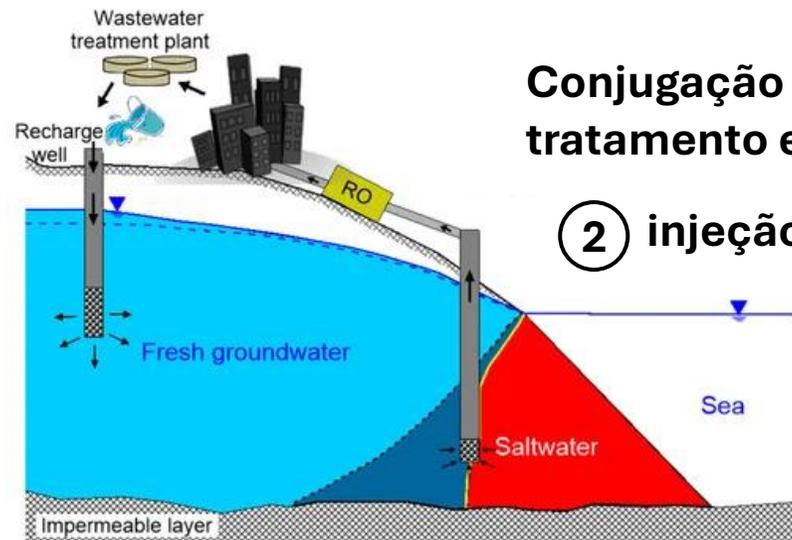
1 Injeção direta simples



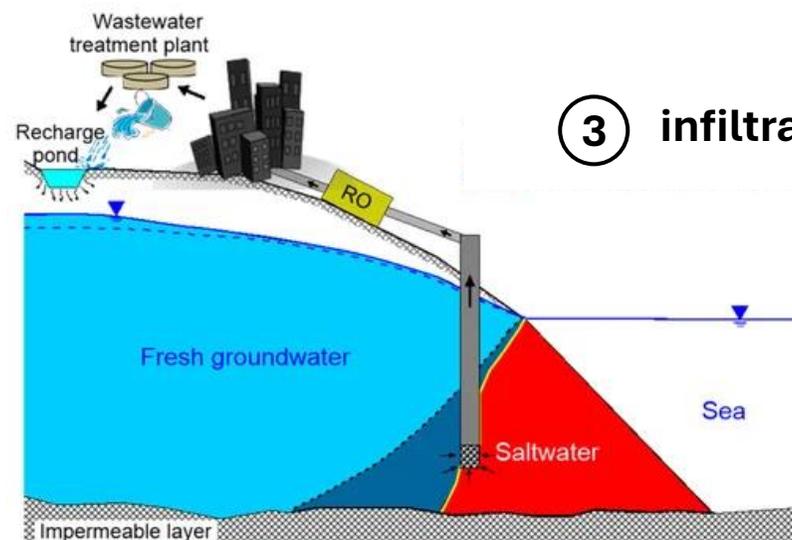
— After countermeasure action
- - - Before countermeasure action
■ Increase of freshwater volume

Conjugação de captação, tratamento e...

2 injeção direta



3 infiltração



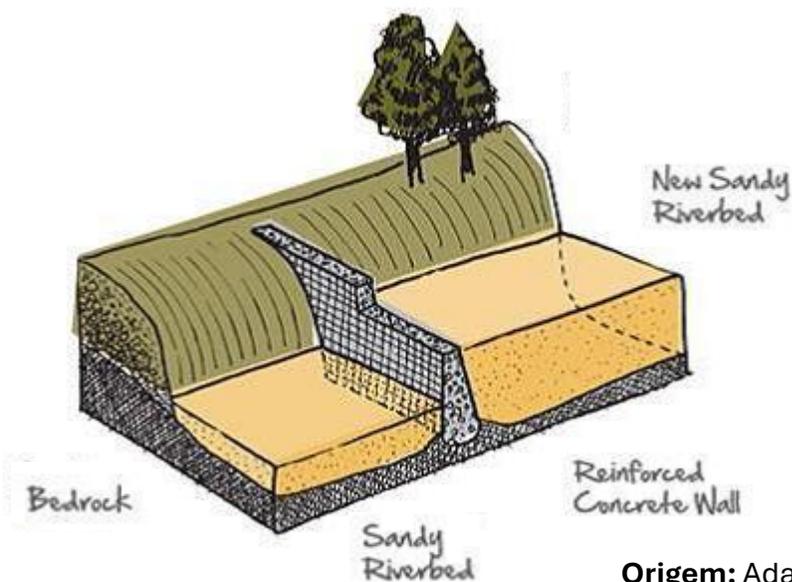
Origem: Management of Seawater Intrusion in Coastal Aquifers: A Review ([link](#))

A GESTÃO DA RECARGA DOS AQUÍFEROS

Sand dams

E quando não existe um aquífero?

Constrói-se um, aproveitando os processos naturais de erosão e transporte de sedimentos → **Barragens de areia**



Origem: Adaptado de Rotary.ribi

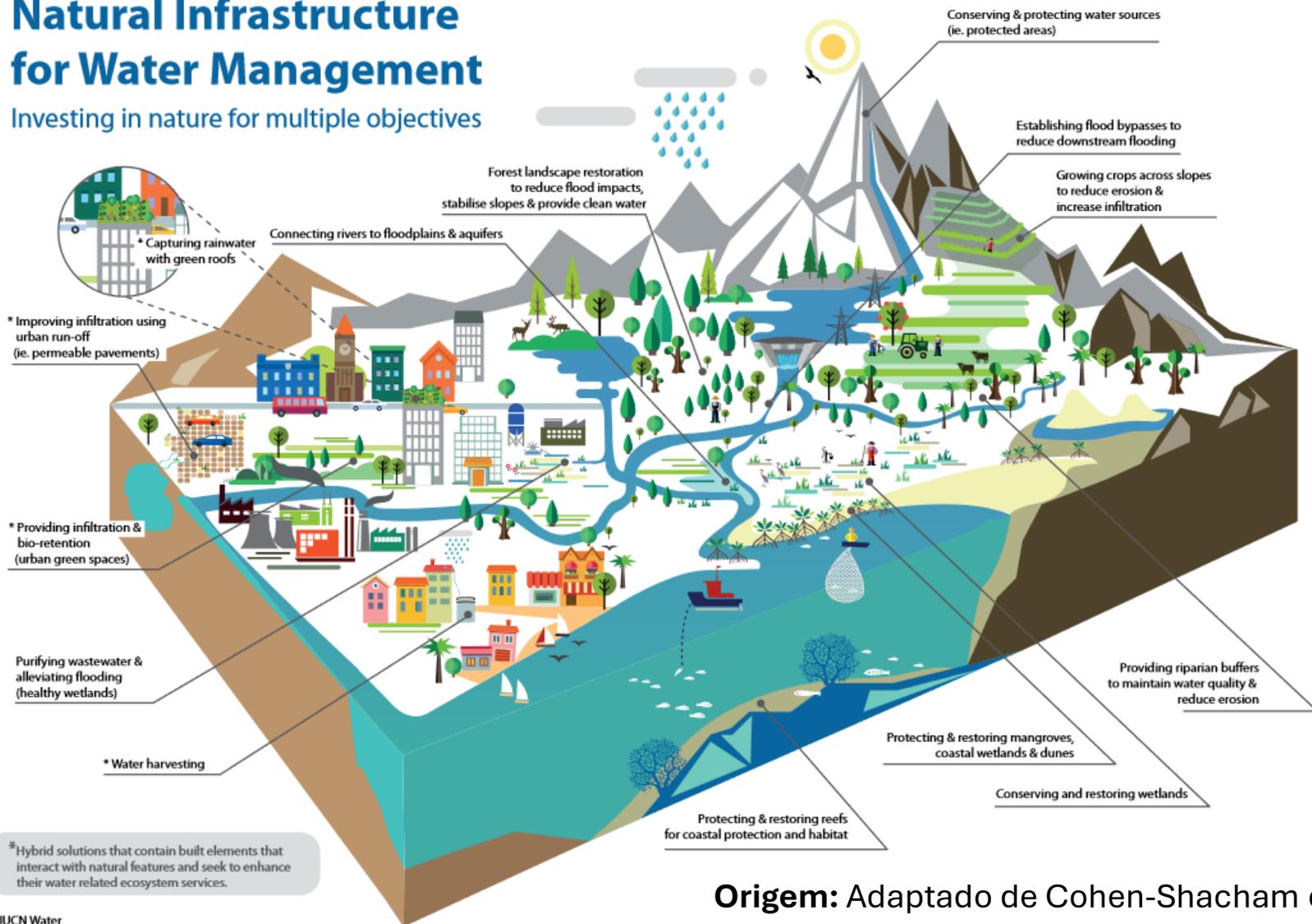


Origem: Arche-Nova

Vantagens → Reduzidas perdas por evaporação, menor proliferação de mosquitos

Natural Infrastructure for Water Management

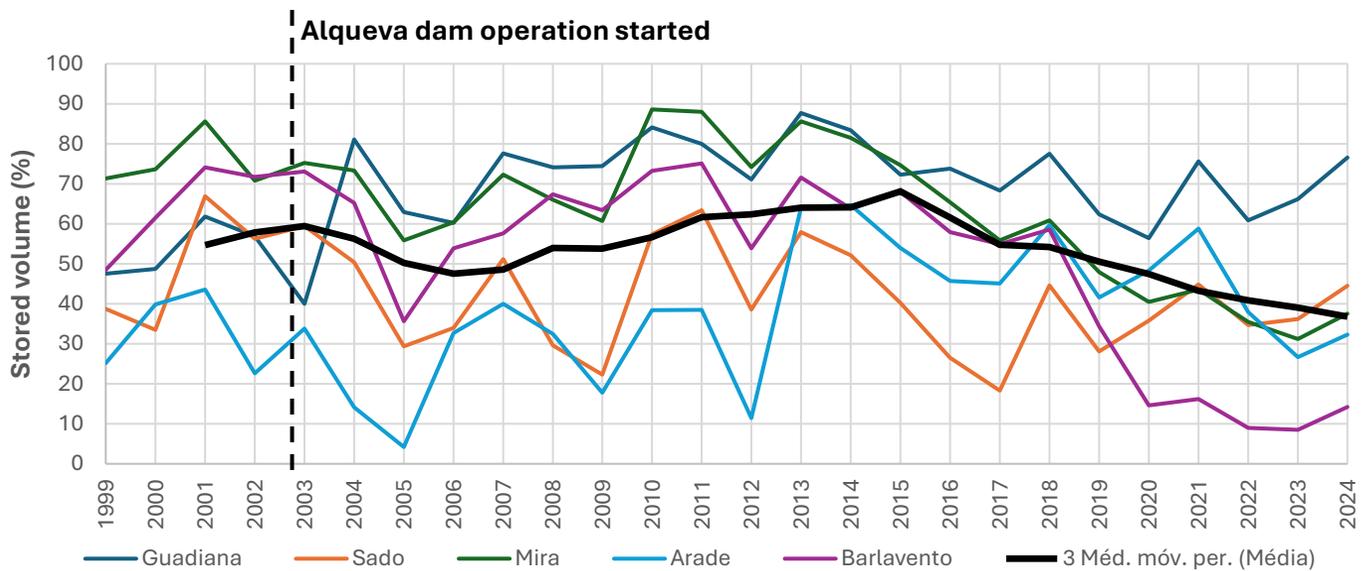
Investing in nature for multiple objectives



O conceito de Soluções Baseadas na Natureza (Nature-based Solutions - NBS) é **compatível e complementar** ao conceito de MAR:

Ambos têm como objetivo melhorar infiltração, **através de processos naturais**, fazendo uso de zonas húmidas e paisagens permeáveis.

Origem: Adaptado de Cohen-Shacham et al. (2016)



ÁGUA

P

Seca: Portugal deve esgotar todas as soluções antes de transvases entre regiões

Vários investigadores têm vindo a alertar para as consequências ambientais das transvases entre bacias hidrográficas. A seca extrema causada pelas alterações climáticas pode levar a medidas drásticas.

Lusa
21 de Outubro de 2024, 18:15
(in Público, [link](#))

- (1) secas recorrentes (mais longas)
- (2) variação dos padrões de precipitação

➔ **Investimento em adaptação e mitigação.**

Novos investimentos são escassos e exigem uma avaliação cuidadosa.

Otimização do processo de tomada de decisão

Cientificamente baseado, credível e colaborativo

O PROJETO AGREEMAR

Objetivos

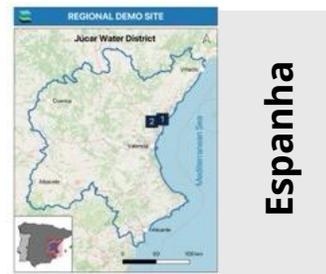
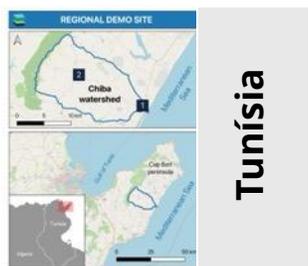


Ampliar estratégias inovadoras e adaptativas de gestão de água como o **uso de origens de água não convencionais** para **aumentar o armazenamento em aquíferos**.

Melhorar a aceitação destas soluções, **garantindo uma implementação segura, eficiente e duradoura** com base em indicadores ambientais, sociais e económicos.

Adoção de **abordagens participativas**.

Demonstrar que a implementação de MAR poderá promover o **uso mais eficiente da água** e a **preservação dos serviços naturais**.



VIABILIDADE MAR

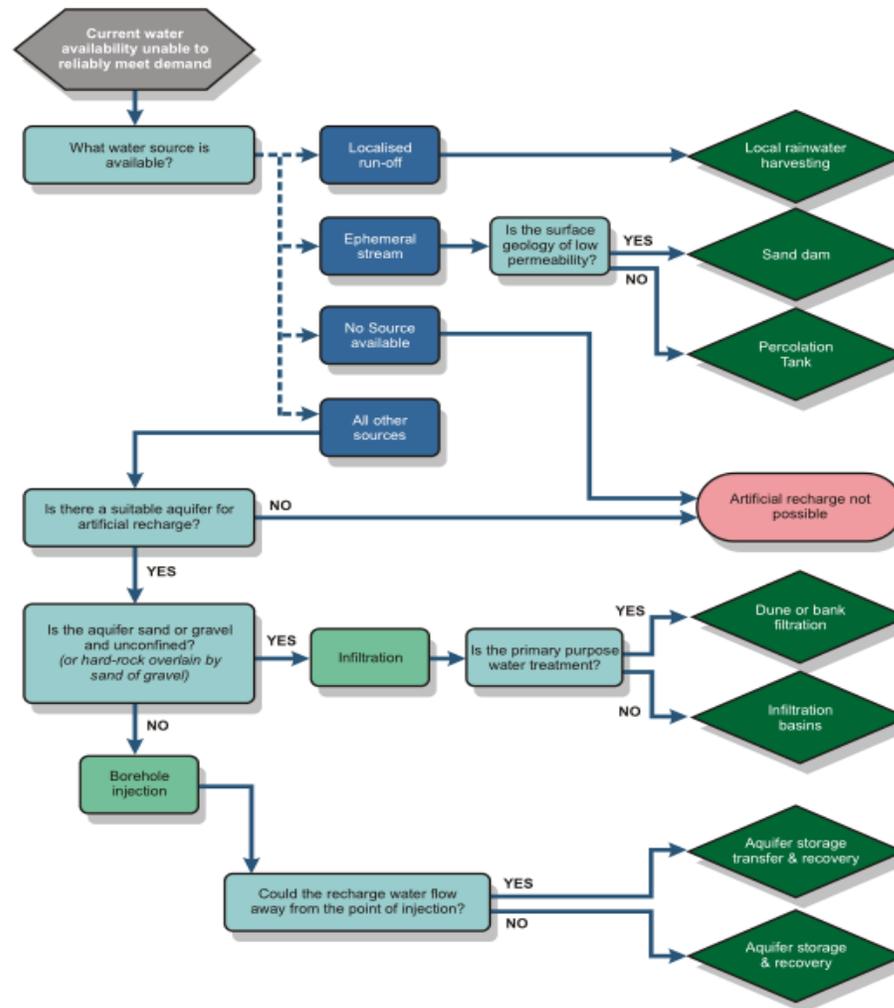
O planeamento adequado da implementação de MAR requer um processo de tomada de decisão estruturado.



Esquemas de decisão são demasiado simples (lógica booleana S/N).

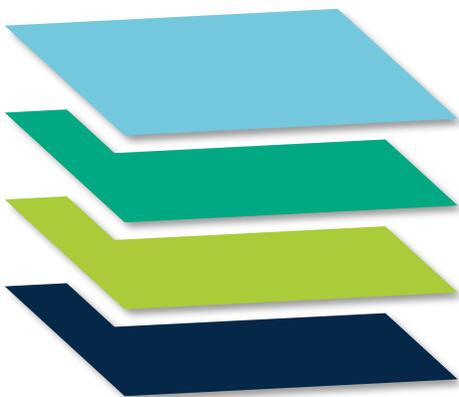
A modelação numérica é complexa, exige experiência avançada para alcançar resultados aceitáveis.

A Análise Multicritério com base em Sistemas de Informação Geográfica **sistematiza o processo de tomada de decisão**
→ Adequada para problemas que envolvem **múltiplos fatores e grandes escalas de implementação (Sul de Portugal)**

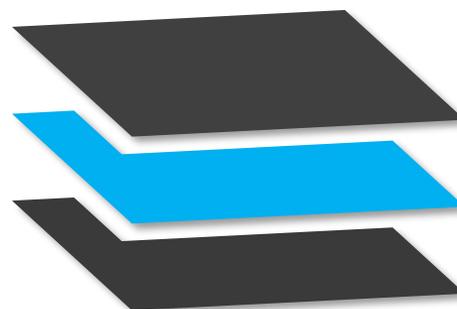


Viabilidade *(feasibility)*

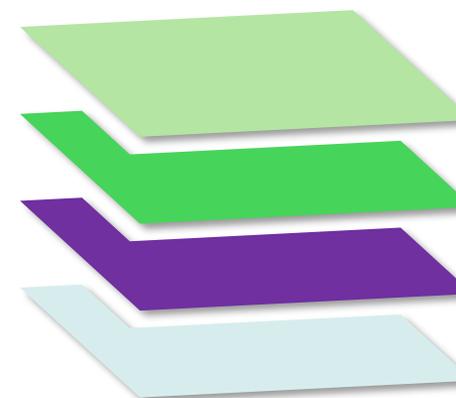
Adequabilidade do meio *(Intrinsic Suitability – IS)*

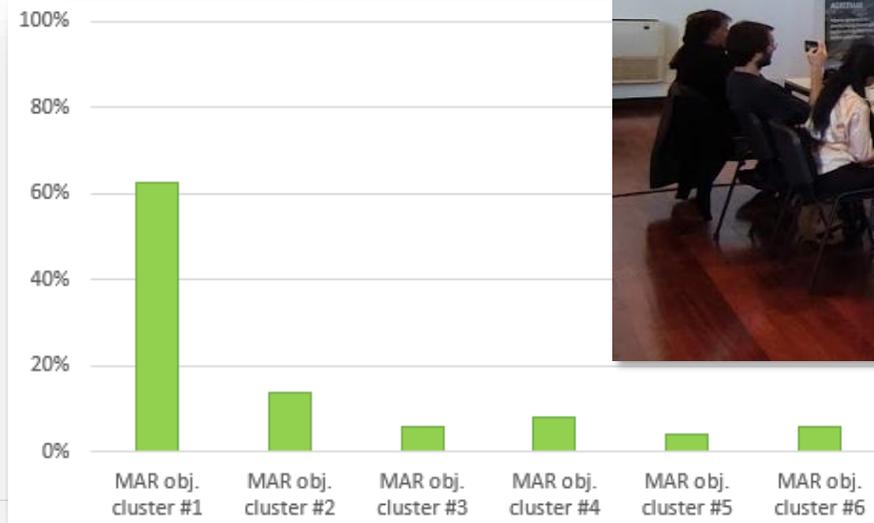


Disponibilidades hídricas *(Water Availability – WA)*



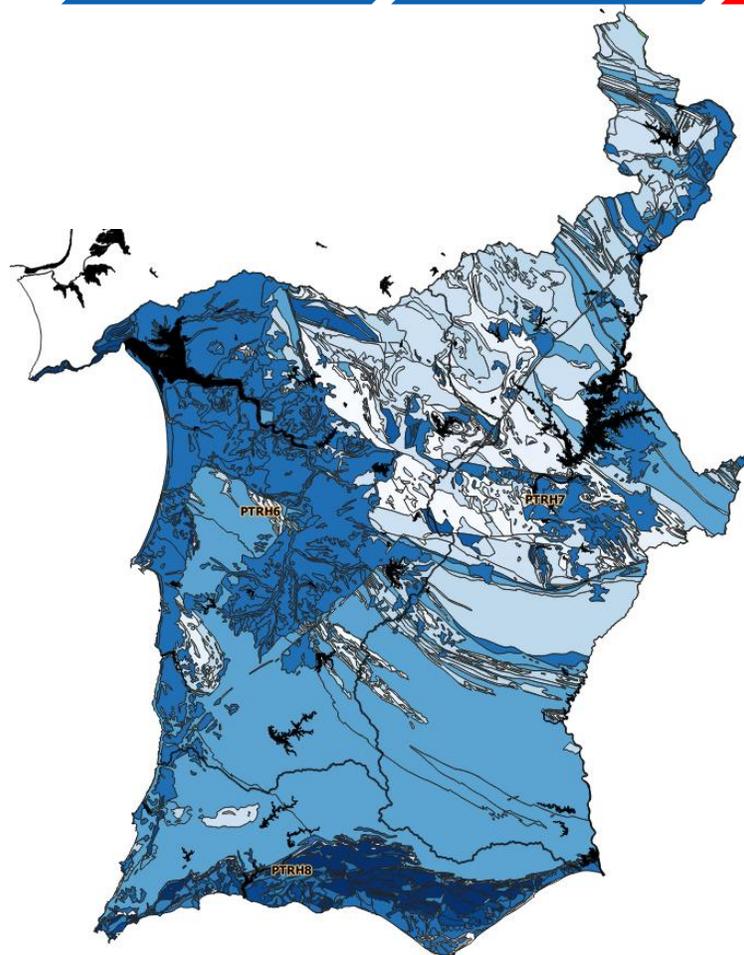
Necessidades hídricas *(Water Demand – WD)*





1ª consulta aos stakeholders O principal objective da implementação de MAR: Aumento das disponibilidades hídricas (obj. #1)





Construção de mapas *standardizados* Critérios associados a Características intrínsecas → **Litologia**

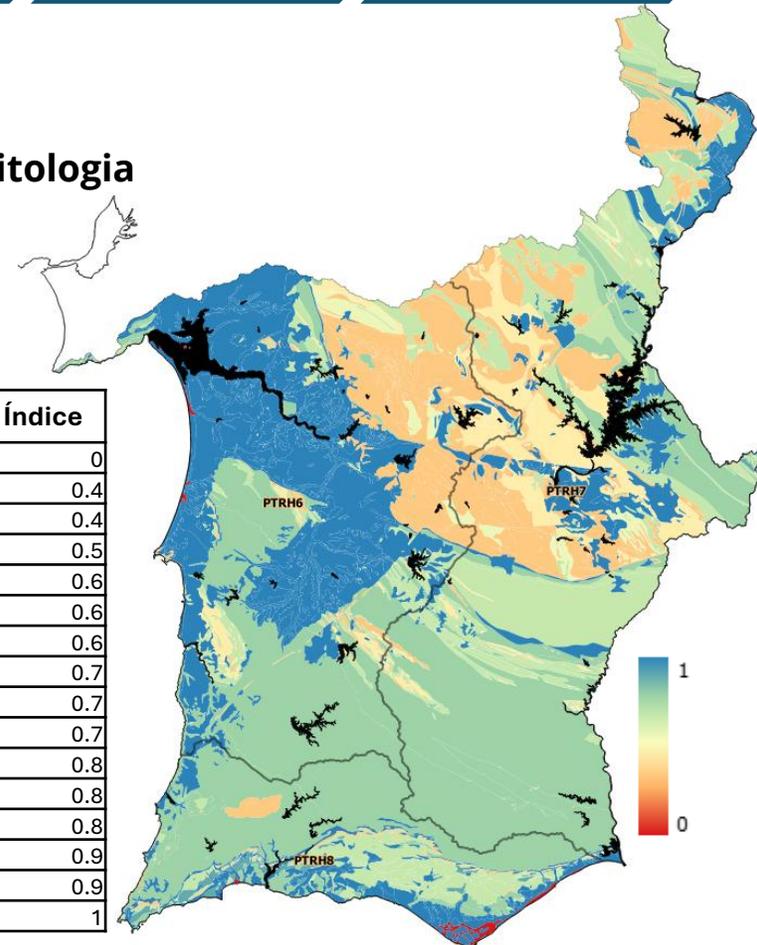
Principais grupos litológicos (-)

- Karstic
- Karstic/sedimentary
- Karstic/metamorphic
- Sedimentary
- Sedimentary/karstic
- Karstic/vulcanic/sedimentary
- Sedimentary/metamorphic
- Sedimentary/vulcanic
- Metamorphic/karstic
- Metamorphic/sedimentary
- Metamorphic
- Intrusive
- Vulcanic/sedimentary
- Vulcanic/metamorphic
- Vulcanic



Reclassificação

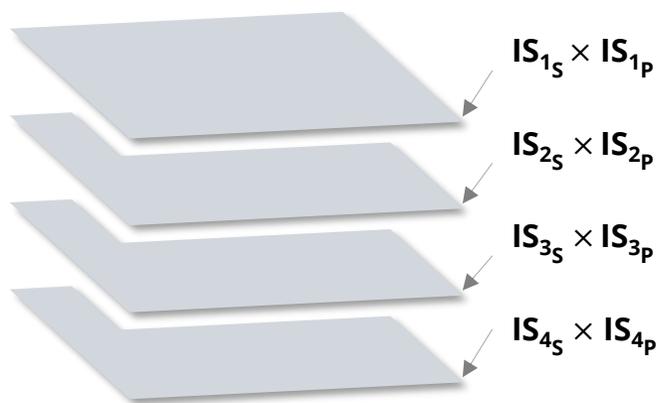
Classes	Índice
Unclassified / no information on lithology	0
Intrusive	0.4
Vulcanic	0.4
Vulcanic/metamorphic	0.5
Karstic/metamorphic	0.6
Karstic/vulcanic/sedimentary	0.6
Vulcanic/sedimentary	0.6
Karstic	0.7
Metamorphic	0.7
Sedimentary/vulcanic	0.7
Karstic/sedimentary	0.8
Metamorphic/karstic	0.8
Sedimentary/metamorphic	0.8
Metamorphic/sedimentary	0.9
Sedimentary/karstic	0.9
Sedimentary	1



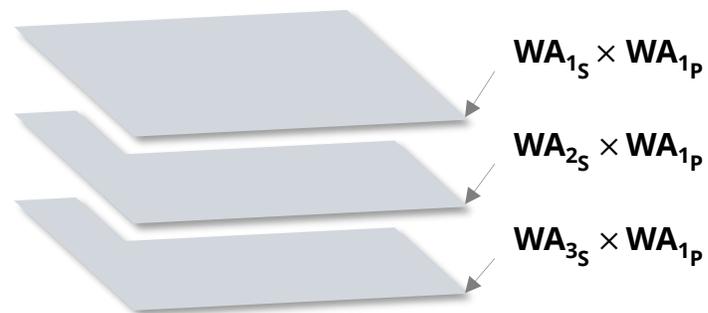
Origem: Simplificação do mapa geológico 1:500 000, LNEG (2023)

Viabilidade (feasibility)

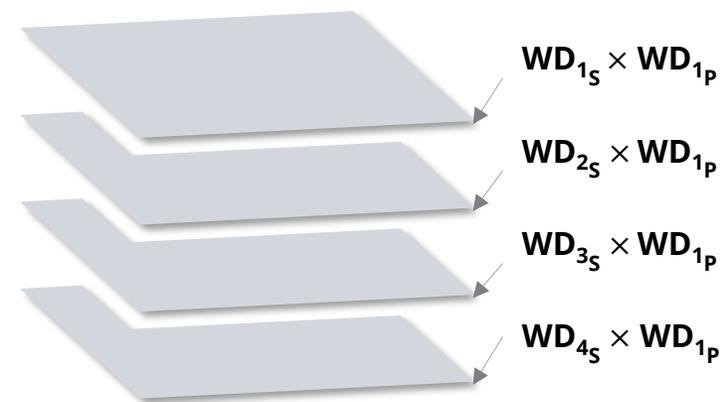
Adequabilidade do meio (Intrinsic Suitability – IS)

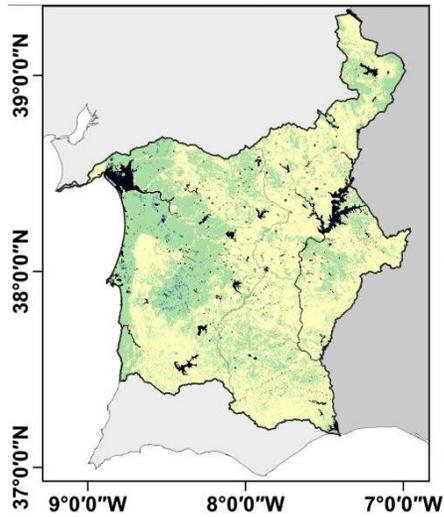


Disponibilidades hídricas (Water Availability – WA)



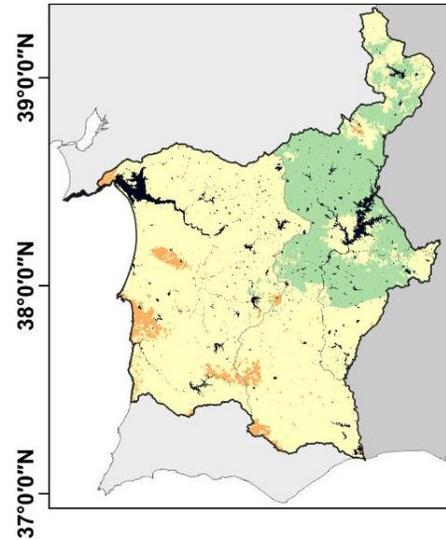
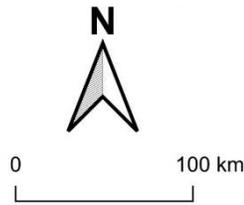
Necessidades hídricas (Water Demand – WD)





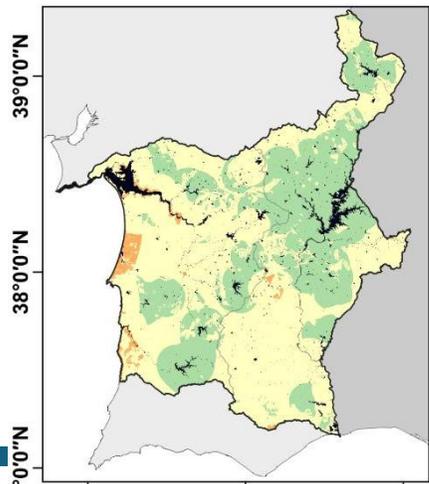
Intrinsic suitability

- Exclusion areas [0]
- Very low suitability [0.0 - 0.2]
- Low suitability [0.2 - 0.4]
- Moderate suitability [0.4 - 0.6]
- High suitability [0.6 - 0.8]
- Very high suitability [0.8 - 1]



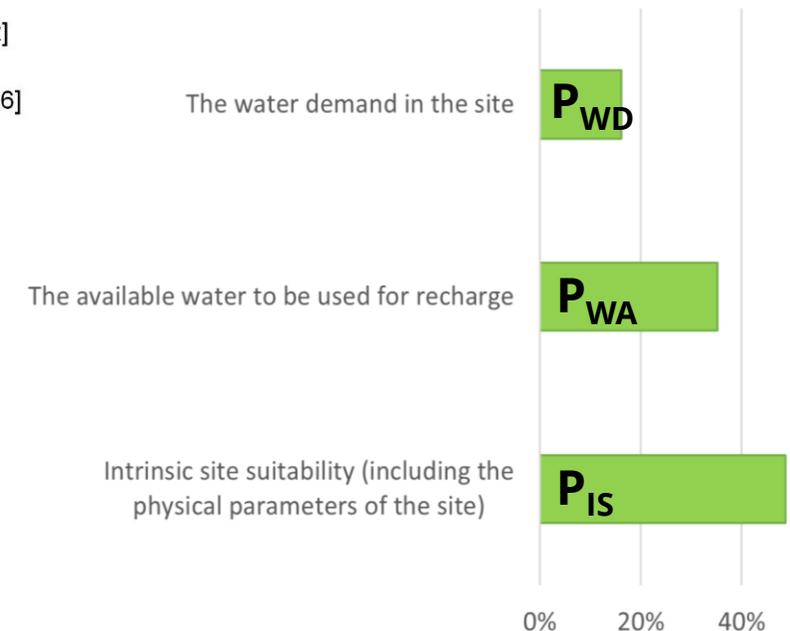
Water demand

- Exclusion areas [0]
- Very low demand [0.0 - 0.2]
- Low demand [0.2 - 0.4]
- Moderate demand [0.4 - 0.6]
- High demand [0.6 - 0.8]
- Very high demand [0.8 - 1]



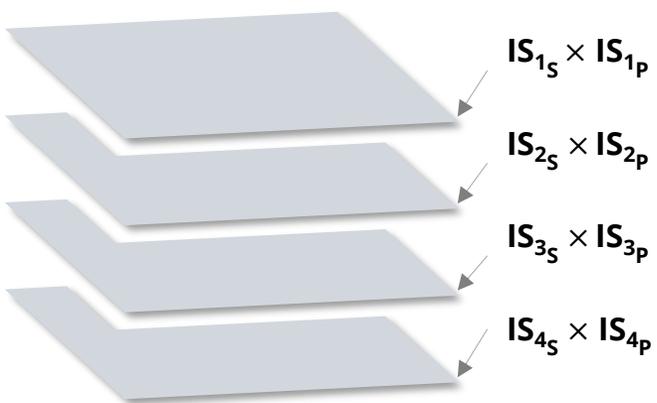
Water availability

- Exclusion areas [0]
- Very low availability [0.0 - 0.2]
- Low availability [0.2 - 0.4]
- Moderate availability [0.4 - 0.6]
- High availability [0.6 - 0.8]
- Very high availability [0.8 - 1]

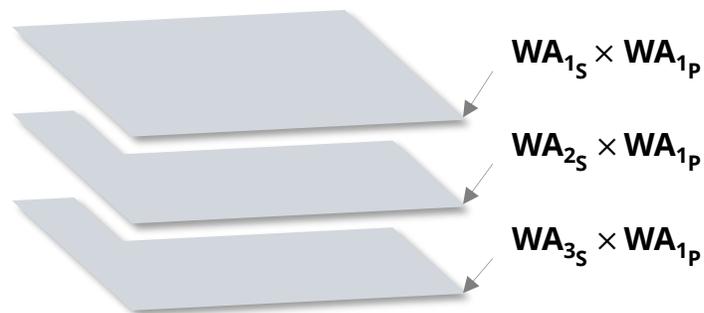


Viabilidade (feasibility)

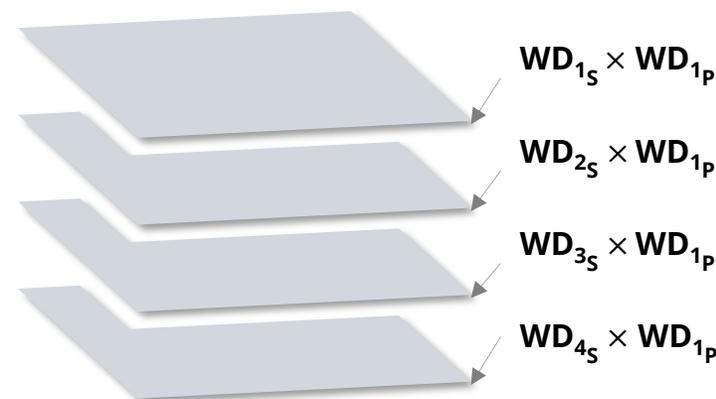
Adequabilidade do meio (Intrinsic Suitability – IS)



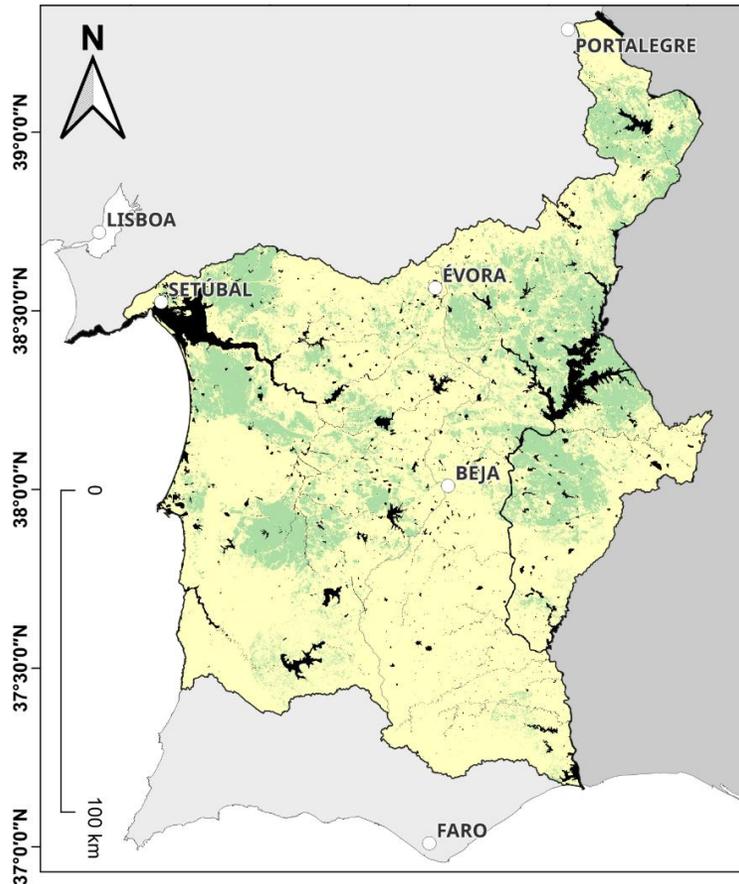
Disponibilidades hídricas (Water Availability – WA)



Necessidades hídricas (Water Demand – WD)



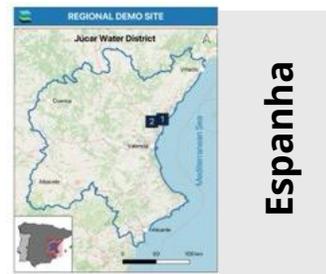
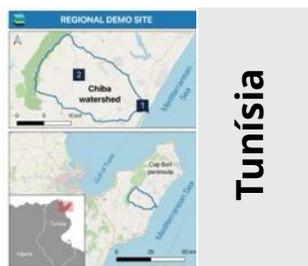
$$P_{IS} \times \sum (IS_{nS} \times IS_{nP}) + P_{WA} \times \sum (WA_{nS} \times WA_{nP}) + P_{WD} \times \sum (WD_{nS} \times WD_{nP}) = FI$$



AGREEMAR method

- MAR Feasibility index
- Exclusion areas [0]
 - Very low feasibility [0.0 - 0.2]
 - Low feasibility [0.2 - 0.4]
 - Moderate feasibility [0.4 - 0.6]
 - High feasibility [0.6 - 0.8]
 - Very high feasibility [0.8 - 1]

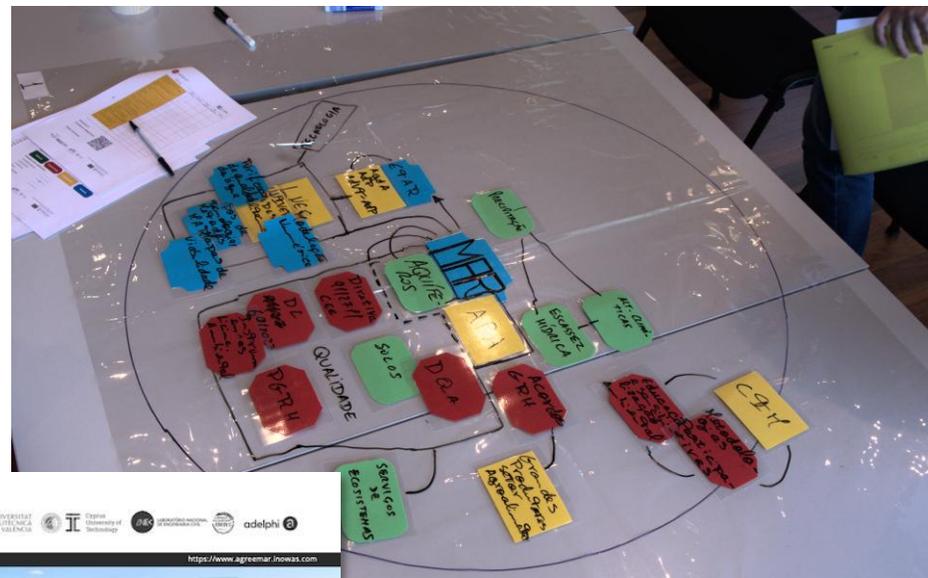




WP5. Implementação de acordos à escala local

Envolver *stakeholders* de diferentes setores para:

- Estabelecer o quadro **de governança para a gestão da recarga** na região do Mediterrâneo.
- Delinear acordos regionais ou locais para a **implementação MAR (guião, carta de intenções) instituindo:**
 - Quem beneficia?
 - Que instrumentos financiam?
 - Que critérios se usam para a avaliação da boa implementação?
 - Quem regulamenta?
 - Como deve ser monitorizado?





AGREEMAR project is funded under the Partnership for Research and Innovation in the Mediterranean Area, supported under Horizon 2020 by the EU's Framework for Research and Innovation, and by the National Funding Agencies (FCT-PT, grant no. PRIMA/0004/2021, BMBF-DE, grant no. 02WPM1649A, RIF-CY, grant no. 0321-0024, MESRS-TN, grant no. PRIMA/TN/21/07, <https://doi.org/10.54499/PRIMA/0004/2021>) [2022 – 2025]





LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL



tmartins@lnec.pt



<https://www.lnec.pt/hidraulica-ambiente/pt/>