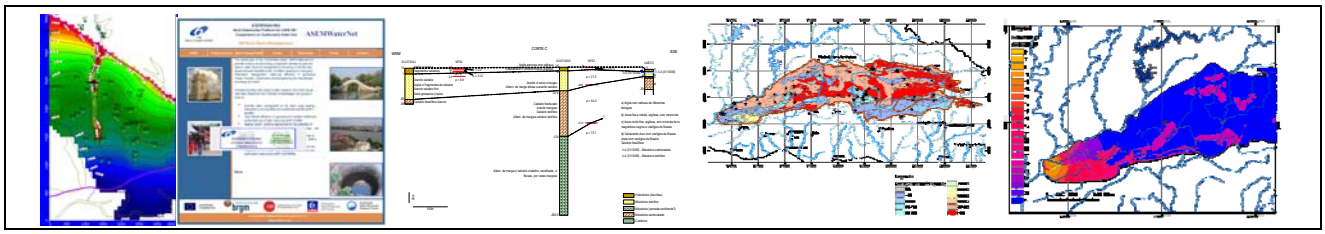
Área temática lnec	Ambiente e sustentabilidade
Projecto de investigação	P3: Avaliação de recursos hídricos subterrâneos e modelação numérica em hidrogeologia E12: Metodologias para caracterização da exploração, gestão e desenvolvimento sustentável, quantitativo e qualitativo, dos recursos hídricos subterrâneos
Investigador responsável	João Paulo Lobo Ferreira, Manuel Mendes Oliveira
Processo nº	0607/11/16253 (0607/17/15489)



Objectivos

Desenvolver métodos e ferramentas para caracterizar as disponibilidades hídricas subterrâneas anuais, dando cumprimento à Directiva-Quadro da Água (Directiva 2000/60/CE) e para permitir definir a exploração sustentável, espacial e temporal, das águas subterrâneas.

Melhorar o conhecimento das reservas de águas subterrâneas, tendo em vista o conhecimento da quantidade de água disponível para extracção, utilizável em situações de escassez de água.

Promover a gestão da água à escala da bacia, procurando transparência, e benefícios sustentáveis e equitativos.

Desenvolver uma tese de doutoramento sobre metodologias para avaliação de reservas de águas subterrâneas com aplicação a casos de estudo portugueses.

Os objectivos iniciais deste Projecto de Investigação foram complementados durante a avaliação intercalar publica realizada em 2007, de forma a integrarem a componente LNEC dos estudos da *Acção de Coordenação ASEMWaterNet* do 6º Programa-Quadro de Investigação da Comissão Europeia (INCO-CT2005-510897), que promove a cooperação científica e tecnológica entre a Europa e a Ásia na gestão de recursos hídricos, focando em cinco áreas temáticas principais: Gestão de bacia hidrográfica, uso eficiente de água na agricultura, cheias, poluição e governância. Os objectivos da Acção *ASEMWaterNet* podem ser vistos com maior detalhe no site desenvolvido pelo LNEC/DHA/NTI, em http://www.asemwaternet.org.pt/:

Principais desenvolvimentos

Definição conceptual da problemática da sustentabilidade da exploração dos recursos hídricos, desde o processo de recarga, ao armazenamento de água no meio subterrâneo, à exploração de água subterrânea, e à descarga do meio subterrâneo para o meio superficial.

A sustentabilidade da exploração das águas subterrâneas está também dependente das reservas hídricas subterrâneas, nomeadamente em situações de escassez de água ou quando a capacidade de armazenamento do meio hídrico subterrâneo é inferior aos volumes de recarga e descarga anuais médios.

De entre as metodologias existentes para a quantificação das reservas de águas subterrâneas, referem-se, para a avaliação da porosidade eficaz e o armazenamento específico: métodos laboratoriais (gravimétrico; volumétrico; ópticos; nucleares; saturação e drenagem de amostras; correlação granulométrica; drenagem por centrifugação;

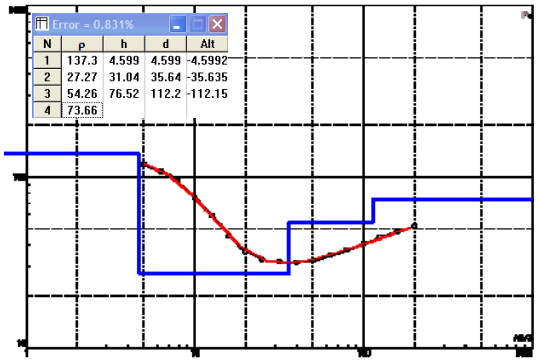


Figura 1 • Modelo geoeléctrico da sondagem eléctrica vertical VES 2 para definição da espessura de camadas aquíferas

tensão do meio não saturado; injecção de mercúrio; saturação); análise de hidrogramas de nascentes ou de escoamentos de base de cursos de água superficial; ensaios de traçadores (tempo de circulação entre dois pontos; método do furo de injecção e furo de extracção; método de injecção e extracção num único furo); ensaios de bombagem; métodos geofísicos; observação de subsidência de terreno.

Para a caracterização da geometria do aquífero, refere-se: cartografia geológica; teledetecção; análise de colunas litológicas; métodos geofísicos (exemplo na Figura 1); interpolação/extrapolação 3D da informação anterior.
Foi caracterizada a geometria do sistema aquífero da Campina de Faro (Figura 2) e foi feita a caracterização hidrogeológica do sistema aquífero Querença-Silves tendo em vista os estudos de sustentabilidade da sua exploração.

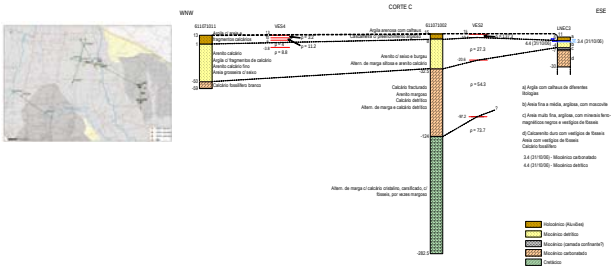


Figura 2 • Indicação de perfis e corte geológico do sistema aquífero da Campina de Faro

Uma caracterização provisória das reservas de águas subterrâneas do sistema aquífero da Campina de Faro é apresentada no Quadro 1.

Quadro 1 • Geometria, propriedades hidráulicas e estimativa provisória das reservas exploráveis de águas subterrâneas

	Espessura média (m)	Volume (hm^3)	Porosidade eficaz (-)	Reservas exploráveis (hm^3)
Sedimentos aluvionares e do Quaternário	14,4	190		
Sedimentos do Miocénico	41,4	548	0,03 (Silva, 1988)	16,5
Camada confinante do Miocénico	16,3	216		
Miocénico carbonatado	177,8	2352	0,05 (Moinante *et al*, 1994)	117,6

Para o estudo da sustentabilidade da exploração das águas subterrâneas foram realizadas primeiras versões de modelos de escoamento e de transporte subterrâneo com possibilidade de interacção com as águas superficiais, numa área local (de 13,23 km^2) do sistema aquífero da Campina de Faro, em regime de equilíbrio (Figura 3).

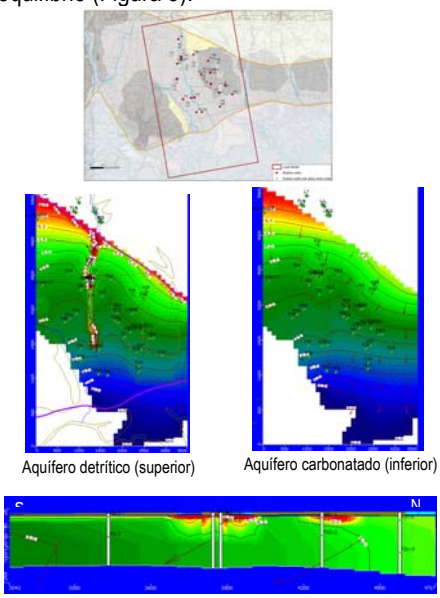


Figura 3 • Primeiras versões do modelo de escoamento do sistema aquífero da Campina de Faro - piezometria

A sustentabilidade da exploração de um sistema aquífero também pode ser alterada, com efeitos benéficos, através da utilização de recarga artificial em locais adequados do sistema aquífero.

Para a gestão da bacia hidrográfica é necessário conhecer as entradas de água no sistema. Em relação às águas subterrâneas fez-se o cálculo da recarga natural do sistema aquífero de Querença-Silves utilizando o modelo de balanço hídrico sequencial diário BALSEQ_MOD que considera a infiltração superficial em função do material do solo e o coeficiente cultural dual no cálculo da evapotranspiração. Os resultados de recarga anual média estão representados na Figura 4. A Figura 5 representa a variação mensal para uma das áreas representadas na figura anterior.

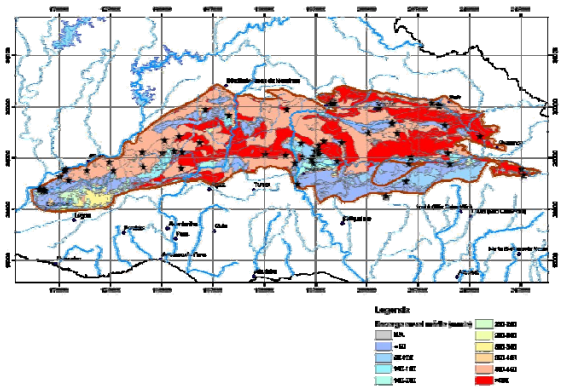


Figura 4 • Distribuição espacial da recarga anual média do sistema aquífero Querença-Silves

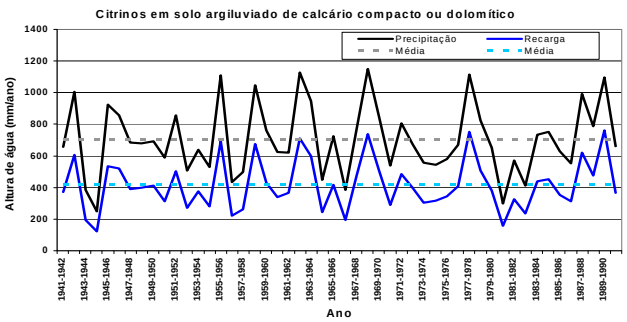


Figura 5 • Exemplo dos resultados da recarga anual numa área ocupada por citrinos em solo argiluviado de calcário compacto ou dolomito

No âmbito da *Acção de Coordenação ASEMWaterNet*, relativamente à gestão da bacia hidrográfica, preconizou-se a utilização de um aquífero como reservatório de água, que é recarregado em locais específicos em épocas de excedentes hídricos, para que em épocas de escassez climatológica haja água (subterrânea) disponível. É possível verificar a alternância de anos secos, normais e húmidos (Figura 6), pelo que há, à partida, anos que apresentam excedentes hídricos utilizáveis para a recarga artificial.

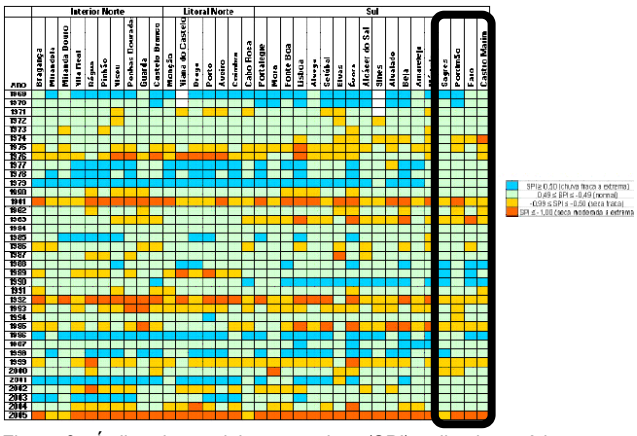


Figura 6 • Índice de precipitação padrão (SPI) aplicado a vários postos udométricos de Portugal Continental, assinalando-se dentro da caixa preta, os registados no Algarve (Fonte: Domingos, 2006)

A análise de diversas origens de água recaiu sobre as albufeiras de barragens e sobre as águas residuais tratadas. A análise da informação existente revelou que em anos húmidos a barragem do Arade apresenta um volume de descarga que ultrapassa o valor de exploração de 50 milhões m3 do sistema aquífero Querença-Silves, registado na seca que ocorreu no Algarve no ano hidrológico de 2004/5. Prevê-se que a barragem do Arade poderia ser uma das origens de água para a recarga artificial. O volume de águas residuais tratadas varia em função do município. Em 2005, nos municípios de Albufeira, Loulé, Lagoa e Silves, este volume ultrapassou 4,5 milhões de m3.

A localização das origens de água referidas, assim como os sistemas aquíferos do Algarve Central, pode ser visualizada na Figura 7.

Figura 7 • Origens de água para recarga artificial de aquíferos.

Quanto à melhor localização para realizar a recarga artificial, estudou-se o sistema aquífero Querença-Silves, com base nos três fins principais de uma Gestão Integrada de Recursos Hídricos i.e. a igualdade social, a sustentabilidade ambiental e a eficiência económica.

Para a escolha dos locais favoráveis à realização da recarga artificial foi desenvolvido o índice GABA-IFI_N que permite definir as áreas com condições naturais mais favoráveis para a realização de recarga artificial (nomeadamente boa taxa de recarga; bom espaço para o armazenamento subterrâneo, e elevado tempo de permanência da água no sistema aquífero). O índice GABA-IFI_N é dado pela equação:

$$\text{GABA-IFI_N} = \text{Dist} + \text{D} + (1/2*\text{tt}+1/2*\text{KH})$$

onde Dist se relaciona com a distância ao ponto de descarga das águas subterrâneas, D com a profundidade ao nível freático, tt com o tempo de transporte vertical e KH com a condutividade hidráulica horizontal. A cada um destes factores é atribuído um índice de 1 a 10. O índice GABA-IFI_N pode variar assim entre 3 e 30, correspondendo os valores mais altos às áreas mais propícias à recarga artificial. Na Figura 8 mostra-se a aplicação deste índice ao sistema aquífero de Querença-Silves (Algarve).

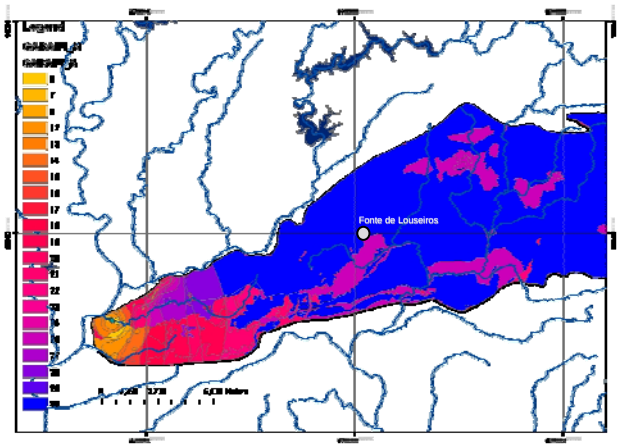


Figura 8 • Índice GABA-IFI_N representando os locais com condições mais favoráveis à realização de recarga artificial

Equipa de trabalho LNEC

Nome	Função
João Paulo Lobo Ferreira	Investigador responsável
Manuel Mendes Oliveira	Investigador Auxiliar
Teresa E. Leitão	Investigadora Principal
Maria João Moinante	Assistente de Investigação
Maria José Henriques	Técnica superior
Eng. Luís Oliveira	Estagiário de mestrado Bolonha no LNEC
Eng.ª. Patrícia Terceiro	Estagiária de mestrado clássico no LNEC

Equipa de trabalho Externa

Nome	Observações
Dr. Albino Medeiros	Consultor
Prof. José Manuel Azevedo	Universidade de Coimbra
Engª Susana Neto	Instituto Superior Técnico da UTL

Outras fontes de financiamento

Acção de Coordenação ASEMWaterNet do 6.º Programa-Quadro de Investigação da Comissão Europeia (INCO-CT2005-510897)

Publicações mais relevantes internacionais

Reuniões técnico-científicas

LOBO FERREIRA, J.P.; OLIVEIRA, L. (2007) - "Aquifer storage and recovery and applicability to Algarve (Portugal)". In Proceedings XXXV IAH Congress, Groundwater and Ecosystems, Ribeiro, L., Chambel, A., Condesso de Melo, M.T. Eds, 17 a 21 de Setembro de 2007, Lisboa, 10pp.

Publicações mais relevantes nacionais

Relatórios

MOINANTE, M.J. (2008): "Reservas hídricas subterrâneas: Métodos de avaliação e introdução à exploração sustentável", Relatório LNEC (no prelo).

Reuniões técnico-científicas

OLIVEIRA, M.M.; MOINANTE, M.J.; LOBO FERREIRA, J.P.C.; ALMEIDA, C. (2005) - Critérios para definir a sustentabilidade de exploração de águas subterrâneas. Comunicação Apresentada no IV seminário "Recursos Geológicos, Ambiente e Ordenamento do Território", Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 27-29 Outubro 2005.

OLIVEIRA, M.M. (2006) - A estimativa da recarga de águas subterrâneas numa área de Estarreja considerando a posição do nível freático. 8.º Congresso da Água, Figueira da Foz, 13 a 17 Março de 2006.

OLIVEIRA, M.M. (2006) - Métodos de avaliação da recarga de águas subterrâneas. 8.º Congresso da Água, Figueira da Foz, 13 a 17 de Março de 2006.

OLIVEIRA, M.M.; MOINANTE, M.J.; LOBO FERREIRA, J.P. (2006) - Reservas Subterrâneas – O recurso alternativo. Seminário "A Gestão da Água em Portugal", INETI, 6 Abril 2006.

OLIVEIRA, M.M. (2007) - Uma metodologia para o cálculo da infiltração superficial em modelos de balanço hídrico sequencial diário de solos. Seminário sobre Águas Subterrâneas, Lisboa, LNEC, 1 e 2 de Março de 2007.

LOBO-FERREIRA, J.P. and OLIVEIRA, L. G. S., 2007 - "Aquifer Storage and Recovery and applicability to Algarve (Portugal)" Communication presented to the "XXXV Congress of International Association of Hydrogeologists: Groundwater and Ecosystems", 17-21st September 2007, Lisbon and to the "WP Basin Workshop", organized by LNEC, KIGAM and SWRRC held in Korea in January 28th to February 1st 2008.

OLIVEIRA, L., LOBO FERREIRA, J.P. (2008) - "A Acção de Coordenação ASEMwaternet e a aplicação ao Algarve de técnicas aquifer storage and recovery". 9.º Congresso da Água. 2 a 4 de Abril de 2008, Cascais, 15 pp.

OLIVEIRA, M.M., OLIVEIRA, L., LOBO FERREIRA, J.P. (2008) - "Estimativa da recarga natural no sistema aquífero de Querença-Silves (Algarve) pela aplicação do modelo BALSEQ_MOD". 9.º Congresso da Água. 2 a 4 de Abril de 2008, Cascais, 15 pp.

OLIVEIRA, L., OLIVEIRA, M.M., LOBO FERREIRA, J.P. (2008) - "Índice de suporte à escolha de áreas favoráveis à recarga artificial (Gaba - IFI) e aplicação à zona oeste do sistema aquífero de Querença-Silves". 9.º Congresso da Água. 2 a 4 de Abril de 2008, Cascais, 12 pp.

Apresentações e comunicações da equipa do LNEC constantes no CD-Rom entregue à Comissão Europeia e disponível em http://www.asemwaternet.org.pt/:

- Power-point presented at the Kick-off Meeting, Hanoi, June 2006, on Integrated and Sustainable Management of Water, by JP Lobo Ferreira (LNEC, Portugal).
- Power-point presented at the Kick-off Meeting, Hanoi, June 2006, on Topic presentation WP1 / Basin, by JP Lobo Ferreira (LNEC, Portugal).
- Review on Aquifer Recharge and Evaluation of Groundwater Vulnerability to Pollution, by Dr. J.P. Lobo Ferreira (LNEC, Portugal).
- CORDIS internet searches on "river basin", "river water" and "groundwater", by Dr. J.P. Lobo Ferreira (LNEC, Portugal).
- Review of Two EU projects experience by Mr. João Rocha (Research project "Urban River Basin Enhancement Methods" (URBEM) and HarmoniQuA), (LNEC, Portugal).
- LNEC data base structure for projects (past, on-going, future) involved in the WP Pollution/Basin, by Dr. Teresa Leitão (LNEC, Portugal).
- Surface water and groundwater risk and protection review report, by LNEC team working in the Manporivers project (LNEC, Portugal).
- Diffuse pollution: sources, control and rehabilitation, by Dr. Teresa Leitão (LNEC, Portugal).
- Pilot River Basin Network in support of the Water Framework Directive, by Susana Neto (LNEC, Portugal).
- Priorities Recommended by the Co-Authors of the Portuguese Contribution Paper for Asem Co-Operation, by Dr. J.P. Lobo-Ferreira, Prof. Luís Santos Pereira and Engª Margarida Cardoso da Silva (LNEC, Portugal).

Tese e Programas de Investigação

Doutoramento

OLIVEIRA, M.M. (2006) - Recarga de Águas Subterrâneas: Métodos de Avaliação. Lisboa, LNEC. TPI 42, 474 pp.

Mestrado

OLIVEIRA, L. (2007) - "Soluções para uma gestão adequada de bacias hidrográficas e de sistemas aquíferos, em cenários de escassez hídrica extrema. Aplicação ao sistema aquífero Querença-Silves(Algarve) no âmbito da Acção de Coordenação ASEMWaternet". IST, Mestrado em Engenharia do Ambiente, 102 pp.

TERCEIRO, A.P. (2008) - "Análise da governância no quadro de gestão da qualidade da água da bacia hidrográfica do Guadiana. Aplicação ao primeiro enchimento da albufeira de Alqueva (2002-2007)". Instituto Superior Técnico, Mestrado em Hidráulica e Recursos Hídricos, 176 pp.