

# Caracterização hidrogeológica e avaliação da vulnerabilidade à poluição do complexo gabro-diorítico de Serpa-Brinches (sector oriental do sistema aquífero dos Gabros de Beja)

Eduardo A. PARALTA

Geólogo, Departamento de Hidrogeologia, IGM, Estrada da Portela, Apartado 7586, 2720 Alfragide, 351.1.4718922, [eduardo.paralta@igm.pt](mailto:eduardo.paralta@igm.pt)

Alain P. FRANCÉS

Geólogo, Departamento de Hidrogeologia, IGM, Estrada da Portela, Apartado 7586, 2720 Alfragide, 351.1.4718922, [frances.alain@igm.pt](mailto:frances.alain@igm.pt)

*Resumo:* No âmbito do projecto ERHSA (CCR Alentejo, 1996-1999) desenvolveu-se uma caracterização hidrogeológica das potencialidades do aquífero gabro-diorítico de Serpa-Brinches na perspectiva da qualidade da água para abastecimento público e uso agrícola. Apresenta-se igualmente uma caracterização geoestatística do fenómeno de contaminação por nitratos de origem agrícola e mapas de vulnerabilidade e susceptibilidade à poluição que constituem instrumentos fundamentais de gestão ambiental.

*Palavras-chave:* Hidrogeologia; Geoestatística; nitratos; vulnerabilidade; poluição difusa.

*Abstract:* A study on groundwater resources of Alentejo region (CCR Alentejo, 1996-1999) has been carried out in several places namely Serpa gabro-dioritic aquifer to assess water quality for public supply and agriculture. A geostatistical study of nitrate non point pollution in the vicinities of Serpa is presented. Risk and contamination vulnerability maps used in environmental management are also included.

*Key-words:* Hydrogeology; Geostatistics; nitrate; vulnerability; non point pollution.

## Introdução

Em termos climáticos, a região alentejana sofre ciclicamente períodos mais ou menos prolongados de seca, com reflexos importantes sobre a economia regional, que nos casos mais graves acentuam a tendência para a desertificação humana da região.

A região Alentejo é extremamente dependente dos recursos hídricos subterrâneos para abastecimento público e regadio. De facto, 66 % dos concelhos alentejanos dependem das águas subterrâneas (32% são abastecidos exclusivamente por furos e poços e 34% dependem maioritariamente destas origens). Apenas Barrancos depende exclusivamente de reservas de superfície.

Segundo dados dos Planos de Bacia Hidrográfica para o Alentejo, são captados anualmente cerca de 528 hm<sup>3</sup> de água subterrânea, dos quais 50 hm<sup>3</sup> se destinam ao abastecimento público.

As águas subterrâneas representam 77% dos recursos hídricos usados no abastecimento público. Nos outros sectores de actividade as águas subterrâneas representam cerca de 48% dos recursos hídricos usados na agricultura e 40% dos recursos hídricos usados na indústria.

O Departamento de Hidrogeologia do Instituto Geológico e Mineiro tem desenvolvido trabalhos na região de Serpa desde há vários anos. Em 1995, último ano de um período prolongado de seca, foi apresentado

às autoridades municipais uma proposta de Projecto de Investigação Aplicada que incluía a avaliação das condições de funcionamento das captações existentes e construção de novas captações para fazer face às previsíveis necessidades do futuro (Costa, A.M., 1995). Pouco tempo depois iniciava-se o Projecto de Estudo dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Alentejo (CCR Alentejo, 1996-1999), que incluía no seu programa muitas das propostas então apresentadas.

No âmbito do Projecto ERHSA, o IGM desenvolveu trabalhos de caracterização hidrogeológica na mancha de rochas gabróicas da região de Serpa, que correspondem ao sector oriental do Sistema Aquífero dos "Gabros de Beja".

Durante 3 anos procedeu-se à caracterização hidrogeológica destas formações incluindo: análises químicas de elementos maiores e metais pesados; caracterização dos usos do solo e das necessidades de água para abastecimento público; avaliação da contaminação por nitratos, avaliação da produtividade/rendimento das captações; pesquisas geofísicas e sondagens mecânicas para instalação de uma rede preliminar de monitorização piezométrica e de qualidade.

O objectivo dos trabalhos é determinar aspectos geoestruturais particulares do complexo gabro-diorítico, susceptíveis de garantir um abastecimento compatível com as necessidades locais, em termos de quantidade e qualidade.

As práticas agrícolas são responsáveis, desde à vários anos, por uma situação de contaminação generalizada por nitratos, degradando a qualidade da água subterrânea para consumo humano.

Os resultados obtidos sob a forma de diagramas, índices hidrogeológicos e mapas de risco à poluição podem ser instrumentos fundamentais na gestão dos recursos hídricos subterrâneos e inclusivamente no estabelecimento de redes de monitorização adequadas (Ribeiro, 1998).

### Enquadramento Hidrogeológico

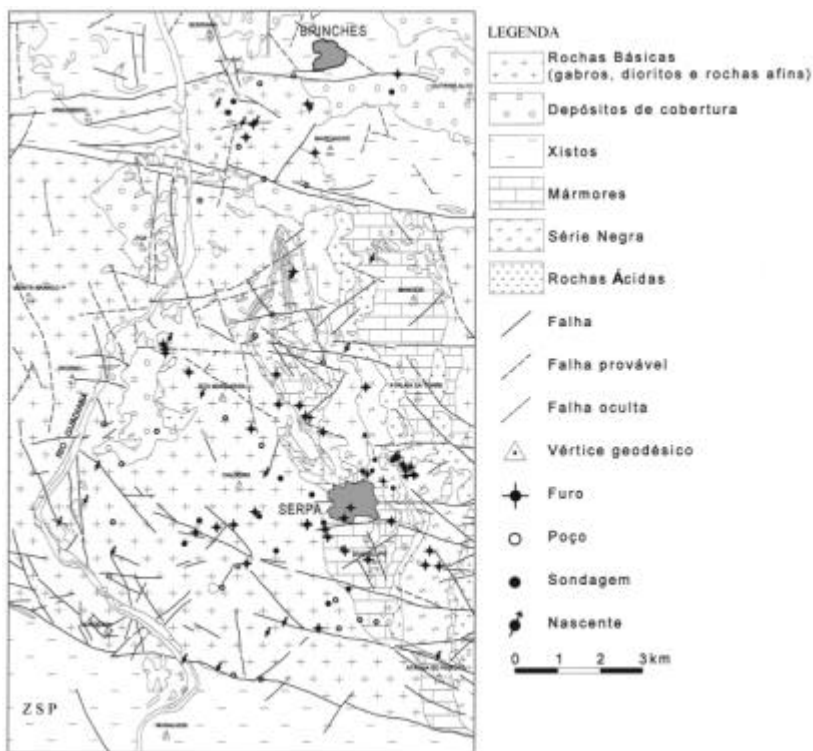
As formações gabro-dioríticas entre Serpa e Brinches totalizam cerca de 60 km<sup>2</sup> e encontram-se distribuídas pela metade oriental das folhas 522 e 532 da carta militar, a E do Rio Guadiana (margem esquerda).

Geologicamente, a área de estudo é constituída por rochas de composição gabro-diorítica (Complexo gabro-diorítico de Serpa-Brinches), numa extensão aproximada de 60 km<sup>2</sup>, que, por vezes, metamorfizam os calcários cristalinos do pré-câmbrico (Oliveira, 1980).

A figura 1 representa o mapa geológico simplificado do complexo gabro-diorítico de Serpa-Brinches e áreas limítrofes, com implantação dos pontos de água que constituem o inventário hidrogeológico.

A cartografia geológica foi gentilmente cedida pelo Dr. Paul Fonseca do Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências de Lisboa e pelo Dr. Paulo Castro do IGM do Porto.

O complexo gabro-diorítico de Serpa é limitado a S pelos aquíferos (descontínuos) da Zona Sul Portuguesa, constituídos por rochas xistosas fracturadas susceptíveis de, em condições estruturais favoráveis, suportar origem



A drenagem superficial apresenta escoamento para oeste, sendo as linhas de água na maioria temporárias, à excepção dos principais “barrancos” onde no período estival é possível encontrar um pequeno caudal. A organização da drenagem segue um padrão dendrítico ou arborescente

As principais linhas de água permanentes responsáveis pela drenagem de toda a área do complexo gabro-diorítico são a Ribeira do Enxoé e o Rio Guadiana.

A área de estudo pertence à unidade geodinâmica de Ossa-Morena e insere-se no sector oriental de uma vasta região (350 km<sup>2</sup>), situada entre Ferreira do Alentejo (W), Beja e Serpa (E), onde predominam rochas básicas.

de abastecimento a populações pouco numerosas. A transição para estas formações corresponde ao cavalgamento de Ferreira-Ficalho (5 km a sul de Serpa).

A N, contacta com a formação dos xistos de Moura através de uma discordância estrutural materializada pelo sistema de falhas de orientação aproximada EW associadas à falha de Beja-Valdelarco. O potencial hidrogeológico destas formações é reduzido, apresentado apenas interesse para abastecimento doméstico e de pequenos “montes” isolados.

A E, o aquífero dos Gabros de Beja é limitado pelos calcários pré-câmbrios de Serpa (mármore) com comportamento de aquífero cársico fissurado em que

ocorrem por vezes boas produtividades. Nesta área existem também termos litológicos correspondentes a rochas ácidas (metariolitos) e série negra (gneisses, xistos e quartzitos negros) sem potencial hidrológico assinalável e ainda mal conhecido.

O limite ocidental é constituído pelo Rio Guadiana que funciona como zona de descarga da área aquífera em estudo.

### **Climatologia e Recursos Hídricos**

Em termos climáticos a região de Serpa apresenta um clima mediterrâneo de características temperadas, por vezes com períodos plurianuais de seca. A temperatura média anual ronda os 16°C e a precipitação média anual é de 497 mm/ano, o que representa praticamente menos 100 litros/m<sup>2</sup>/ano nesta região relativamente a Beja, afastada apenas 25 km para ocidente.

É característico um período quente e seco de 4 meses, entre Junho e Setembro em que praticamente não chove e um semestre húmido de Outubro a Março que concentra 75% da precipitação anual.

Considerando uma capacidade de campo de 100 mm, obtiveram-se valores de evapotranspiração real (EVR) segundo os métodos de Thomwaite (EVR= 428.1 mm/ano), Turc (EVR= 432 mm/ano) e Coutagne (EVR= 417.5 mm/ano).

Com base no balanço sequencial mensal de Thornwaite, considerando uma capacidade de campo de 100 mm, obtém-se um déficit hídrico acumulado para agricultura entre Junho e Outubro de 4176 m<sup>3</sup>/ha.

Os recursos hídricos totais disponíveis anualmente para recarga (P-EVR) são de 69.7 mm ou seja 14% da precipitação média anual, o que representa para a área do complexo gabro-diorítico (60 km<sup>2</sup>) cerca de 4.2 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/ano.

O valor apresentado não representa a infiltração eficaz ou recarga, uma vez que alguns recursos (não quantificados) se perdem por escorrência ao longo das linhas de água acabando por afluir ao rio Guadiana.

Na ausência de dados consistentes de produtividade aquífera, com base em extracções contabilizadas, e face ao fraco índice pluviométrico, é de admitir uma recarga útil não superior a 10% da precipitação média anual, ou seja, cerca de metade da calculada para a bacia hidrográfica de Pisões, em Beja (Paralta, 2000).

### **Hidrogeologia**

Em termos hidrogeológicos a área de estudo apresenta um comportamento de aquífero livre com circulação em meio poroso, constituído pelas formações alteradas. A camada de alteração comporta-se como um reservatório que alimenta as diaclases subjacentes,

características de meio fissurado, que serão objecto de pesquisa hidrogeológica (Pais Quina, 1983).

Este sistema aquífero, apresenta-se muito heterogéneo, podendo fornecer bons caudais a par de pesquisas praticamente secas. A taxa de insucessos, para caudais superiores a 5 m<sup>3</sup>/h, incluindo os furos particulares, dificilmente quantificáveis, rondará os 50%.

Obtiveram-se caudais entre 1 l/s e 10 l/s, em furos de captação. A produtividade média situa-se nos 3 l/s. O rendimento das captações expresso pelo caudal específico é normalmente baixo, em média 0.5 l/s.m. Os registos de transmissividade calculados pelo método de Logan apontam para valores entre 5 e 190 m<sup>2</sup>/d.

Os principais aspectos do funcionamento hidráulico e da hidroquímica do Complexo gabro-diorítico de Serpa-Brinches foram já apresentados em Paralta (1999) pelo que se referem apenas os aspectos mais relevantes e se apresentam os resultados definitivos das análises efectuadas.

Foram referenciados na área dos gabro-dioritos e zonas limítrofes mais de uma centena de pontos de água. Cerca de 23 captações pertencem ou foram mandadas executar pela autarquia de Serpa, embora, actualmente só um reduzido número se encontre em funcionamento.

O fluxo hídrico subterrâneo da área é controlada por gradientes suaves, entre 2 e 4% para oeste, assumindo-se o Guadiana como nível de base local de toda esta unidade aquífera, que apresenta portanto comportamento efluente, com descarga (não quantificada) através de nascentes pontuais e difusas para o rio.

Os caudais das nascentes inventariadas oscilam entre 1 e 2.5 l/s e localizam-se nos “barrancos” do Guadiana, por vezes associadas a estruturas do tipo falha ou fractura.

Estas nascentes reflectem a grande capacidade de “regularização” do aquífero freático, uma vez que mesmo no final do último período de seca, em 1995, havia ainda linhas de água com caudais diminutos alimentadas por pequenas nascentes que se distribuem ao longo da margem esquerda do rio Guadiana. (informação oral do Dr. Augusto M. Costa).

Tratando-se de um aquífero livre, a superfície piezométrica acompanha aproximadamente o modelado topográfico e encontra-se normalmente a poucos metros de profundidade (4 a 5 metros), o que facilita grandemente a sua exploração por poços e charcas pouco profundas.

Os dados para caracterização hidroquímica da região de Serpa basearam-se em 41 análises, obtidas entre Novembro de 1998 e Abril de 1999, das quais 26 provenientes da área dos gabro-dioritos e 15 amostras provenientes das formações enquadrantes, nomeadamente dos calcários pre-câmbricos e do complexo das rochas ácidas, a NE de Serpa.

As águas provenientes das formações gabro-dioríticas apresentam-se na maioria com uma mineralização média e algo duras, de características incrustantes e reacção ligeiramente alcalina.

Todas as análises indicam um problema persistente de contaminação difusa por nitratos de origem agrícola. Os valores máximos admissíveis pelo D.L. 236/98, que regulamenta a qualidade da água para consu-

mo humano, são frequentemente excedidos no que respeita aos nitratos (VMA=50mg/l) e em algumas amostras para o ião magnésio e sódio, embora estes últimos sejam valores anómalos, dependentes do local de colheita. Relativamente ao sulfato e ao sódio situam-se normalmente entre o VMR e o VMA (Figura 2). A tabela 1 indica os valores extremos e a mediana dos parâmetros analisados.

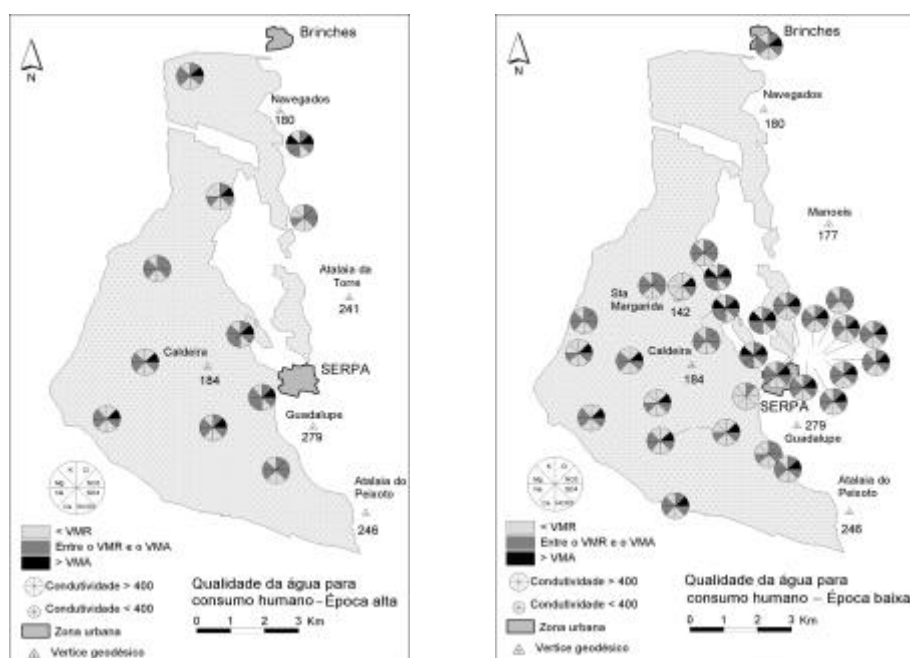


Figura 2 - Distribuição dos parâmetros analisados, em duas épocas distintas, segundo a legislação em vigor (D.L. 236/98).

Tabela 1 - Extremos e mediana dos parâmetros analisado no aquífero gabro-diorítico de Serpa-Brinches

Parâmetros	Mínimo	Mediana	Máximo	n
pH Lab.	6.9	7.4	7.9	26
Condutividade eléctrica (uS/cm)	420.0	685.5	1139.0	26
Alcalinidade Total (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	169.0	284.0	348.0	26
Dureza Total (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	176.4	334.2	546.0	22
Resíduo Seco (mg/l)	266.4	480.9	791.0	26
Bicarbonato (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	206.2	297.0	424.6	26
Sílica (mg/l)	13.4	32.5	45.2	26
Cálcio (mg/l)	45.0	76.5	106.8	26
Sódio (mg/l)	18.8	29.9	61.5	26
Potássio (mg/l)	0.1	1.0	4.0	26
Magnésio (mg/l)	13.6	33.0	69.1	26
Nitrato (mg/l)	14.9	57.6	178.0	26
Cloreto (mg/l)	16.0	29.1	106.0	26
Sulfato (mg/l)	23.0	50.6	104.0	26
CO <sub>2</sub> (mg/l)	15.5	19.7	136.8	12

A fácies hidroquímica predominante é bicarbonatada calco-magnésiana. Os processos hidrogeoquímicos de que depende a actual composição da água subterrânea do complexo gabro-diorítico relacionam-se com a alteração química dos silicatos presentes nas rochas básicas, de que resulta a formação de minerais de argila, nomeadamente ilite, caulinite e montmorilonite.

As plagioclases cálcicas e os minerais ferro-magnésianos, do grupo das piroxenas e das anfíbulas, fornecem  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  à solução.

O estado de equilíbrio hidroquímico representado pelo índice de saturação dos minerais do sistema carbonatado, obtido a partir do programa HIDSPEC2 (Carvalho & Almeida, 1989), revela que 75% das amos-

Em termos globais não foram detectados concentrações perigosas de metais pesados nas áreas do aquífero a W de Serpa, à excepção de um caso pontual de 1 amostra com valor superior ao VMA para o ião manganês.

Na área a NE de Serpa, envolvente do parque industrial, foram detectados valores superiores ao máximo admissível, relativamente ao ferro, níquel e manganês, embora sempre com carácter pontual e portanto sem significado em termos de contaminação aquífera ou perigo para a saúde pública.

Os valores extremos das análises efectuadas aos metais pesados nos arredores de Serpa estão representados na tabela 2.

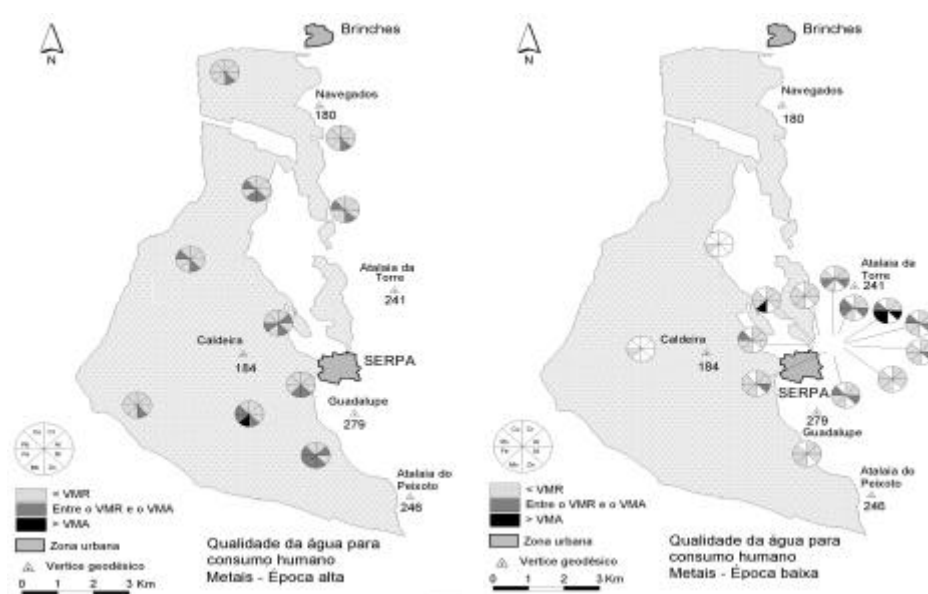


Figura 3 - Distribuição dos metais medidos em 2 épocas distintas segundo a legislação em vigor (D.L. 236/98).

tras provenientes do aquífero gabro-diorítico estão sobressaturadas relativamente à calcite e à dolomite. Em situações de clima árido e seco, como acontece no Alentejo, produzem-se depósitos carbonatados de origem química, conhecidos como “caliços” em resultado da deposição da calcite e outros carbonatos associados às oscilações do nível freático, na presença de águas sobressaturadas em carbonato de cálcio.

Para além da cartografia de parâmetros físico-químicos maiores, realizou-se também uma significativa despistagem de metais pesados em poços e furos dos arredores de Serpa, só possível pela excelente colaboração do laboratório da DRAOT Alentejo em Santo André.

À excepção do crómio que se situa sistematicamente abaixo dos limites de detecção, apresenta-se a cartografia da distribuição do conteúdo em elementos metálicos na figura 3.

Tabela 2 - Limites máximos e mínimos dos teores em metais na região de Serpa

Metais	Mínimo	Máximo	N
Chumbo (ug/l)	< 1.29	43.4	22
Alumínio (ug/l)	7.9	64.3	22
Zinco (ug/l)	60.0	490.0	10
Níquel (ug/l)	< 1.55	77.4	22
Crómio (ug/l)	0.0	< 0.55	22
Ferro total (ug/l)	10.0	210.0	17
Cobre (ug/l)	0.6	14.4	10
Manganês (ug/l)	0.0	61.9	22

Relativamente à qualidade da água para rega, na região ocidental de Serpa, a aptidão da água para uso agrícola corresponde maioritariamente (70%) à classe  $C_2S_1$ . As classes  $C_3S_1$ ,  $C_3S_2$  e  $C_3S_1$  também estão representadas pontualmente. O perigo de alcalinização dos solos é moderado, mas o risco de salinização é médio a elevado, não sendo de aconselhar o regadio em culturas sensíveis e/ou solos de reduzida permeabilidade.

### Mapas de Risco e de Vulnerabilidade/Susceptibilidade à Poluição

Os terrenos da mancha gabro-diorítica da margem esquerda do Guadiana são dos mais férteis do Alentejo e portanto estão sujeitos a grande intensidade agrícola, com o conseqüente incremento de adubos e pesticidas.

As práticas agrícolas são responsáveis, há várias décadas, por uma situação de contaminação generalizada por nitratos, degradando a qualidade da água subterrânea para consumo humano.

A degradação da qualidade da água subterrânea, resultante da contaminação difusa por nitratos, tem origem no excedente de azoto (N) aplicado na agricultura, sob a forma azoto amoniacal ( $NH_4^+$ ), Ureia e outros compostos azotados usados nos fertilizantes, que não é absorvido durante o ciclo vegetativo, acabando por ser transportado para a zona saturada e disseminado por extensas áreas.

O uso do solo na área de estudo caracteriza-se pela monocultura de sequeiro, nomeadamente trigo e extensos olivais. O sistema de rotação inclui normalmente o girassol. Nas culturas de sequeiro, segundo dados colhidos no local aplicam-se 180 kg/ha de fertilizantes entre Novembro e Dezembro. As restantes culturas não são normalmente adubadas.

Com a finalidade de manter a qualidade química das águas subterrâneas, tem sido desenvolvidas um conjunto de ferramentas de que fazem parte os mapas de vulnerabilidade, os mapas de risco e a delimitação de perímetros de protecção das captações (Gogu & Dassargues, 2000; Hirata & Rebouças, 1999).

Os primeiros pretendem definir espacialmente o grau de protecção de um aquífero à poluição de origem natural ou antrópica e os segundos correspondem ao cruzamento dos mapas de vulnerabilidade com o inventário das zonas de poluição potencial das águas subterrâneas, que correspondem a focos de poluição pontual, linear ou difusa, relacionados ou não com as actividades antrópicas.

Os mapas de vulnerabilidade intrínseca pretendem representar o grau de protecção natural à poluição de um aquífero em função das suas propriedades hidrogeológicas.

No caso do Alentejo, vários estudos de qualidade das águas subterrâneas denunciam a contaminação por nitratos originada por poluição difusa de origem agrícola

(Chambel, 1992; Duque, 1997; Paralta & Ribeiro, 1998).

No âmbito do projecto ERHSA foi desenvolvido um Índice de Susceptibilidade à poluição, da autoria do Prof. Luís Ribeiro (CVRM/IST), após consulta de vários técnicos e especialistas em Hidrogeologia no sentido de avaliar a vulnerabilidade específica dos aquíferos à contaminação de origem agrícola.

Este método inspira-se no método DRASTIC (Aller et al., 1987), do qual foram seleccionados alguns parâmetros originais e introduzido um novo parâmetro, a ocupação do solo. Os parâmetros a considerar são: D (espessura da zona não saturada), R (recarga), A (material do aquífero), S (tipo de solo), T (topografia), I (impacte da zona não saturada), C (condutividade hidráulica) e OS (ocupação do solo).

A cada malha do modelo corresponde uma valor obtido da média ponderada dos parâmetros referidos, segundo a sua importância relativa, como indicado na tabela 3.

**Tabela 3** - Ponderadores do método DRASTIC e do Índice de Susceptibilidade

VULNERABILIDADE DRASTIC	PONDERADORES	ÍNDICE DE SUSCEPTIBILIDADE	PONDERADORES
D	5	D	0.186
R	4	R	0.212
A	3	A	0.259
S	2	T	0.121
T	1	OS	0.222
I	5	23 < DRASTIC < 226	
C	3	0 < IS < 100	

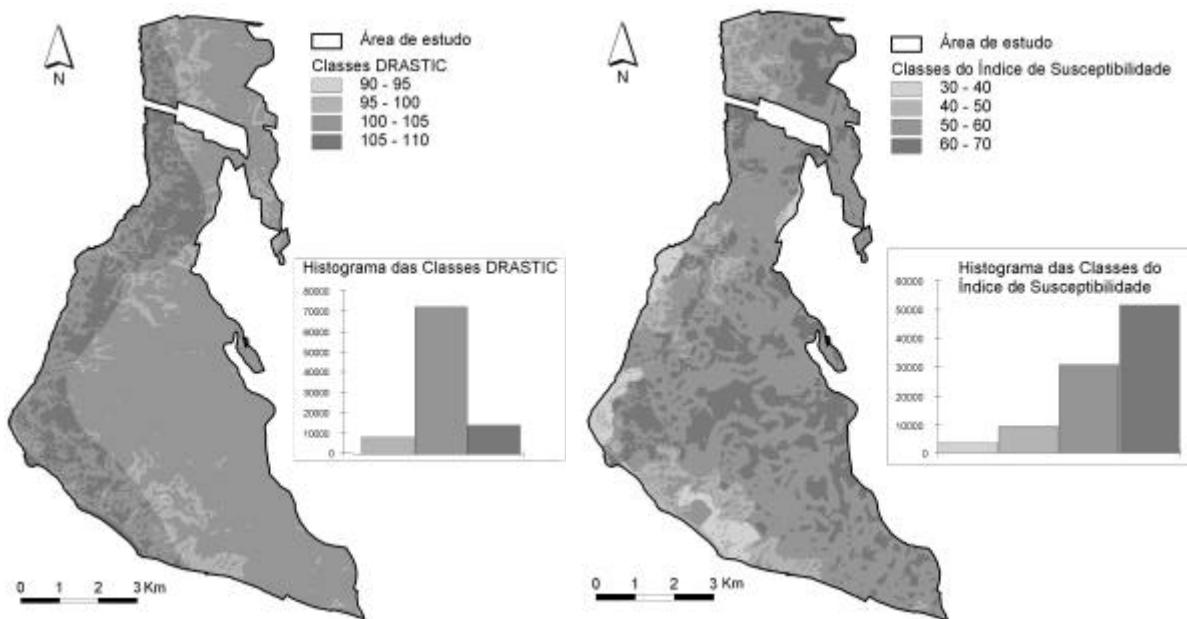
A ocupação do solo foi definida com base na Carta Corine Land Cover de 1985/87 do CNIG. Na área do modelo a ocupação agrícola maioritária é a monocultura extensiva de trigo (60%), o olival (20%), produções agroflorestais diversas (15%) e ainda algum matagal (5%).

A distribuição espacial do parâmetro D foi obtida por krigagem do variograma ajustado ao modelo esférico de variância 3.42, termo péptico 0.98 e amplitude de 2471 m, segundo uma malha de 200x200 m.

Os resultados obtidos com as duas metodologias estão representados na figura 4.

O índice DRASTIC para a área de estudo varia entre 90 e 110, com a maior parte da área incluída na sub-classe 100 a 105, o que representa uma vulnerabilidade reduzida. O Índice de Susceptibilidade oscila entre 30 e 70, com a maior parte da área incluída na classe 60-70, o que representa uma vulnerabilidade média/alta.

O segundo método é, portanto, mais sensível aos aspectos de uso potencial e efectivo do solo e às técnicas agrícolas, que, indirectamente, lhe estão associadas, obtendo-se resultados mais próximos dos mapas de risco obtidos dos dados experimentais.



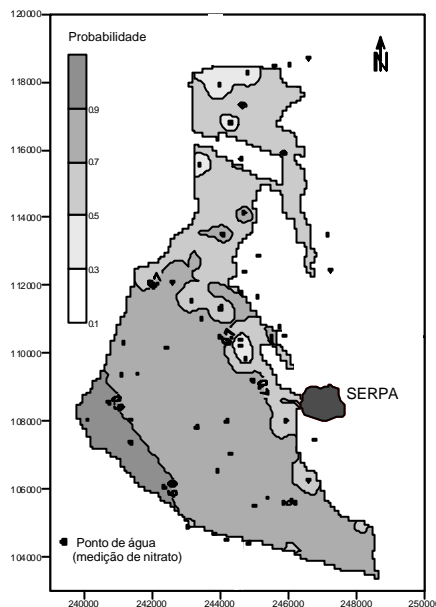
**Figura 4** - Carta de vulnerabilidade DRASTIC (A) e carta de Índice de Susceptibilidade à poluição (B) para a área do aquífero gabro-diorítico de Serpa-Brinches.

Um caso semelhante de aplicação de métodos geoestatísticos com recurso a SIG para cruzamento de dados e cartografia de risco e de vulnerabilidades foi aplicado na região de Beja por Paralta & Francés (2000).

Complementarmente aos resultados obtidos com o método DRASTIC e com o Índice de Susceptibilidade apresenta-se uma caracterização geoestatística do fenómeno de poluição por nitratos na região de Serpa.

Numa primeira fase são determinados os estatísticos básicos do conjunto amostral, relativo a medições efectuadas em Setembro de 1998 (Tabela 4) e, posteriormente, determinam-se os modelos estruturais da variável indicatriz (0/1) correspondente ao VMA do ião nitrato (50 mg/l). Os variogramas experimentais omni-direccionais foram ajustados a modelos teóricos esféricos de variância 0.2, termo péptico 0.12 e amplitude de 700 m e a estimação por krigagem foi realizada sobre uma malha de 200x200 m.

Apresenta-se na figura 5 a carta de risco ou de iso-probabilidades de ocorrência de valores de nitratos superiores a 50 mg/l.



**Figura 5** - Mapa de Risco. Iso-probabilidades da concentração em nitrato exceder 50 mg/l em Setembro de 1998.

**Tabela 4** - Estatísticos dos teores em nitratos medidos em Setembro de 1998 (mg/l)

Mínimo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo	Desv. Pad.	N
22.0	48.0	61.5	64.8	76.8	142	23.4	56

Constata-se que, na maioria da área do aquífero, a probabilidade de ocorrência de águas sem qualidade para consumo público é superior a 70%.

Situação idêntica está descrita para a região de Beja (Paralta & Ribeiro, 2001).

## Conclusões

Os trabalhos desenvolvidos permitiram caracterizar a situação actual dos recursos hídricos subterrâneos do complexo gabro-diorítico de Serpa-Brinches, em termos de qualidade e quantidade.

A avaliação das condições de exploração das captações públicas evidencia perdas de carga importantes devido ao seu envelhecimento, deficiente concepção e reduzido diâmetro de entubamento.

O principal constrangimento em relação à produção de água para consumo humano a partir dos recursos subterrâneos prende-se com a elevada dureza da água e os teores em nitratos que frequentemente ultrapassam os limites legalmente consignados.

Os resultados obtidos indicam uma situação de contaminação persistente por nitratos de origem agrícola que importa inverter com a adopção de novos códigos de conduta e sensibilização ambiental dos intervenientes e dos poderes públicos.

Esta situação está sempre presente qualquer que seja a origem de água considerada, quer de abastecimento público quer privado, constituindo um problema agro-ambiental herdado de décadas de práticas agrícolas intensivas.

Os recursos hídricos subterrâneos do complexo gabro-diorítico em conjunto com as captações instaladas nos calcários pre-câmbricos e nas formações quartzofeldspáticas dos arredores de Serpa são normalmente suficientes para as necessidades de consumo locais, à excepção de períodos anormalmente prolongados de seca.

As medidas de protecção das águas subterrâneas devem considerar a vulnerabilidade dos sistemas aquíferos, em função das suas características hidrogeológicas e dos riscos de contaminação efectivos ou potenciais associados às condições climáticas e às actividades humanas.

O cruzamento da informação geológica, climática e ocupação do solo com metodologias de análise como o método DRASTIC ou métodos estocásticos, sob a forma de mapas de risco, obtidos por via da geoestatística, constituem abordagens multidisciplinares importantes para a compreensão das relações mútuas entre as variáveis que constituem os geossistemas.

Os resultados obtidos sob a forma de mapas de risco à poluição podem ser instrumentos fundamentais na gestão dos recursos hídricos subterrâneos e inclusivamente no estabelecimento de redes de monitorização adequadas (Ribeiro, 1998).

## Agradecimentos

A todos os que de uma forma ou de outra colaboraram nos trabalhos desenvolvidos na área de Serpa, quero expressar os meus sinceros agradecimentos.

Em especial, não poderei deixar de referir a extraordinária colaboração do auxiliar técnico Arsénio Palhaço do Departamento de Hidrogeologia do IGM pela disponibilidade e empenho nos trabalhos de campo

Registe-se ainda a excelente colaboração dos SMAS de Serpa na pessoa do Eng. Oliveira e demais colaboradores, nomeadamente, o Sr. Manuel, funcionário responsável pelo funcionamento das captações.

## Bibliografia

- AFONSO, J., MIRANDA, A., MARINHO DE BASTOS, C., BARROS GOMES, J. & SANTOS LOPES, A. (1998) - *Aproveitamento hidráulico do Enxóe*. Recursos Hídricos, Vol 19, nº1, Março de 1998, LNEC, Lisboa, p. 3-16.
- ALLER, L., BENNET, T., LEHR, J.H. & PETTY, R.J., (1987) - *DRASTIC: a standartized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings*, U.S. EPA Report 600/2-85/018.
- CARVALHO, M.R. & ALMEIDA, C. (1989) - *HIDSPEC, um programa de especiação e cálculo de equilíbrios água/rocha*. *Geociências*, Rev. Universidade de Aveiro, vol. 4, fasc. 2, pp. 1-22.
- CASIMIRO MENDES, J. & BETTENCOURT, M.L. (1980) - *O clima de Portugal. Contribuição para o estudo do balanço climatológico de água no solo e classificação climática de Portugal continental*. Fascículo XXIV, Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, Lisboa, 1980, pp. 287.
- CHAMBEL, A. (1992) - *Estado da Água Subterrânea em Rochas Fissuradas da Região de Évora*, in *Anais do 1º Congresso da Água*, APRH.
- COSTA, A.M. (1995) - *Aquíferos e furos de captação de abastecimento de água do concelho de Serpa - Reforço de caudais e monitorização de extracções*. Proposta de Projecto, documento interno. IGM. Lisboa
- CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M.R. (1996) - *Hidrologia subterranea*, 2ª edição, Tomo I e II, ediciones Omega, Barcelona, 2350 pp.
- DUQUE, J.M. (1997) - *Caracterização hidrogeológica e modelação matemática do aquífero dos Gabros de Beja*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, 212 p.
- FONSECA, P. (1995) - *Estudo da Sutura Varisca no SW Ibérico nas regiões de Serpa - Torrão, Alvito Viana do Alentejo*. Dissertação de Doutoramento. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, 325 p.
- GOGU, R.C. & DASSARGUES, A. (2000) - *Current trends and future challenges in groundwater vulnerability assessment using overlay and index methods*. *Environmental Geology*, 39 (6): 549-559.
- HIRATA, R. & REBOUÇAS, A. (1999) - *La proteccion de los recursos hídricos subterrâneos: Una vision integrada, basada en perímetros de proteccion de pozos y vulnerabilidade de acuíferos*. *Boletín geológico y minero*, nº4, pp. 79-92.
- OLIVEIRA, V. (1980) - *Nota prévia sobre a ocorrência de pré-câmbrico na região de Serpa (Baixo Alentejo)*. *Boletim da Sociedade Geológica de Portugal*, vol. XXII, pp 111-113.
- OLIVEIRA, J.T. (Coord.) (1992) - *Carta Geológica de Portugal*, escala 1:200000, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.



- PARALTA, E. & RIBEIRO, L. (2001) – *Análise variográfica e cartografia de risco da contaminação por nitratos na região de Beja*, aceite para publicação no número de Março da revista Recursos Hídricos da Assoc. Portuguesa de Recursos Hídricos, (APRH), LNEC, 15 p., Lisboa.
- PARALTA, E. (2000) – *Ficha de Aquífero do Sistema Aquífero dos Gabros de Beja (Região de Serpa)*, Relatório interno do Projecto ERHSA, IGM, 102 p.
- PARALTA, E. & FRANCÉS, A. (2000) - *Avaliação da vulnerabilidade à poluição DRASTIC e cartografia de risco do aquífero gabro-diorítico da região de Beja*, in 5º Congresso da Água, Lisboa, 25 a 29 de Setembro de 2000, 15 p.
- PARALTA, E., STIGTER, T.Y. & SALGUEIRO, A.R. (2000) - *Caracterização hidroquímica do complexo gabro-diorítico da região de Beja e modelação hidrogeoquímica PHREEQC da composição da água sob influência climática*, in 5º Congresso da Água, Lisboa, 25 a 29 de Setembro de 2000, 15 p.
- PARALTA, E. (1999) - *Alguns Aspectos da Hidrogeologia das Rochas Gabróicas da Região de Serpa*. *GeoNovas*, Revista da Associação Portuguesa de Geólogos, nº13 pp 55-68, Porto.
- PARALTA, E. & RIBEIRO, L. (1998) - *Estudo geoestatístico da contaminação por nitratos na área da Ribª da Chaminé – resultados preliminares*. V Congresso Nacional de Geologia, vol. 2, pp. 57-60. Lisboa.
- QUINA, P. (1983) - *Pesquisas e captações em gabro-dioritos*. Seminário sobre Hidrogeologia de rochas compactas fissuradas, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, Lisboa.
- RIBEIRO, L. (1998) - *Probabilidades e Probabilidades Condicionais em Hidrogeologia* In 4º Congresso da Água. Lisboa.