

MODELAÇÃO DA RECARGA DO AQUIFERO LIVRE MIOCÉNICO DA BACIA DE ALVALADE E DO SISTEMA AQUIFERO DOS GABROS DE BEJA

Eduardo A. PARALTA

Geólogo, Mestre em Georrecursos. Departamento de Hidrogeologia do Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação (INETInovação), Estrada da Portela, Ap. 7586, 2720-866 Alfragide, tel. 351.21 4705400. Email: eduardo.paralta@ineti.pt

Alain P. FRANCÉS

Geólogo, Bolseiro de PhD da FCT. Departamento de Hidrogeologia do Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação (INETInovação), Estrada da Portela, Ap. 7586, 2720-866 Alfragide, tel. 351.21 4705400. Email: francés.alain@ineti.pt

Luís T. RIBEIRO

Professor Auxiliar. Instituto Superior Técnico (IST), CVRM-Centro de Geo-sistemas, Av. Rovisco Pais, 1096 Lisboa, Tel. 351.21.8417247. Email: nlrib@alfa.ist.utl.pt

RESUMO

A partir das curvas piezométricas de várias origens de água aplicaram-se modelos de balanço hídrico sequencial diário (Modelo EARTH), para estimar um intervalo de recarga ou precipitação eficaz para os sistemas não confinados do Aquífero dos Gabros de Beja e da Bacia de Alvalade, que suportam actualmente projectos de regadio integrados no Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva.

Para o aquífero livre miocénico da Bacia de Alvalade, a modelação dos eventos de recarga entre 2002 e 2007, em 5 piezómetros, indica uma recarga média anual entre 20% e 35% (105-185 mm), normalmente associada apenas a alguns episódios de precipitação acima de 20 mm/dia.

A modelação da recarga do Sistema Aquífero dos Gabros de Beja, a partir da informação piezométrica de 2 piezómetros, entre 2000 e 2007, indica valores médios na ordem de 20% da precipitação anual ou seja próximo dos 100 mm.

Este valor corresponde ao limite superior do intervalo apontado pelos autores em trabalhos anteriores e afigura-se como o valor mais credível para estudos hidrogeológicos e balanço hídrico deste sistema aquífero. Outra evidência muito importante que resulta da análise das curvas piezométricas, é que a recarga aquífera no sistema dos Gabros de Beja, em ano hidrológico normal, só ocorre normalmente a partir dos finais de Dezembro e prolonga-se por 3 a 4 meses.

Os trabalhos de investigação são financiados pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (POCTI/AGG/47223/2002) e decorrem na região de Beja e Ferreira do Alentejo (2004-2008).

Palavras-chave: aquífero, curvas piezométricas, recarga, contaminação agrícola.

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho representa a actualização de comunicações anteriores ao Congresso da Água e ao 5º Congresso Ibérico, relativamente à aplicação do modelo EARTH [VAN DER LEE & GEHRELS (1990)] na parametrização da recarga aquífera.

De forma muito simples, pode definir-se recarga aquífera como a água que entra na zona saturada (aquífero), preferencialmente a partir da percolação vertical proveniente da zona vadosa, mas que também poderá ter origem no escoamento lateral a partir das fronteiras do sistema.

A correcta avaliação da recarga aquífera é fundamental no cálculo das disponibilidades hídricas para abastecimento público e agricultura. A recarga tem também implicações no balanço hídrico dos sistemas aquíferos e das bacias hidrográficas, ao nível dos caudais ecológicos, em especial nos aquíferos freáticos pouco profundos, com comportamento sazonal efluente sobre as linhas de água e ribeiras.

A estimação do volume de recursos hídricos subterrâneos anualmente renováveis, têm implicações no planeamento e gestão integrada dos recursos hídricos regionais, especialmente em climas secos, como o do Alentejo, em que a maioria dos concelhos depende dos recursos aquíferos durante o período estival e em épocas de seca prolongada.

Do ponto de vista agro-ambiental é importante definir a frequência e magnitude dos eventos de recarga em que o potencial de lixiviação de fertilizantes é maior, no sentido de contribuir para uma gestão mais racional dos agro-químicos e estimar o volume de perdas para as águas subterrâneas.

A agricultura teve um profundo impacto nos volumes e qualidade água disponível para recarga dos aquíferos nas últimas décadas. Em muitas áreas, os principais elementos químicos em solução nas águas de percolação que “alimentam” os aquíferos não confinados (livres ou freáticos) estão relacionados directa ou indirectamente com as práticas agrícolas. A irrigação de extensas áreas e a drenagem de outras, alteraram os padrões naturais de circulação subterrânea. A contaminação agrícola das águas de percolação resulta em problemas ecológicos e de saúde pública documentados em todo o mundo [BÖHLKE (2002)].

A aplicação do modelo EARTH de avaliação da recarga aquífera será realizada sobre um conjunto de dados piezométricos periódicos obtidos nos últimos 5 anos em duas áreas distintas; (1) Sistema Aquífero dos Gabros de Beja e (2) Sistema Aquífero da Bacia de Alvalade.

O Sistema Aquífero dos Gabros de Beja constitui o mais importante aquífero em rochas básicas cristalinas alteradas do Alentejo, com interesse para abastecimento público e regadio e, paralelamente, possui os melhores solos agrícolas da região. Este aquífero foi objecto de vários estudos hidrogeológicos e trabalhos académicos [DUQUE (2005); PARALTA (2001)] que confirmaram a presença persistente de elevados teores de nitrato na água subterrânea. As evidências resultaram na publicação da Zona Vulnerável de Beja (Portaria 1100/2004 de 3 Setembro) e na implementação de Redes de Monitorização específicas para o problema da contaminação difusa [PARALTA *et al.* (2005)].

No Sistema Aquífero da Bacia de Alvalade, está a funcionar o 1º perímetro de rega integrado no Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva, designado por Infra-estrutura 12 (Canhestros/Ferreira do Alentejo), em que progressivamente a monocultura cerealífera extensiva é substituída por culturas de regadio adubadas por fertirrigação por aspersão ou gota-a-gota, com consequências desconhecidas, ao nível da magnitude da lixiviação de agro-químicos e sais, do solo para a zona saturada [PARALTA *et al.* (2002)].

2. MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA RECARGA AQUÍFERA

A primeira fase de avaliação da recarga aquífera depende de disponibilidade de informação relativa a diversos parâmetros do sistema como sejam dados climáticos, hidrológicos, geomorfológicos, geológicos e de ocupação do solo, uma vez que, da cobertura vegetal, depende a evapotranspiração que é um parâmetro fundamental do balanço hídrico.

A informação hidrogeológica pode fornecer elementos para a aplicação de metodologias baseadas em traçadores, análise das flutuações piezométricas e aplicação da Lei de Darcy ao escoamento em meio saturado.

A recarga aquífera pode ser abordada sob várias metodologias:

- I) Métodos Directos
 - Balanço hídrico (formulação empírica);
 - Modelos Físicos (balanço entre águas subterrâneas e superficiais);
 - Modelos de circulação da zona vadosa (modelos determinísticos);
 - Traçadores (químicos, bacteriológicos, orgânicos e isotópicos).

- II) Métodos Indirectos (zona saturada)
 - Oscilação Piezométrica;
 - Lei Darcy.

Os métodos directos descrevem a recarga como um mecanismo de percolação da água desde o solo até ao aquífero, entrando com parâmetros como a variação de humidade no solo, evapotranspiração (ET), caudal de escoamento superficial, etc., para obter uma estimativa da recarga.

Os métodos indirectos utilizam informação piezométrica como indicadores da recarga efectiva, ou seja, sempre que há variações positivas do nível piezométrico estamos perante um episódio de recarga possível de quantificar, desde que se conheçam alguns parâmetros básicos do sistema hidrogeológico, como o Coeficiente de armazenamento (S), o Coeficiente de recessão CR (período de tempo entre o episódio de precipitação e a resposta do aquífero), a Condutividade hidráulica (K), etc.

Recentemente, têm sido aplicadas com sucesso técnicas de Detecção Remota baseadas em micro-ondas para obter informação multitemporal sobre humidade do solo, que é integrada nos modelos de balanço hídrico, obtendo-se desta forma uma estimativa da recarga [GOUWELLEEIJ (2000)].

2.1 Modelo EARTH

Neste trabalho serão utilizadas metodologias semi-empíricas de avaliação da recarga directa ou seja com origem na precipitação e percolação vertical da água através da zona vadosa até à superfície freática.

As áreas de estudo foram anteriormente objecto de caracterização hidrogeológica, agronómica e da ocupação agrícola, fundamental para a compreensão da influência da recarga natural como veículo de transporte de sais em áreas de agricultura intensiva.

A Figura 1 representa o fluxograma de funcionamento do modelo numérico de balanço hídrico sequencial diário EARTH [Adaptado de VAN DER LEE & GEHRELS (1990)].

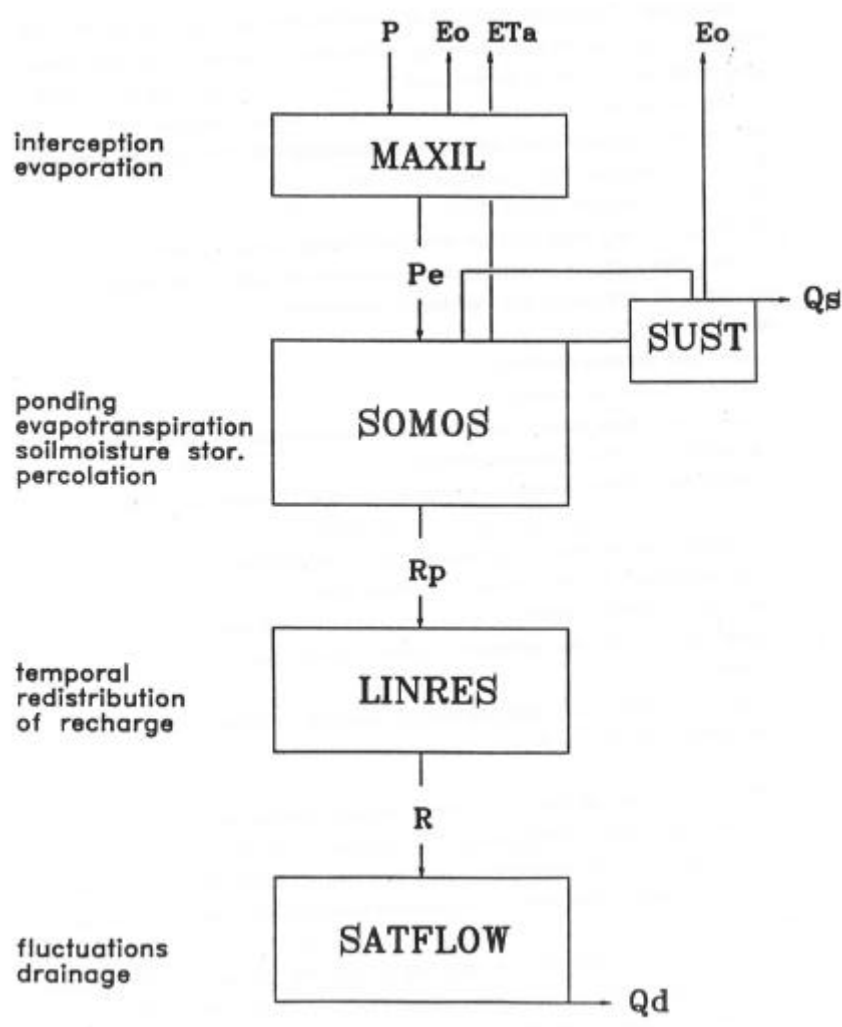


Figura 1 - Fluxograma de funcionamento do modelo numérico de balanço hídrico sequencial diário EARTH [Adaptado de VAN DER LEE & GEHRELS (1990)].

As principais atribuições de cada módulo são as seguintes:

- MAXIL (MAXimum Interception Loss) - Estima o superhavit hídrico;
- SOMOS (SOil MOisture Storage) - Calcula o balanço de massa na zona vadosa e determina o fluxo de percolação profunda;
- SUST (SUrface STorage) - Calcula as perdas por escoamento superficial;
- LINRES (LInear REServoir routing) - Distribui a percolação calculada no módulo SOMOS em função do tempo para a zona não saturada, entre as raízes das plantas e o nível freático;
- SATFLOW (SATurated FLOW model) – modelo unidimensional para o meio saturado que converte a recarga proveniente do módulo LINRES em oscilação piezométrica, conhecido o Coeficiente de armazenamento e o Coeficiente de recessão.

O modelo EARTH é um modelo de avaliação da recarga aquífera e transporte de humidade no solo e zona vadosa que faz uma combinação dos métodos directos e indirectos de abordagem da recarga. Os métodos indirectos utilizam informação piezométrica como indicadores da recarga efectiva, ou seja, sempre que há variações positivas do nível piezométrico estamos perante um episódio de recarga possível de quantificar, desde que se conheçam alguns parâmetros básicos do sistema hidrogeológico, como o Coeficiente de armazenamento (S), o Coeficiente de recessão CR (período de tempo entre o episódio de precipitação e a resposta do aquífero), a Condutividade hidráulica (K), etc.

A formulação matemática mais detalhada do modelo EARTH pode ser consultada em [VAN DER LEE & GEHRELS (1990)].

O módulo SATFOLW funciona *per si* como um modelo hidrogeológico unidimensional determinístico que utiliza como *input* a recarga calculada nos módulos anteriores. A equação que traduz a oscilação piezométrica é a seguinte [VAN DER LEE & GEHRELS (1990)]:

$$h = RC \frac{R}{STo} - RC \cdot (h') \quad [\text{Eq. 1}]$$

em que:

h – nível piezométrico [L]

h' – derivada de h em função do tempo [L.T⁻¹]

RC – coeficiente de recessão [T]

R – recarga [L.T⁻¹]

STo – coeficiente de Armazenamento

Esta equação é uma função linear que pode ser resolvida em função do tempo como se indica:

$$h_t = h_{t-1} - \frac{TS}{RC} h_k + TS \frac{R}{STo} \quad [\text{Eq. 2}]$$

em que:

k = intervalo de tempo

TS – time step

método explícito (incrementos de tempo negativos): $k = t-1$

método implícito (incrementos de tempo positivos): $k = t$

O coeficiente de recessão RC é proporcional ao Coeficiente de armazenamento e à resistência à percolação (DR), podendo ser descrito pela fórmula [VAN DER LEE (1989)]:

$$RC = B \cdot STo \cdot DR \quad [\text{Eq. 3}]$$

em que:

B – coeficiente de proporcionalidade

A equação [2] foi largamente aplicada na Holanda e em outros locais como um modelo independente com resultados muito satisfatórios. O modelo utiliza a solução implícita [VAN DER LEE & GEHRELS (1990)].

O modelo EARTH está vocacionado para climas secos com precipitações concentradas em determinadas períodos e para aquíferos freáticos ou não confinados, com respostas rápidas aos episódios de recarga [LUBCZYNSKI & GURWIN (2005)].

Os parâmetros necessários à aplicação do modelo EARTH aos casos de estudo na Infra - estrutura 12 (Bacia de Alvalade) e nos Gabros de Beja foram obtidos de trabalhos anteriores dos autores [PARALTA (2001), PARALTA *et al.* (2003), PARALTA *et al.* (2005)] e trabalhos de campo inéditos, no âmbito do doutoramento do primeiro autor desta comunicação.

Utilizaram-se registos diários de precipitação e evapotranspiração potencial, determinada pelo método de Penman-Monteith da FAO [ALLEN *et al.* (1998)], para os anos hidrológicos de 2002 a 2007.

3. CARACTERIZAÇÃO DOS CASOS DE ESTUDO

3.1 GABROS DE BEJA

O caso de estudo seleccionado localiza-se no sector central do Sistema Aquífero dos Gabros de Beja, numa região agrícola nas vizinhanças de Beja.

A região de Beja apresenta clima mediterrâneo quente e seco com grande amplitude térmica anual e períodos cíclicos de seca. A temperatura média anual é de 16°C e a precipitação média situa-se nos 500 mm/ano. Ocorrem 2 períodos distintos: um período quente e seco entre Junho e Setembro e um período húmido entre Outubro e Março que concentra 75% da precipitação anual.

Em termos gerais, as formações geológicas, predominantemente gabro-dioríticas do Sistema Aquífero dos Gabros de Beja (350 km²) apresentam comportamento hidrogeológico característico de um meio poroso nos horizontes superiores, passando progressivamente a fissurado em profundidade. Desta forma define-se um aquífero livre com espessura variável, entre 20 a 50 m.

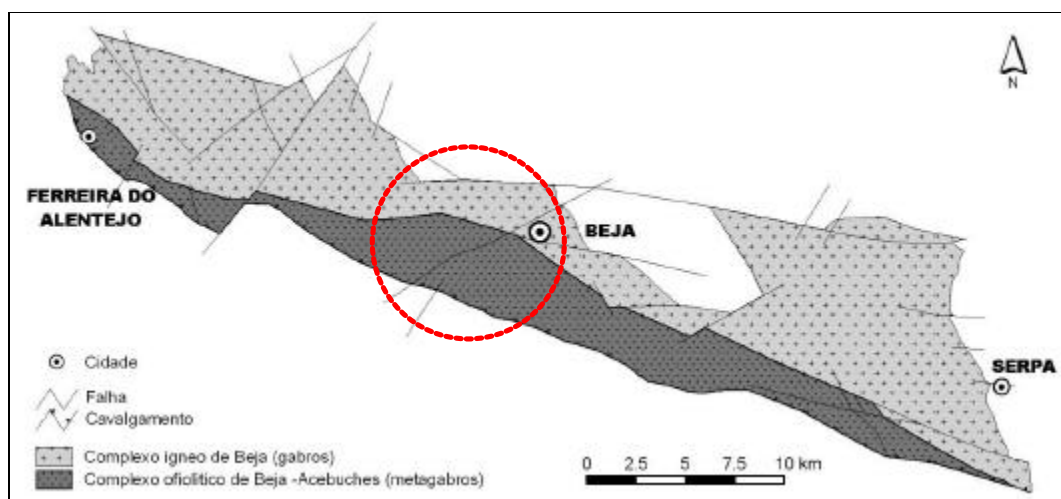


Figura 2 – Localização do caso de estudo no Sistema Aquífero dos Gabros de Beja.

Os solos da área, enquadram-se no tipo D ou seja solos predominantemente argilosos com um potencial de escoamento directo elevado e intensidades de infiltração muito baixas quando completamente humedecidos. Estes solos possuem uma transmissividade muito baixa.

Na área de estudo, a produtividade média com base em cerca de 40 registos de caudal é de 6.5 L/s e a taxa de insucessos das captações é inferior a 20%. As transmissividades obtidas para a área de estudo situam-se normalmente entre 50 e 100 m²/dia.

O balanço hídrico a partir de informações de extracções municipais contabilizadas indica que, em termos médios 1 Km² do aquífero gabro-diorítico pode fornecer cerca de 80 000 m³ de água subterrânea por ano. A recarga aquífera calculada com base no método dos cloretos e no método de quantificação das extracções na Bacia de Pisões, apontam para valores entre 10% e 20% da precipitação média anual, [PARALTA (2001)].

No que se refere à composição físico-química das águas subterrâneas, trata-se de águas com uma mineralização relativamente elevada (valores mais frequentes de CE entre 700 e 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$), com fácies bicarbonatada cálcica ou calco-magnésiana e algo duras.

Relativamente à qualidade para consumo humano, verifica-se que a maioria das origens apresenta uma qualidade química deficiente, nomeadamente devido a concentrações elevadas de nitratos, sulfatos e magnésio.

A aptidão para uso agrícola, das águas provenientes do SA dos Gabros de Beja, enquadra-se nas classes C₂S₁ e C₃S₁, ou seja, representam risco baixo de alcalinização dos solos e risco médio a alto de salinização. Uma grande parte das águas do sistema encontram-se sobressaturadas em calcite (CaCO₃) pelo que provocam depósitos e incrustações, tanto nos terrenos regados, como nas condutas de distribuição de água.

O conteúdo em nitratos na água subterrânea da região de Beja está relacionado com as práticas agrícolas e o ano hidrológico, sendo possível constatar importantes variações sazonais deste elemento, em torno das classes modais, em que as mais frequentes são a 50-60 e 70-80 mg NO₃/L. A mediana relativa aos 3 anos de monitorização situa-se entre os 53 e os 86 mg NO₃/L [PARALTA (2001)].

Relativamente ao Sistema Aquífero dos Gabros de Beja foram já aplicadas diversas abordagens metodológicas para avaliação da vulnerabilidade à poluição dos aquíferos, cujos resultados variaram entre baixa a média-alta, de acordo com os parâmetros críticos e respectiva ponderação [PARALTA *et al.* (2005)].

3.1 BACIA DE ALVALADE

Em termos climáticos a área de estudo, correspondente à Infra-estrutura 12, apresenta um clima mediterrâneo de características oceânicas. A partir dos registos da estação meteorológica de Ferreira do Alentejo, define-se uma temperatura média anual de 16°C e uma precipitação média de 525 mm/ano. Nesta região podem identificar-se 4 meses secos, entre Junho e Setembro.

Do ponto de vista geológico, a região enquadra-se no prolongamento Sul da Bacia Sedimentar do Sado, também designada Bacia de Alvalade.

A maioria da área definida pelo perímetro de rega corresponde às formações detríticas do Vale do Sado. A geologia dominante pertence à formação do Esbarrondadoiro, de idade Miocénica e às formações Plio-quadernárias de cobertura, a que correspondem maioritariamente solos de barros e aluviões, solos mediterrâneos e calcários e solos hidromórficos.

As litologias presentes são constituídas por conglomerados, margas, calcários gresosos com seixos, calcários margosos, argilas, arenitos e areias, em níveis alternantes. O substrato da bacia é constituído por xistos paleozóicos do complexo vulcano-silicioso, detectados a 65 metros de profundidade em sondagens realizadas próximas de Canhestros.

A figura 3 indica a localização do perímetro de rega da Infra-estrutura 12 no contexto da bacia sedimentar do Sado e a localização de pontos de água do inventário hidrogeológico.

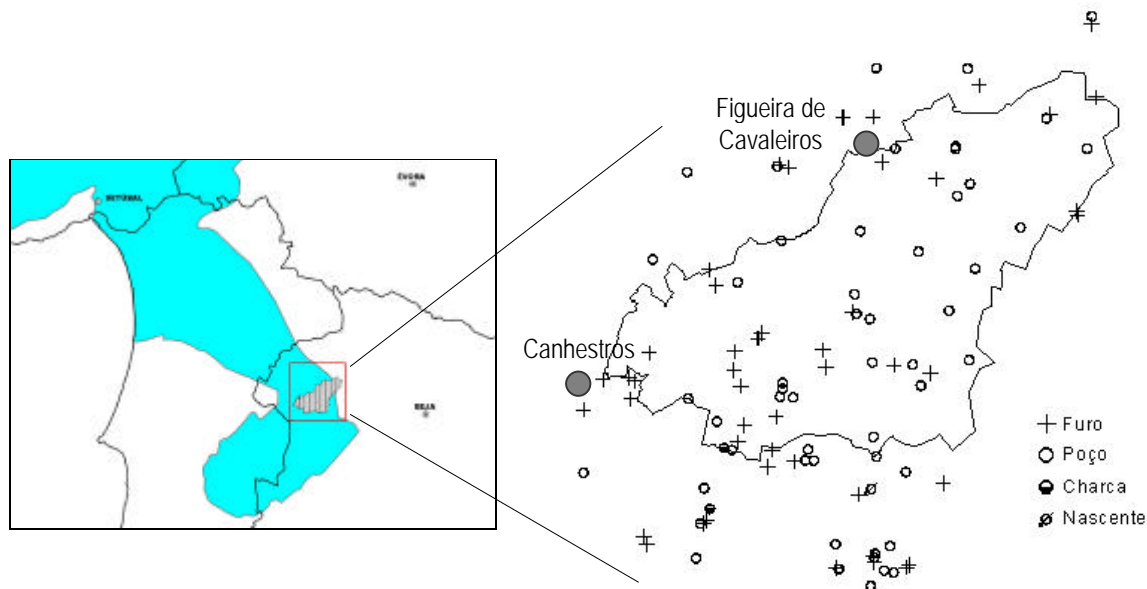


Figura 3 – Localização da Infra-estrutura 12 na bacia sedimentar do Tejo-Sado (sector da Bacia de Alvalade) e mapa de inventário hidrogeológico.

Em termos hidrogeológicos, a área de estudo constitui um sistema aquífero poroso complexo, multiaquífero ou multicamada, em que os níveis aquíferos podem ser livres, confinados ou semiconfinados.

Na formação do Esbarrondadoiro as maiores produtividades ocorrem na dependência dos níveis de grés grosseiro e cascalheiras limitadas na base e/ou no topo por níveis impermeáveis argilosos e/ou margosos. Os caudais médios situam-se nos 5 l/s, com caudais de ponta que atingem os 10 l/s. O rendimento das captações definido pelo caudal específico é inferior a 1 l/s/m.

O aquífero freático superior é captado maioritariamente por poços de pequena profundidade, limitado na base por camadas aquitardas. Tem apenas interesse local, para uso doméstico e agrícola, sendo extremamente vulnerável à contaminação química e bacteriológica, pela reduzida profundidade do nível freático e permeabilidade variável da zona vadosa.

A fácies hidroquímica dominante oscila entre cloretada sódica e cloretada magnésiana, ocorrendo também algumas bicarbonatadas sódicas. Na globalidade, são águas com tendências salobras, com teores elevados de cloretos e reacção neutra a ligeiramente alcalina.

A análise bivariada destaca a forte correlação (90%) entre a Condutividade eléctrica e os iões Ca, Mg, Cl e Na. Estas correlações indicam que são estes iões que contribuem essencialmente para a mineralização das águas.

Relativamente à aptidão da água para rega, as águas analisadas correspondem maioritariamente às classes C₂ e C₃ e TAS₁ (Norma Riverside, 1953 do U.S. Soil Salinity Laboratory Staff). A maioria das origens excede o valor paramétrico para uso agrícola relativamente à CE (1000 µs/cm). Desta forma o uso das águas subterrâneas para rega representa um baixo risco de alcalização dos terrenos mas um elevado risco de salinização, potenciado pelo clima quente e seco da região, não sendo aconselhável o seu uso agrícola [Paralta *et al.* (2002)].

A análise das tendências sazonais da qualidade da água subterrânea do aquífero superior livre, que constitui o sistema mais vulnerável à poluição agrícola, foi realizada a partir da sucessão de registos de Condutividade eléctrica e de teor em Nitrato medidos em 10 campanhas, com frequência aproximadamente trimestral entre Junho de 2001 e Setembro de 2003. Evidencia-se claramente alguma contaminação difusa (eventualmente pontual) de origem agrícola e doméstica, especialmente no aquífero superior livre onde a mediana de NO₃ varia entre 10 e 53 mg/L e a mediana de K entre 2 e 8 mg/L [Paralta *et al.* (2004)].

De acordo com diferentes metodologias empíricas e critérios hidrogeológicos, a área da Infra-estrutura 12, classifica-se, relativamente ao aquífero superior livre, como área de vulnerabilidade média a extremamente elevada à poluição agrícola [Paralta *et al.* (2002)].

4. RESULTADOS

Os parâmetros necessários ao funcionamento do modelo, como sejam as propriedades hidráulicas dos solos, precipitação, evapotranspiração, oscilação piezométrica etc foram obtidos entre 2002 e 2007 para as áreas de estudo, com base em trabalhos de campo e registos climáticos do COTR (Beja).

Os parâmetros de entrada do modelo EARTH para a Bacia de Alvalade estão descritos no Quadro 1 e as estimativas de recarga com base na calibração das curvas piezométricas de 5 poços entre 2002 e 2007 apresentam-se no Quadro 2.

A Figura 4 indica a curva teórica do modelo EARTH ajustada aos dados experimentais e a respectiva precipitação e recarga no período de 2002 a 2007 para os poços de controle piezométrico na Infra-estrutura 12.

Os parâmetros de entrada do modelo EARTH para os 2 piezómetros situados no Sistema Aquífero dos Gabros de Beja estão descritos no Quadro 3 e as estimativas de recarga com base na calibração das curvas piezométricas entre 2002 e 2007 apresentam-se no Quadro 4.

A Figura 5 indica a curva teórica do modelo EARTH ajustada aos dados experimentais para os dois piezómetros considerados.

Quadro 1 – Parâmetros de calibração do modelo EARTH (Infra-estrutura 12/Bacia de Alvalade, 2002-2007)

Parâmetros	Mínimo	Máximo
Maximum soil moisture (mm)	163.6	579.3
Residual soil moisture (mm)	14.8	75.4
Initial soil moisture (mm)	37.7	160.7
Soil moisture at field capacity (mm)	107.5	250.7
Maximum surface storage (mm)	100.0	100.0
Maximum interception loss (mm)	1.5	1.5
Saturated conductivity (mm/day)	500.0	500.0
Unsaturated recession constant	5.00	15.00
Number of reservoirs	1.0	2.0
Saturated recession constant (day)	99.8	268.1
Storage coefficient	0.03	0.08

Quadro 2 – Resultados do modelo EARTH (Infra-estrutura 12/Bacia de Alvalade, 2002-2007)

Ano hidrológico	Precipitação (mm)	Recarga (mm)				
		508P7	508P12	519P5	519P11	519P12
2002-2003	598.6	35.8	23.6	40.1	18.1	41.0
2003-2004	445.1	35.0	18.8	39.0	15.3	24.6
2004-2005	273.3	19.3	0.0	17.1	0.0	0.0
2005-2006	548.9	30.7	14.4	32.5	10.1	18.6
2006-2007	593.0	33.6	20.9	35.3	18.3	24.9

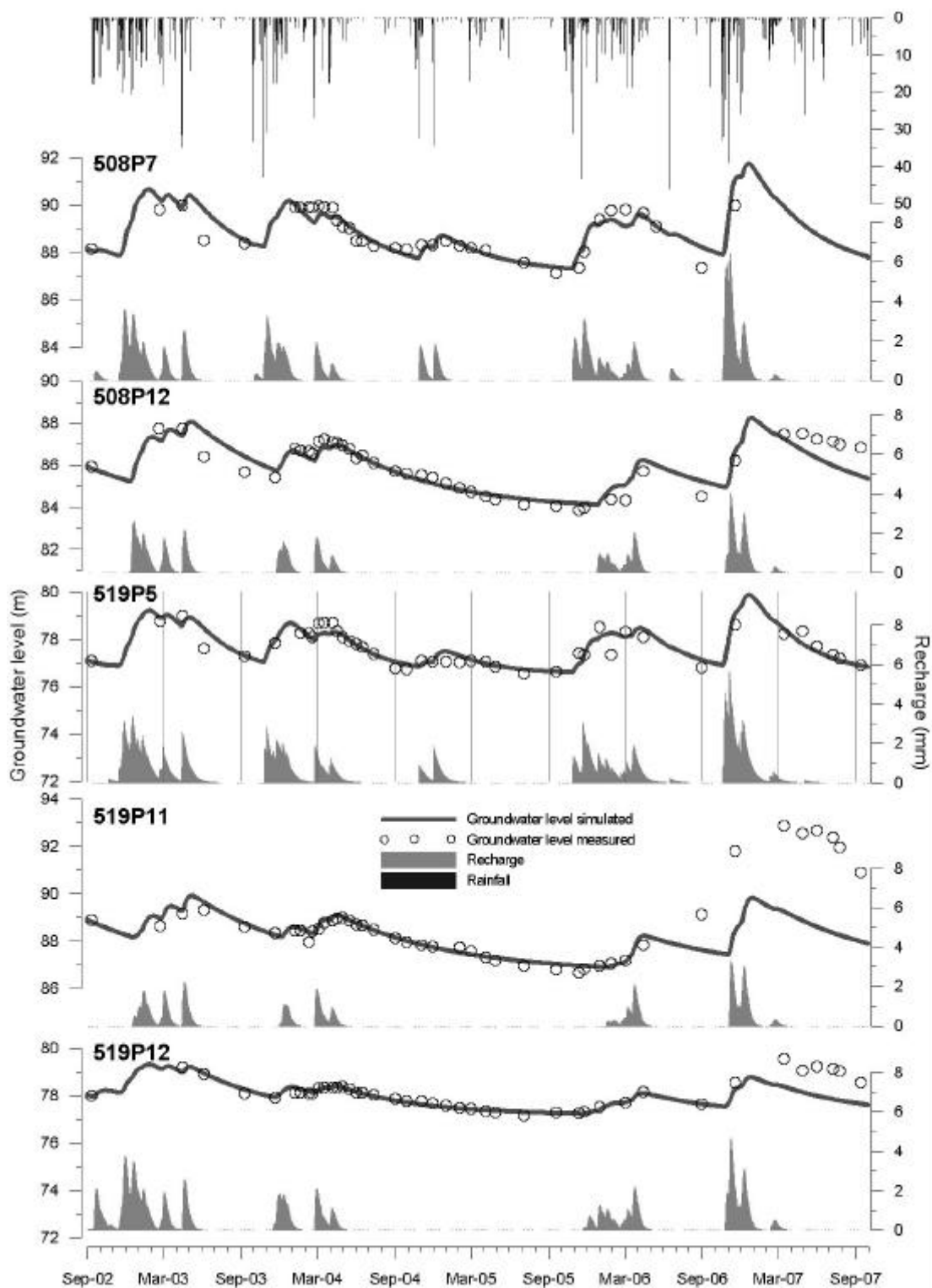


Figura 4 – Curvas de calibração e recarga estimada pelo modelo EARTH em 5 piezómetros da Infra - estrutura 12 (Bacia de Alvalade).

Quadro 3 – Parâmetros de calibração do modelo EARTH (Gabros de Beja, 2002-2007)

Parâmetros	Mínimo	Máximo
Maximum soil moisture (mm)	400.0	550.0
Residual soil moisture (mm)	310.0	335.0
Initial soil moisture (mm)	370.0	430.0
Soil moisture at field capacity (mm)	370.0	455.0
Maximum surface storage (mm)	250.0	250.0
Maximum interception loss (mm)	1.0	1.0
Saturated conductivity (mm/day)	250	2500
Unsaturated recession constant	0.5	11.0
Number of reservoirs	1	6.0
Saturated recession constant (day)	200	1200
Storage coefficient	0.06	0.04

Quadro 4 – Resultados do modelo EARTH (Gabros de Beja, 2002-2007)

Ano Hidrológico	Precipitação (mm)	Recarga (mm)			
		SDH1		JK7	
		(mm)	(%)	(mm)	(%)
2002-2003	571	128	22	181	32
2003-2004	518	120	23	171	33
2004-2005	229	0	0	30	13
2005-2006	535	93	18	153	29
2006-2007	663	181	27	189	28

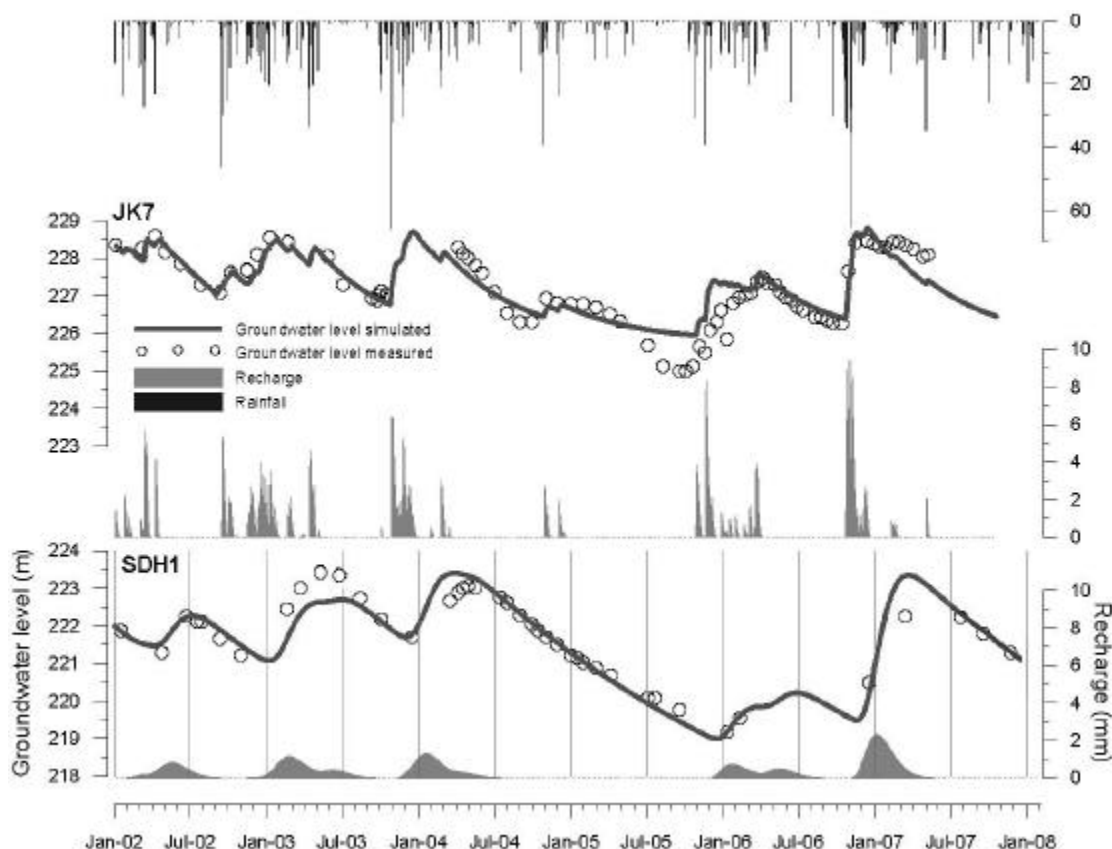


Figura 5 – Curvas de calibração e recarga estimada pelo modelo EARTH em 2 piezómetros do Sistema Aquífero dos Gabros de Beja.

Relativamente aos cinco piezómetros situados no aquífero superior livre do miocénico da Bacia de Alvalade, verifica-se, para os anos hidrológicos normais (com excepção do ano de 2004/2005), que a mediana da recarga varia entre 20% e 35%.

Os fenómenos de precipitação que originam eventos de recarga aquífera são escassos durante o semestre húmido. Por exemplo, no ano hidrológico de 2002-2003 registaram-se 3 eventos de recarga principais, provocados por precipitações normalmente acima de 30 mm/dia.

Em 2004-2005 registou-se um ano seco, com precipitação anual de 273 mm. Apenas em 2 piezómetros (508P7 e 519P5) se registaram 2 eventos de recarga, associados episódios pontuais de precipitação acima de 20 mm.

Verifica-se em alguns piezómetros, como no caso do 519P11 e 519P12, que o nível de água se mantém elevado após o Inverno de 2007 em aparente desacordo com os resultados da modelação. Este facto, não corresponde a uma deficiente calibração, mas sim à situação de regadio na envolvente dos piezómetros, com superavit de água no solo que atinge a zona saturada.

Relativamente aos dois piezómetros dos Gabros de Beja, verifica-se, para os anos hidrológicos normais (com excepção do ano de 2004/2005) que a recarga varia entre 18% e 27%, com valor de mediana de 23% para o piezómetro SDH1, que representa a informação mais fiável sobre os níveis aquíferos regionais. No caso do piezómetro JK7, que se localiza numa zona de

recarga preferencial, com contribuições laterais (linha de água), a recarga modelada aponta, como seria de esperar, para valores superiores, entre 28% e 33%, com mediana de 31%.

A recarga deste sistema corresponde, em termos médios de ano hidrológico normal (precipitação entre 500 e 600 mm), a aproximadamente 107 mm/ano.

5. CONCLUSÕES

A extensão e persistência da contaminação difusa depende em larga medida da intensidade e frequência da aplicação de fertilizantes e fitofármacos, tipo de culturas, extensão da área regada, características pedológicas e hidrogeológicas dos terrenos (espessura da zona vadosa, drenagem, etc.), factores climáticos etc.

O factor natural do ciclo hidrológico responsável pela percolação dos contaminantes agrícolas até à zona saturada é a recarga.

A avaliação das condições hidrogeológicas, e em especial da recarga aquífera, sob a forma de modelos em tempo real, permite determinar com razoável previsão o volume de água que entra no aquífero e desta forma estimar com base nos usos do solo e das práticas agrícolas, o teor em agro-químicos lixiviados durante os eventos mais importantes de recarga.

De acordo com o modelo EARTH, a recarga do aquífero livre miocénico da Bacia de Alvalade deverá situar-se entre 20% a 35% da precipitação em ano médio ou seja, entre 105 e 185 mm/ano, de acordo com as características naturais do terreno e da ocupação do solo. Será importante considerar que, em função do regime torrencial da precipitação, os eventos principais de recarga são escassos e estão associados a precipitação pontual normalmente acima de 20 mm.

De acordo com o modelo EARTH, a recarga do aquífero dos Gabros de Beja, em ano hidrológico médio, situa-se na ordem dos 20% ou seja 100 mm. Este valor corresponde ao limite superior do intervalo apontado pelos autores em trabalhos anteriores e afigura-se como o valor mais credível para estudos hidrogeológicos e balanço hídrico deste sistema aquífero.

Outra evidência muito importante que resulta da análise das curvas piezométricas, é que a recarga aquífera no sistema dos Gabros de Beja, em ano hidrológico normal, só ocorre normalmente a partir dos finais de Dezembro e prolonga-se por 3 a 4 meses.

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor é doutorando do CVRM/Instituto Superior Técnico e desenvolve os trabalhos de investigação no INETInovação/Departamento de Hidrogeologia. Os trabalhos têm sido apoiados pelo projecto POCTI/AGG/47223/2002 "Utilização de Isótopos de Azoto na Avaliação do Impacte da Agricultura na Qualidade da Água Subterrânea".

Os autores agradecem ao Centro Operativo de Tecnologias do Regadio (COTR) em Beja, a disponibilização de registos climáticos.

BIBLIOGRAFIA

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D. & SMITH, M. (1998) – Crop evapotranspiration –Guidelines for computing crop water requirements. FAO, Irrigation and Drainage Paper, nr. 56.
- BOHLKE, J.K. (2002) - Groundwater recharge and agricultural contamination. *Hydrogeology Journal*, 10: 153-179, (2002).
- DUQUE, J. M. (2005) - Hidrogeologia do Sistema Aquífero dos Gabros de Beja. Tese de Doutoramento. Univ. de Lisboa, 2005.
- GOUWEELEEUW B. T. (2000) – Satellite passive microwave surface moisture monitoring. Thesis, Vrije Universiteit, Amsterdam. The Netherlands.
- LUBCZYNSKI M. W. & GURWIN J. (2005) - Integration of various data sources for transient Groundwater modeling with spatio-temporally variable fluxes – Sardon study case, Spain. *Journal of Hydrology*, 306 (2005)1-4, pp. 71-96.
- PARALTA, E. (2001) – Hidrogeologia e Modelação Estocástica da Contaminação por Nitratos do Aquífero Gabro-diorítico da Região de Beja. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Georrecursos. IST/Centro de Geo-Sistemas, Lisboa, 2001, 157 p.
- PARALTA, E.; FRANCÉS, A. & SARMENTO P. (2002) - Caracterização Hidrogeológica e Avaliação da Vulnerabilidade à Poluição Agrícola do Aquífero Mio-Pliocénico da Região de Canhestros (Alentejo). *Actas do 6º Congresso da Água*, Porto, 16 pp.
- PARALTA, E.; FRANCÉS, A.; NUNES, L & RIBEIRO, L. (2004) - Optimização de Redes de Monitorização de Águas Subterrâneas em Áreas Agrícolas – Um Caso de Estudo no Bloco de Rega de Canhestros (Sistema de Rega de Alqueva). *Actas/CD do 7º Congresso da Água*, Lisboa, 8-12 de Março de 2004, 16 pp.
- PARALTA, E.; FRANCÉS, A.; RIBEIRO, L. (2005) - Avaliação da Vulnerabilidade do Sistema Aquífero dos Gabros de Beja e Análise Crítica da Rede de Monitorização de Qualidade no Contexto da Directiva Quadro. *Publicações do VII Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa (SILUSBA)*. Évora, 30 de Maio a 2 de Junho de 2005, 16 pp.
- PORTARIA n.º 1100/2004 - DR 208 SÉRIE I-B de 2004-09-03. Ministérios da Agricultura, Desenvolvimento Rural e Pescas e das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente. Aprova a lista das zonas vulneráveis e as cartas das zonas vulneráveis do território português
- VAN DER LEE & GEHRELS, J. C. (1990) – Modelling Aquifer Recharge. Introduction to the Lumped Parameter Model EARTH. *Hydrological Report*, Free University of Amsterdam. The Netherlands, 1990, 30 pp.