



COMO CONTROLAR A DEGRADAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA EM ZONAS COSTEIRAS USANDO A GESTÃO DA RECARGA DE AQUÍFEROS OTIMIZADA PELO ÍNDICE DE AVALIAÇÃO DE VULNERABILIDADE À INTRUSÃO MARINHA GALDIT E PELO ÍNDICE GABA-IFI

João Paulo Lobo-Ferreira

Dr.-Ing. Habil., Coordenador do Gabinete de Apoio a Parcerias de Investigação no Conselho Diretivo e ex-Chefe do Núcleo de Águas Subterrâneas do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Avenida do Brasil, 101, 1700-066, LISBOA, Portugal, lferreira@lneec.pt; +351962496713

RESUMO

Uma das melhores soluções para fazer face à variabilidade climática, que se teme aumente nas próximas décadas também para as zonas costeiras, é a Gestão da Recarga de Aquíferos (MAR). A sua aplicação depende da disponibilidade de água para recarga, e inclui as águas residuais apropriadamente tratadas. Como controlar a intrusão marinha em zonas costeiras com MAR? Sabemos que os locais mais apropriados devem ter boas taxas de infiltração, capacidade de armazenamento no subsolo, o tempo de percurso da água de recarga no aquífero suficientemente longo e compatível com a frequência esperada dos períodos de seca. Deve ainda maximizar-se a eficiência económica, garantir a disponibilidade de áreas para o MAR. Finalmente, devem serem avaliados os impactos positivos, tanto para a sociedade como nos ecossistemas. O índice GABA-IFI, que se apresenta na comunicação, avalia parâmetros para a seleção das áreas mais adequadas para a localização das técnicas MAR. Além disso, temos hoje bons modelos matemáticos para calcular os efeitos benéficos da injeção de água no escoamento subterrâneo, visando a recuperação dos níveis aquíferos esgotados, e na qualidade das águas subterrâneas, por exemplo em zonas agrícolas vulneráveis contaminadas por nitratos. Mas o GABA-IFI por si só não é suficiente para responder às questões relativas ao esperado aumento do nível do mar nas zonas costeiras. Nesses casos, temos que saber avaliar as zonas mais vulneráveis à intrusão marinha para melhor controlar a degradação da qualidade da água via MAR. O índice GALDIT é hoje, provavelmente, o mais utilizado a nível mundial para tal fim. O GALDIT utiliza parâmetros hidrogeológicos, como a condutividade hidráulica, o nível piezométrico de água subterrânea, a distância ao litoral e o historial da intrusão marinha, para mapear índices de vulnerabilidade à intrusão no aquífero. O GALDIT atribui um peso a cada um dos parâmetros referidos e prioriza os parâmetros através de um processo de tomada de decisão. Em seguida, avalia a possibilidade da intrusão marinha por meio de um cálculo numérico. Na comunicação serão apresentados exemplos.

Palavras-Chave: Zonas costeiras, intrusão marinha, modelos matemáticos, índice GALDIT, índice GABA-IFI.

1. AVALIAÇÃO DA RECARGA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM CONDIÇÕES DE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

As principais variações na disponibilidade regional de água subterrânea provêm da diminuição da recarga de aquíferos, o que leva a mudanças no nível piezométrico e nas interfaces entre as águas superficiais e subterrâneas com mudanças nas taxas de descarga dos aquíferos para os rios e para os Ecossistemas Dependentes de Águas Subterrâneas (EDAS). Incluem-se as interfaces entre água doce e salgada em aquíferos costeiros e áreas estuarinas. O aumento nos fenómenos de precipitação extremos, mesmo com volumes anuais médios idênticos, pode também causar diminuição na recarga de água subterrânea, porque a capacidade de infiltração do solo é excedida com maior frequência, favorecendo o escoamento superficial em vez da recarga. Os estudos realizados no LNEC sobre águas subterrâneas têm demonstrado a influência das alterações climáticas nas séries de precipitação e a vantagem de se utilizarem modelos de balanço hídrico sequencial diário para avaliação da recarga de aquíferos. Utilizando o modelo BALSEQ [1], para os cenários analisados [2], uma redução do valor da precipitação para 70% do valor médio anual, corresponde a uma redução da recarga anual média calculada, para 45%. Condições climáticas, como chuva, temperatura e humidade atmosférica, afetam os volumes de água

que são utilizados pelas plantas em evapotranspiração e aqueles que são transferidos para recarga dos aquíferos. Em condições de mudanças climáticas, em zonas mediterrânicas, os parâmetros hidrológicos e hidrogeológicos tendem a ser modificados, com impactos diretos sobre a evapotranspiração (que aumenta) e a recarga (que diminui). Há também um impacto associado, que é devido à modificação da cobertura vegetal, que afetará os volumes de evapotranspiração, escoamento superficial, teor de água no solo e, consequentemente, a recarga dos aquíferos.

Utilizando o modelo BALSEQ [1], estimámos que a recarga média no sistema aquífero de Torres Vedras, no centro de Portugal, diminua significativamente em 50 anos, em algumas áreas para valores de 84% a 98% da recarga do período 1979-2009, dependendo das séries de precipitação, das temperaturas e da evapotranspiração de referência utilizada. Cálculos adicionais do LNEC para o horizonte de 2080, com base na série climática utilizada, mostraram que a recarga média será de 60% a 82% da recarga do período 1979-2009. É impressionante a redução potencial esperada na recarga do aquíferos de Torres Vedras, que pode ser observada na Figura 1.

2. O ÍNDICE GALDIT

O desenvolvimento original do índice GALDIT foi feito no âmbito do projecto INCO-DEV COASTIN UE-Índia ([3] Figura 2, Goa Índia), com o objectivo de avaliar a vulnerabilidade dos aquíferos à intrusão marinha em aquíferos costeiros indianos. Uma segunda aplicação foi desenvolvida em Portugal para avaliação do efeito da subida do nível do mar (efeito de alterações climáticas), na região sul de Portugal, no Algarve (parte 1 de [3]). Os fatores mais importantes, que controlam a intrusão marinha, são os seguintes: Ocorrência de água subterrânea, Tipo de aquífero: livre, confinado e semi-confinado, Condutividade hidráulica do aquífero, Profundidade ao nível freático, Nível freático acima do nível do mar, Distância à linha de costa (distância interior perpendicular à costa), Impacto do historial de intrusão marinha na área em estudo, e Espessura do aquífero que se quer mapear. O acrónimo GALDIT é formado a partir de letras dos parâmetros referidos em língua inglesa.

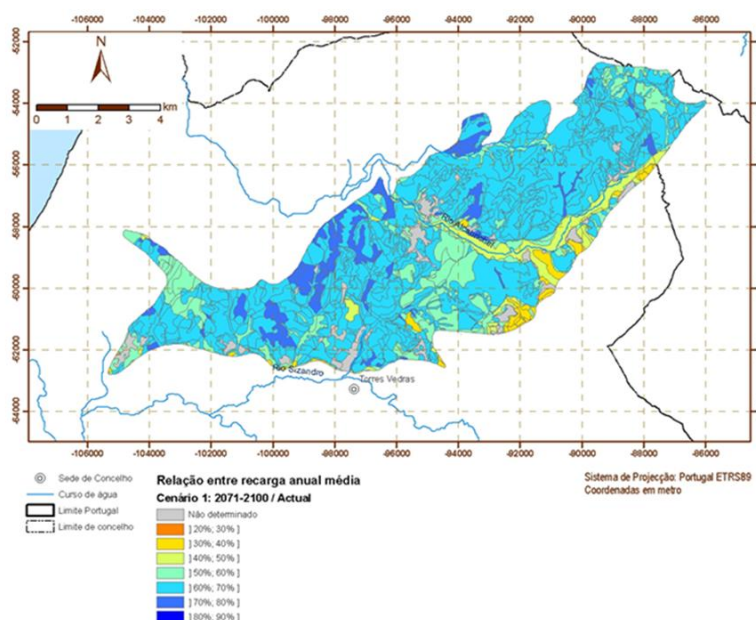


Figura 1 - Relação entre a média atual e a recarga anual prevista (para o Cenário 1 em 2071-2100) do sistema de aquíferos de Torres Vedras, no centro de Portugal [2]

3. A GESTÃO DA RECARGA DE AQUÍFEROS COMO ESTRATÉGIA DE RESPOSTA ÀS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

A Gestão da Recarga de Aquíferos (MAR) permite o uso conjunto de recursos de águas superficiais e subterrâneas sendo portanto uma componente importante da Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH). A

implementação de um sistema MAR requer um planeamento cuidadoso em termos da sua integração segura no sistema hidrogeológico e nos objetivos gerais de gestão dos recursos hídricos. As recentes crises de abastecimento de água causadas pelas recentes secas na região do sul de Portugal (Algarve) confirmaram a necessidade de implementação de novas medidas para melhorar a gestão dos recursos hídricos na região [4]. As albufeiras e outros reservatórios abertos de águas superficiais, existentes no Algarve, sofrem perdas significativas de água devido às altas taxas de evaporação, não sendo capazes por si só de cobrir as necessidades de água em condições de seca. Exemplificando, no ano húmido de 2000/2001, durante a estação chuvosa, registaram-se descargas significativas dessas albufeiras (avaliadas em cerca de 56 hm³) para jusante. Daí o rio Arade flui diretamente para o estuário. A disponibilidade de água durante períodos de seca é hoje o principal constrangimento ao desenvolvimento da região do Algarve. A exploração do aquífero Querença-Silves, já sobre-explorado, não é uma estratégia de resposta sustentável ao problema do abastecimento de água. Foi estimado para a seca de 2004/2005 um défice de 50 hm³, causando a intrusão marinha nas zonas de descarga do aquífero para o estuário do rio Arade [4]. As perdas de recursos hídricos superficiais para o mar, em anos húmidos, e a sobre-exploração do aquífero, em anos secos, confirmam a necessidade de uma nova gestão conjunta dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, com localizações MAR optimizadas pelo índice GABA-IFI (cf. Figura 3), para garantir o abastecimento hídrico nas secas, mitigar os seus impactes negativos no Querença-Silves e proporcionar condições para desenvolvimento sustentável do Algarve.

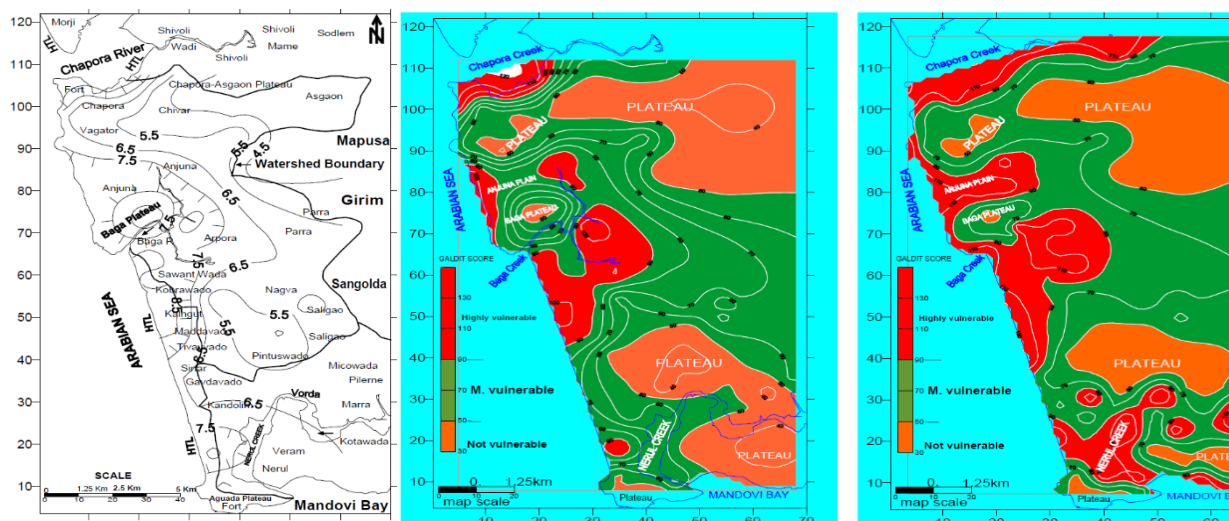


Figura 2- Comparação entre as pontuações do GALDIT para níveis atuais e para subidas do nível do mar na costa norte de Goa (valores à esquerda e no centro para o nível normal do mar e valores calculados para uma subida do nível do mar, à direita) [3]

4. CONCLUSÕES

O crescente desequilíbrio entre a disponibilidade de água e a procura, em muitas áreas costeiras, exacerbado pelas mudanças climáticas, crescimento populacional, necessidades agrícolas e urbanização, requer uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos. Armazenar água de albufeiras ou de tetos de estufas em aquíferos durante períodos de excedentes hídricos pode ajudar a enfrentar os desafios da escassez de água, atuais e futuros. A Gestão da Recarga de Aquíferos (MAR) pode ser uma parte importante da solução para a crise da água, recuperando recursos hídricos não-convencionais, para uma nova gestão com MAR. Tal confirmam os resultados obtidos no Projeto FCT LNEC- INRGREF Tunísia no aquífero Korba-Mida, Figura 4 [5]: há aumentos do nível piezométrico após a recarga, e o processo MAR teve um impacto benéfico na diminuição da condutividade elétrica da água subterrânea local. De igual modo o MAR pode ser uma resposta cientificamente baseada para os problemas de gestão da água na região do Algarve, transferindo-se águas superficiais das albufeiras de Odelouca e Funcho (em anos de excedente hídrico, albufeiras na Figura 3) para recarga das águas subterrâneas na parte montante da área de estudo no aquífero Querença-Silves. A nova estratégia de resposta é uma gestão MAR que utiliza o aquífero como um sistema de armazenamento extra e transporte de água subterrânea. O projeto MARSOL [6] confirmou a viabilidade de recarga com uma taxa de infiltração de 47 L / s (~ 170 m³ / h) durante 90 horas. No que diz respeito à divulgação dos resultados do projeto MARSOL e à vontade social de aplicar o MAR no Algarve, salientam-se dois Workshops LNEC com Associações de Regantes do Oeste e Leste do

Algarve [7]. As conclusões sociais são surpreendentes: os agricultores estão dispostos a pagar, na sua fatura mensal de água, uma contribuição voluntária que varia entre 15 e 75 € para permitir a implementação de instalações de recarga de aquíferos, salvaguardando o aquífero Querença-Silves, e visando um abastecimento fiável para rega, durante futuros períodos de seca no Algarve ([7]).

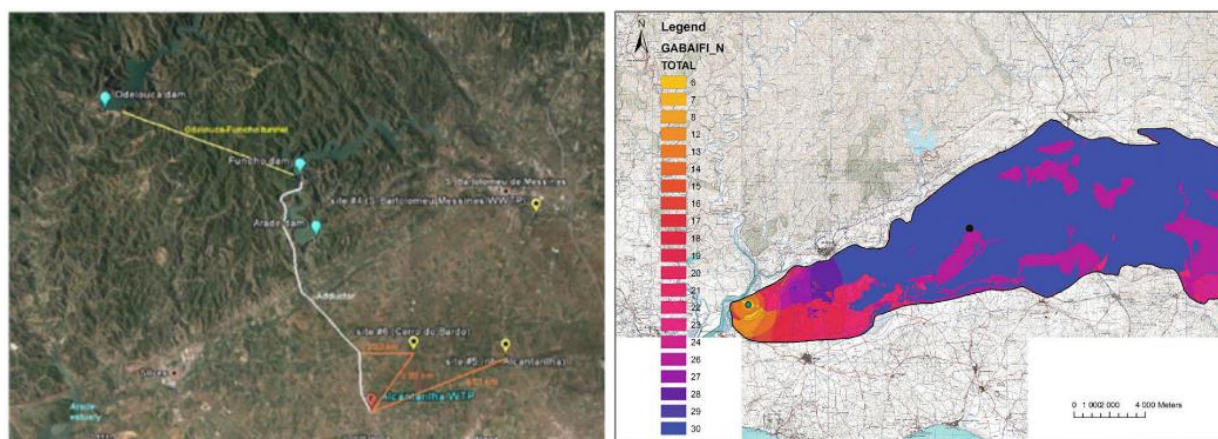


Figura 3- Possíveis fontes de água, em anos húmidos para gestão da recarga de aquíferos (MAR), provenientes das albufeiras de Odelouca e Funcho (parte esquerda superior da figura) e índice GABA-IFI, representando os locais mais favoráveis à instalação do MAR (amarelo menos adequado; melhor localização a azul) [4].

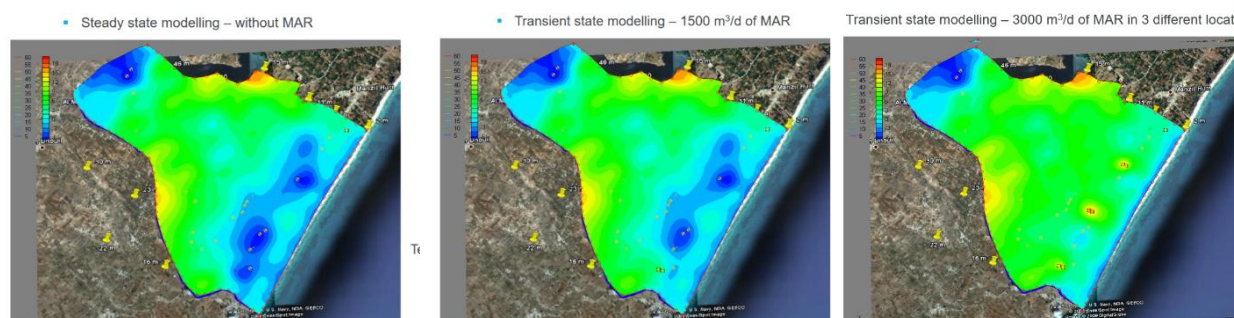


Figura 4 - Níveis piezométricos para a situação existente (à esquerda) sem infiltração de água, modelando a recarga com $1500 \text{ m}^3 / \text{dia}$ (centro) e considerando um valor de recarga otimizado para $3000 \text{ m}^3 / \text{d}$ (à direita), em três locais diferentes do aquífero de Korba-Mida [5].

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Lobo-Ferreira, J.P. (1981) - Mathematical model for the evaluation of the recharge of aquifer in semiarid regions with lack of hydrological data In: proceedings of EUROMECH 143, Flow and transport in porous media. Rotherdam, AA Balkema.
- [2] Lobo-Ferreira J.P., Novo, M.E., Oliveira, M.M., Oliveira, L.G.S. (2012) - Estudo do Impacto das Alterações Climáticas na Recarga do Sistema Aquífero de Torres Vedras. Lisboa, 11.º Congresso da Água, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos (APRH), Porto, Fev. 2012, 15 pp.
- [3] Chachadi, A.G. e Lobo-Ferreira, J.P. (2007) - Sea water intrusion vulnerability using GALDIT method: Part 2 – GALDIT indicators description. In Lobo Ferreira, J.P; Vieira, J. (eds) – Water in Celtic Countries: Quantity, Quality and Climate Variability, IAHS Red Books, London, IAHS Publication 310, ISBN 978-1-901502-88-6, pp. 172-180 (disponível em <http://www.aprh.pt/celtico/PAPERS/26.PDF>).
- [4] Lobo-Ferreira J.P., Oliveira, L.G.S., Diamantino C. (2011) - Groundwater Artificial Recharge Solutions for Integrated Management of Watersheds and Aquifer Systems Under Extreme Drought Scenarios. In: Jones J. (eds) Sustaining Groundwater Resources. International Year of Planet Earth. Springer, Dordrecht.
- [5] Terceiro, A., Oliveira, L.G.S., Lobo-Ferreira, J.P., Miguel, G., Gaaloul, N., Rocha, E. (2010) - Modelação matemática em aquíferos costeiros. Aplicação a dois casos de estudo em países africanos: Angola e Tunísia. Lisboa, APRH, 10.º Congresso da Água, Algarve, 15 pp.



- [6] Leitão, T., Lobo-Ferreira, J.P., Martins, T., Oliveira, M. M., Henriques, M. (2017) - Demonstrating Managed Aquifer Recharge as a Solution to Water Scarcity and Drought in South Portugal, Tech. Rep. 619120, European Commission (cf. <http://www.marsol.eu/>).
- [7] DED/NUT (2015) - Groundwater Protection and Preservation: Results from a survey to Portuguese farmers. Relatório LNEC 101/2015 (disponível em https://www.eip-water.eu/sites/default/files/Rel%20101_15.pdf).