

# **Avaliação da Vulnerabilidade do Sistema Aquífero dos Gabros de Beja e Análise Crítica das Redes de Monitorização no Contexto da Directiva Quadro da Água**

**Eduardo A. PARALTA**

*Geólogo. Bolseiro de Doutoramento da FCT. Departamento de Hidrogeologia do Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação (INETInovação), Estrada da Portela, Apartado 7586, 2720-866 Alfragide, Tel. 351.21.4705400  
Email: [eduardo.paralta@ineti.pt](mailto:eduardo.paralta@ineti.pt)*

**Alain P. FRANCES**

*Geólogo. Departamento de Hidrogeologia do Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação (INETInovação), Estrada da Portela, Apartado 7586, 2720-866 Alfragide, Tel. 351.21.4705400  
Email: [frances.alain@ineti.pt](mailto:frances.alain@ineti.pt)*

**Luís F. RIBEIRO**

*Eng. de Minas. Professor Auxiliar do Instituto Superior Técnico, CVRM-Centro de Geo-sistemas, Av. Rovisco Pais, 1096 Lisboa, Tel. 351.21.8417247  
Email: [nlrib@alfa.ist.utl.pt](mailto:nlrib@alfa.ist.utl.pt)*

## Resumo

A situação de poluição persistente por nitratos de origem agrícola do Sistema Aquífero dos Gabros de Beja (350 km<sup>2</sup>) foi recentemente reconhecida na Portaria nº 1100/2004 de 3 de Setembro, relativa às Zonas Vulneráveis (Zona Vulnerável nº 6).

Pela sua extensão, importância para abastecimento público e inclusão no Plano de Rega do Alentejo no âmbito do Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva merecem especial atenção os aspectos relacionados com o mapeamento espacial da vulnerabilidade (intrínseca) e do risco de poluição associado às novas técnicas agrícolas.

A abordagem da vulnerabilidade aquífera utiliza índices empíricos e semi-empíricos consagrados na bibliografia (DRASTIC, GOD, AVI e outros) e critérios litológicos (EPPNA) para definir a vulnerabilidade intrínseca, apresentando uma perspectiva comparada dos vários métodos e sugerindo variáveis determinantes, no contexto hidrogeológico e agro-climático específico dos Gabros de Beja.

No âmbito da Directiva Quadro da Água e da sua congénere para as Águas Subterrâneas que se aguarda para breve, os Estados-Membros da CE e as respectivas entidades regionais responsáveis pela utilização dos recursos hídricos e pelo ordenamento do território devem assegurar a protecção, melhoria e reposição do bom estado químico das águas subterrâneas, prevenindo a sua poluição.

À vários anos que o Instituto da Água, por intermédio das direcções regionais, tem vindo a operar uma rede de monitorização de qualidade da água subterrânea nos Sistema Aquífero dos Gabros de Beja, que tem sido usada como referência para avaliação da qualidade do aquífero, em especial no que respeita à poluição difusa.

Segundo a DQA, as massas de água em risco como é o caso dos Gabros de Beja, carecem de estudos hidrogeológicos apropriados e instalação de redes de monitorização (monitorização de vigilância e operacional) apropriadas, que sejam representativas das massas de água a monitorizar

Com base nos dados publicamente disponíveis faz-se uma análise crítica da representatividade da rede, dos parâmetros analisados e da frequência da amostragem à luz da DQA e da legislação das Zonas Vulneráveis, no sentido de contribuir para a sua optimização.

**Palavras-chave:** Vulnerabilidade; Poluição difusa; Redes de Monitorização; Optimização.

## 1 – INTRODUÇÃO

O objectivo deste trabalho é a avaliação da vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas e a análise crítica da rede de monitorização de qualidade operada pela Direcção Regional do Ambiente do Alentejo, em especial relativa à contaminação difusa ou seja à variação sazonal do teor em nitratos.

O Sistema Aquífero dos Gabros de Beja, ocupa uma área aproximada de 350 km<sup>2</sup> e constitui um dos mais importantes reservatórios de águas subterrâneas instalado em rochas cristalinas na região semi-árida do Alentejo. Este sistema apresenta produtividades bastante regulares, quando comparado com outros aquíferos do Alentejo, em média superior a 15 m<sup>3</sup>/h. Os recursos hídricos subterrâneos são responsáveis por grande parte do abastecimento público aos concelhos de Beja, Ferreira do Alentejo e Serpa.

A ocupação agrícola dominante a partir da década de 1930 baseou-se na monocultura cerealífera extensiva, apoiada por importantes dotações de fertilizantes azotados (150 a 200 kg/ha), que se prolongou sem grandes alterações até final do século XX. A vulnerabilidade do sistema aquífero e as práticas agrícolas conduziram progressivamente a uma degradação da qualidade da água subterrânea para diferentes fins, nomeadamente o abastecimento público. Actualmente verifica-se a presença persistente de nitratos acima de 50 mg NO<sub>3</sub>/L na maioria das origens de água subterrânea.

Estas evidências indicam que o Sistema Aquífero dos Gabros de Beja constitui um aquífero em risco, sujeito a contaminação difusa por nitratos de origem agrícola, que importa continuar a monitorizar. Paralelamente será necessário implementar o Código de Boas Práticas Agrícolas (MADRP, 1997) no sentido de inverter a situação actual, de acordo com as directivas nacionais e europeias, em especial a Directiva Quadro da Água (2000/60/EC) a directiva relativa à protecção das águas contra a poluição por nitratos (Directiva 91/676/CEE de 12 de Dezembro de 1991) e ainda da Directiva filha da DQA para as águas subterrâneas que se aguarda para 2005/2006.

A extensão e persistência da contaminação difusa dependem 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.

Em aquíferos frreáticos e pouco profundos, como é o caso dos Gabros de Beja, a remobilização e lixiviação dos agro-químicos e fertilizantes em excesso no solo até à zona saturada, que se encontra normalmente a pouca profundidade, é relativamente rápida. Os eventos de recarga episódica e concentrada durante o semestre húmido coincidem com as épocas de fertilização (adubação de cobertura no trimestre Jan-Mar/Abril) provocando a lixiviação precoce dos fertilizantes do solo para a zona saturada (Paralta *et al.*, 2003).

Especificamente para a Zona Vulnerável dos Gabros de Beja, não existem estudos sistemáticos ou modelos de previsão sobre as perdas de azoto por lixiviação.

Estudos académicos e várias publicações (Duque, 1997; Paralta & Ribeiro, 2000; Paralta, 2001; Paralta & Francês, 2000; Paralta & Ribeiro, 2003; Serra *et al.*, 2003 etc) e também monitorizações de rotina das autarquias e da Direcção Regional do Ambiente revelaram a ocorrência sistemática de teores elevados de nitratos em captações particulares e furos de abastecimento público. Esta situação conduziu à declaração de Zona Vulnerável para a área do Sistema Aquífero dos Gabros de Beja (também conhecido por Barros de Beja) na Portaria 1100/2004 de 3 de Setembro. A Zona Vulnerável nº 6 dos Gabros de Beja, constitui a mais extensa zona vulnerável de Portugal (aproximadamente 330 km<sup>2</sup>), abrangendo os concelhos de Serpa, Beja e Ferreira do Alentejo.

## 2 – BREVE CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA AQUÍFERO DOS GABROS DE BEJA

Em termos gerais, as formações geológicas predominantemente gabro-dioríticas do Sistema Aquífero dos Gabros de Beja apresentam comportamento hidrogeológico característico de um meio poroso nos horizontes superiores, passando progressivamente a fissurado em profundidade (Fig 1). Desta forma define-se um aquífero livre com espessura variável, com 20 a 50 m de espessura.

A produtividade média do Sistema Aquífero dos Gabros de Beja é da ordem dos 5 L/s, podendo atingir máximos na ordem dos 36 L/s. Na área de Beja a taxa de insucessos é reduzida (< 20%) enquanto na zona de Serpa é da ordem dos 50% para caudais superiores a 1L/s (Paralta & Francés, 2000).

As Transmissividades mais frequentes estimadas com base em ensaios de bombagem e caudais específicos de 62 dados, situam-se entre 40 e 60 m<sup>2</sup>/dia (Duque 1997).

De acordo com a avaliação da recarga aquífera obtida por balanço hídrico sequencial diário e por balanço de cloretos (Paralta, 2001; Paralta *et al.*, 2003), a recarga do Sistema Aquífero dos Gabros de Beja será na ordem dos 10 a 20% da precipitação média anual, maioritariamente concentrada entre Janeiro e Março/Abril, para anos hidrológicos normais.

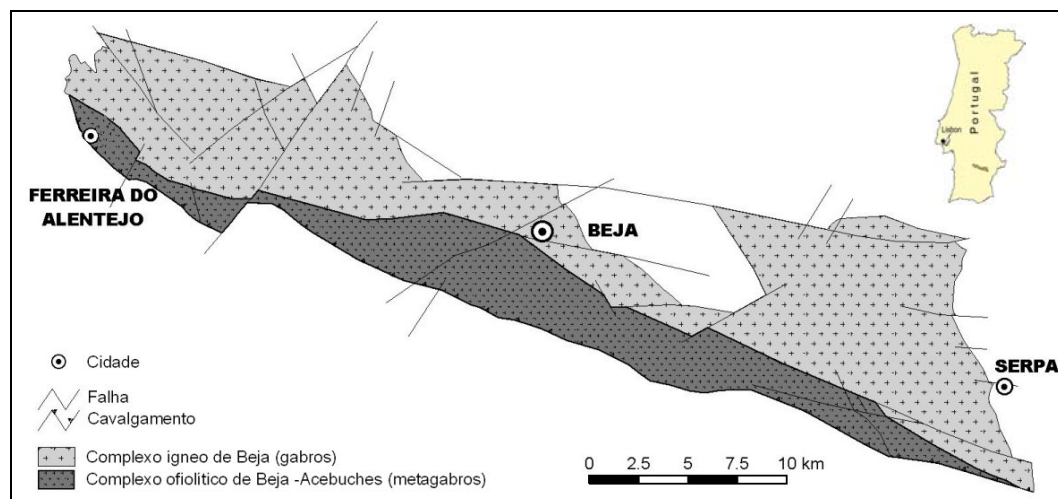


Figura 1 – Enquadramento geográfico dos Sistema Aquífero dos Gabros de Beja.

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  $\mu$ S/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, magnésio, etc.

Relativamente à aptidão para uso agrícola, as águas provenientes do SA dos Gabros de Beja pertencem maioritariamente às classes C<sub>2</sub>S<sub>1</sub> e C<sub>3</sub>S<sub>1</sub>, ou seja, 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 (CaCO<sub>3</sub>) pelo que provocam depósitos e incrustações, tanto nos terrenos regados, como nas condutas de distribuição de água.

### 3 – AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE À POLUIÇÃO DO S. A. DOS GABROS DE BEJA

Por vulnerabilidade entende-se a maior ou menor capacidade de atenuação das camadas superiores do aquífero à passagem dos poluentes. Trata-se, portanto, de uma propriedade intrínseca do sistema hidrogeológico.

A noção de vulnerabilidade específica deverá ser utilizada sempre que se considera também as propriedades de um poluente específico e as suas relações com as componentes de vulnerabilidade intrínseca.

Quanto ao risco ele pode ser definido como sendo a probabilidade que determinado cenário de contaminação ocorra acima de valores limites pré-estabelecidos, tomando em conta a vulnerabilidade da área estudada.

O interesse de avaliar o grau de vulnerabilidade das diversas formações aquíferas decorre fundamentalmente da necessidade de fornecer às autoridades competentes um instrumento que seja útil nas tomadas de decisão ao nível do planeamento e ordenamento do território.

Nesse sentido a ferramenta será mais preventiva, visando mais a protecção do recurso hídrico subterrâneo, do que a recuperação do aquífero poluído.

De uma maneira geral, não existe nenhuma forma satisfatória de representar a vulnerabilidade dos aquíferos. De facto, não é possível representar num único mapa, sobretudo de pequena escala, todos os parâmetros geológicos, hidrogeológicos e hidroquímicos que exercem algum controlo sobre o comportamento dos contaminantes. Cada grupo de contaminantes é afectado por inúmeros factores que incluem o tipo e a espessura do solo, as características e a espessura da zona não saturada, a taxa de recarga, as características do aquífero, etc.

Assim, recorre-se frequentemente a índices que sintetizam a influência de um conjunto de factores que, directa ou indirectamente, contribuem para avaliar a vulnerabilidade dos aquíferos.

Apresenta-se de seguida uma abordagem da vulnerabilidade aquífera do SA dos Gabros de Beja com base em índices empíricos, semi-empíricos e qualitativos descritos na bibliografia nacional e internacional para efeitos comparativos entre si e de análise crítica da Rede de Monitorização instalada pela CCDR/Ambiente.

De referir que algumas destas metodologias, nomeadamente o Índice DRASTIC (Aller *et al.*, 1987) e o Índice EPPNA (1998) estiveram na base da cartografia da vulnerabilidade aquífera dos Planos de Bacia Hidrográfica e do Plano Nacional da Água.

#### 3.1 - Método DRASTIC

O método DRASTIC de avaliação e mapeamento da vulnerabilidade foi proposto por Aller *et al.*, (1987). Exemplos de aplicação do método DRASTIC a casos particulares de estudo em áreas afectadas pela poluição agrícola no Alentejo, Ribatejo e Algarve estão descritos em Paralta & Francés (2000), Paralta *et al.*, (2001) e Stigter *et al.*, (2005), respectivamente.

O índice de vulnerabilidade DRASTIC corresponde ao somatório ponderado dos 7 parâmetros ou indicadores hidrogeológicos segundo a seguinte expressão:

$$\text{DRASTIC} = 5 \times D + 4 \times R + 3 \times A + 2 \times S + 1 \times T + 5 \times I + 3 \times C$$

Cada um dos 7 parâmetros DRASTIC é dividido quer em escalas quer em tipos de meios significativos que condicionam o potencial de poluição. O índice pode variar entre 23 (pouco vulnerável) e 226 (muito vulnerável).

Para a determinação do Índice DRASTIC segundo uma malha de 250x250 m, foram seguidos os seguintes critérios:

Quadro 1 – Parâmetros do método DRASTIC para o Sistema Aquífero dos Gabros de Beja

Parâmetro (Ponderador)	Classe DRASTIC	Índice
D - Profundidade do topo do aquífero (5)	Variável (<1,5 a 15,2 m)	5 / 7 / 9 / 10
R - Recarga (4)	51 - 102 mm/ano	3
A - Material do aquífero (3)	Rocha metamórfica/ígnea alterada	4
S - Tipo de solo (2)	Variável	Variável
T - Topografia (1)	Modelo Digital de Terreno (MDT)	1 a 10
I - Impacto da zona não saturada (5)	Rocha metamórfica/ígnea	4
C - Condutividade hidráulica (3)	< 4,1 m/dia	1

A cada malha do modelo 250x250 m corresponde um valor obtido da média ponderada dos parâmetros referidos, segundo a sua importância relativa. O processamento foi realizado em SIG (ArcView 3.2®).

O índice DRASTIC para o SA dos Gabros de Beja varia entre 91 e 127 com a maior parte da área (80%) incluída na classe 3 (100 a 119), o que representa uma vulnerabilidade baixa (Fig. 2).

O índice determinado é independente da carga poluente. No caso de se pretender determinar o risco de uma área à contaminação é necessário considerar igualmente o tipo de cargas poluentes, intensidade de aplicação e persistência do contaminante, no caso de estudo representado pelos fertilizantes azotados e pesticidas.

### 3.2 - Método DRASTIC PESTICIDE

Este método é derivado do precedente. Foram apenas modificados os factores de ponderação atribuídos aos parâmetros DRASTIC tendo em conta os processos de atenuação dos pesticidas nos solos e na zona vadosa (Aller *et al.*, 1987).

A ponderação é a que se indica no Quadro 2.

Quadro 2 – Ponderadores e ponderadores do método DRASTIC PESTICIDE

Parâmetro	D	R	A	S	T	I	C
Ponderador	5	4	3	5	3	4	2

O índice DRASTIC PESTICIDE para a área de estudo varia entre 101 e 172, com 82% da área do modelo incluída na classe 4 (120 a 139), o que representa uma vulnerabilidade baixa a média, relativamente à contaminação dos aquíferos freáticos a partir da aplicação de pesticidas na agricultura (Fig. 3).

### 3.3 - Índice de Susceptibilidade

O Índice de Susceptibilidade (IS), pretende avaliar a vulnerabilidade específica em zonas agrícolas e foi desenvolvido no Projecto ERHSA (Ribeiro, 2000), a que se seguiram diversas aplicações (Francês *et al.*, 2001; Paralta *et al.*, 2001, etc). Inspira-se no método DRASTIC sendo calculado a partir

da soma ponderada de alguns parâmetros comuns: profundidade do nível freático (D), a taxa anual de recarga (R), a natureza litológica do aquífero (A), a topografia (T) e o tipo de ocupação do solo (OS). Os pesos atribuídos a cada parâmetro foram modificados em relação ao método DRASTIC depois da consulta de técnicos e especialistas em Hidrogeologia (Ribeiro, 2005). Os ponderadores estão descritos no Quadro 3.

O valor final do Índice de Susceptibilidade varia entre 0 e 100 %.

Quadro 3 - Parâmetros e ponderadores do IS

Parâmetro	D	R	A	T	OS
Ponderador	0,186	0,212	0,259	0,121	0,222

A Ocupação do Solo (OS) foi obtido a partir de informação de satélite disponibilizada pelo CNIG (Corine Land-Cover, 1985/1987) tendo sido definidas as classes e os respectivos índices para cada tipo de ocupação do solo através de processamento em SIG (ArcView 3.2®).

Na área do modelo a ocupação agrícola maioritária, era a monocultura extensiva de trigo (70%), o olival (14%), produções agroflorestais diversas (3,5%) e ainda algum matagal (3%), áreas urbanas (2%) etc.

O resultado final da aplicação do IS para a área do SA dos Gabros de Beja, com base no Corine Land-Cover de 1985/1987 varia entre 33% e 67%, com a maior parte da área (58%) incluída na classe 55% a 65%, que representa uma susceptibilidade média e ainda 29% incluídos na classe de 65% a 75 % de média-alta susceptibilidade (Fig. 4).

Actualmente, a ocupação do solo processa-se no sentido da substituição das áreas tradicionais de cereais de sequeiro por regadio (olival, beterraba, girassol, algodão etc), pelo que será necessário actualizar a cartografia do IS com base em novos dados culturais. As últimas informações obtidas junto de várias entidades agrárias de Beja indicam que as áreas de regadio ocupam já cerca de 10 % da área do SA dos Gabros de Beja.

### 3.4 - Índice AVI

O índice de vulnerabilidade de aquífero (Aquifer Vulnerability Index) foi proposto por Van Stempvoort *et al.*, (1993), e baseia-se unicamente em dois parâmetros:

- a) espessura de cada camada  $j$  acima do aquífero superior ( $E_j$ ),
- b) condutividade hidráulica estimada em cada camada ( $K_j$ )

O factor teórico é definido por:

$$c = \sum_j E_j / K_j, \text{ para as camadas } 1 \text{ a } j \quad (1)$$

que representa a resistência de um aquífero ao fluxo vertical, em unidades [ T ] e significa o tempo aproximado da passagem de um poluente por advecção através das diferentes camadas aquíferas.

O valor  $c$  ou o seu logaritmo são utilizados para produzir cartas de isoresistência definindo classes de magnitude de vulnerabilidade (Quadro 4).

Este índice está vocacionado para sistemas multicamada, compostos por sucessivos aquíferos, mas pode, por simplificação, ser aplicado a um sistema freático, admitindo apenas 1 camada (espessura da zona vadosa).

Quadro 4 - Classes de vulnerabilidade segundo a metodologia AVI

c (anos)	Log c	Vulnerabilidade
0 a 10	< 1	Extremamente alta
10 a 100	1 a 2	Alta
100 a 1000	2 a 3	Moderada
1000 a 10000	3 a 4	Baixa
>10000	>4	Extremamente baixa

(in Ribeiro, 2001)

Com base no conhecimento actual das propriedades hidráulicas dos solos de Barros Pretos e da zona vadosa ( $K < 0.5$  m/dia) e entrando com a espessura da zona vadosa, que se situa entre 1 e 15 metros (nos interflúvios mais pronunciados), o sistema pode ser modelado como sendo apenas uma camada. Obtém-se intervalos de valores extremos para o Índice AVI entre 2 e 1 500 anos correspondente a vulnerabilidade baixa a extremamente alta, com a maior parte do aquífero na classe moderada a extremamente alta ( $1 < \log c < 2,7$ ) ou seja 10 a 500 anos.

### 3.5 - Índice GOD

No método GOD, desenvolvido por Foster (1987) são considerados 3 parâmetros:

- Groundwater occurrence – Ocorrência de água subterrânea
- Lithology of the Overlying layers – Litologia das camadas superiores
- Depth of groundwater - profundidade do nível freático

O cálculo do seu valor resulta de um conjunto de operações sequenciais definidas em Foster (1987). Primeiramente selecciona-se o parâmetro G (tipo de aquífero), multiplicando-se em seguida pelo valor atribuído ao parâmetro O (litologia). O resultado desta operação será multiplicado finalmente pelo valor atribuído a D. Esses valores serão divididos em 5 classes a que correspondem graus de vulnerabilidade diferentes (Quadro 5).

Quadro 5 – Índices GOD e classes de vulnerabilidade

Índice GOD	Grau de vulnerabilidade
0,7 – 1,0	Extrema
0,5 – 0,7	Alta
0,3 – 0,5	Moderada
0,1 – 0,3	Baixa
0,0 – 0,1	Desprezável

Obtém-se para o SA dos Gabros de Beja valores de índice GOD entre 0,2 e 0,4 correspondentes às classes de vulnerabilidade baixa a moderada.

### 3.6- Índice EPPNA

A avaliação da vulnerabilidade de um aquífero à poluição pode também ser realizada a partir de metodologias qualitativas, baseadas nas características litológicas dos aquíferos ou das formações hidrogeológicas.

A cartografia da vulnerabilidade à poluição segundo critérios litológicos foi realizada segundo o método apresentado no documento "Informação Cartográfica dos Planos de Bacia. Sistematização das Figuras e Cartas a Imprimir em Papel" da autoria da Equipa de Projecto do Plano Nacional da Água, versão de Outubro de 1998.

Este método considera oito classes de vulnerabilidade que se descrevem no Quadro 6.

Quadro 6 - Classes de vulnerabilidade segundo critérios litológicos (EPPNA, 1998)

Classe	Tipo de aquífero	Risco
V1	Aquíferos em rochas carbonatadas de elevada carsificação	Alto
V2	Aquíferos em rochas carbonatadas de carsificação média a alta	Médio a Alto
V3	Aquíferos em sedimentos não consolidados com ligação hidráulica com a água superficial	Alto
V4	Aquíferos em sedimentos não consolidados sem ligação hidráulica com a água superficial	Médio
V5	Aquíferos em rochas carbonatadas	Médio a baixo
V6	Aquíferos em rochas fissuradas	Baixo a variável
V7	Aquíferos em sedimentos consolidados	Baixo
V8	Inexistência de aquíferos	Muito baixo

Esta abordagem apresenta algumas vantagens relativamente aos métodos empíricos uma vez que permite incorporar o conhecimento de inúmeras variáveis hidrogeológicas e do comportamento das principais formações para gerar classes de vulnerabilidade correspondentes a um determinado nível de risco.

O presente caso de estudo do aquífero dos Gabros de Beja enquadra-se na classe de vulnerabilidade V6 (Risco Baixo a Variável).

Conclui-se, portanto, que, de acordo com diferentes metodologias empíricas e critérios hidrogeológicos, o SA dos Gabros de Beja, classifica-se, como área de vulnerabilidade baixa a extremamente alta à poluição agrícola (Quadro 7).

Quadro 7- Análise comparativa da Vulnerabilidade do SA dos Gabros de Beja

Avaliação da Vulnerabilidade Aquífera	Referência	Tipo de Índice	Classe dominante	Classificação da Vulnerabilidade
Índice DRASTIC	Aller <i>et al.</i> , 1987	numérico	100-119	baixa
Índice DRASTIC PESTICIDE	Aller <i>et al.</i> , 1987	numérico	120-139	baixa a média
Índice de Susceptibilidade	Ribeiro, 2000	numérico	65% - 75%	média-alta
Índice AVI	Van Stempvoort <i>et al.</i> , 1993	numérico	1 a 2,7	moderada a extremamente alta
Índice GOD	Foster, 1987	numérico	0,2 a 0,4	baixa a moderada
Critérios Litológicos	EPPNA, 1998	qualitativo	V6	Risco baixo a variável

As figuras relativas aos mapas de vulnerabilidade obtidas a partir do método DRASTIC, DRASTIC PESTICIDE e Índice de Susceptibilidade estão representados nas figuras 1 a 3, respectivamente.

Os mapas relativos à parametrização espacial do índice AVI e do índice GOD serão oportunamente apresentados durante a exposição oral por falta de espaço na comunicação escrita.



Figura 2 – Mapa DRASTIC para o Sistema Aquífero dos Gabros de Beja.



Figura 3 – Mapa DRASTIC PESTICIDE para o Sistema Aquífero dos Gabros de Beja.

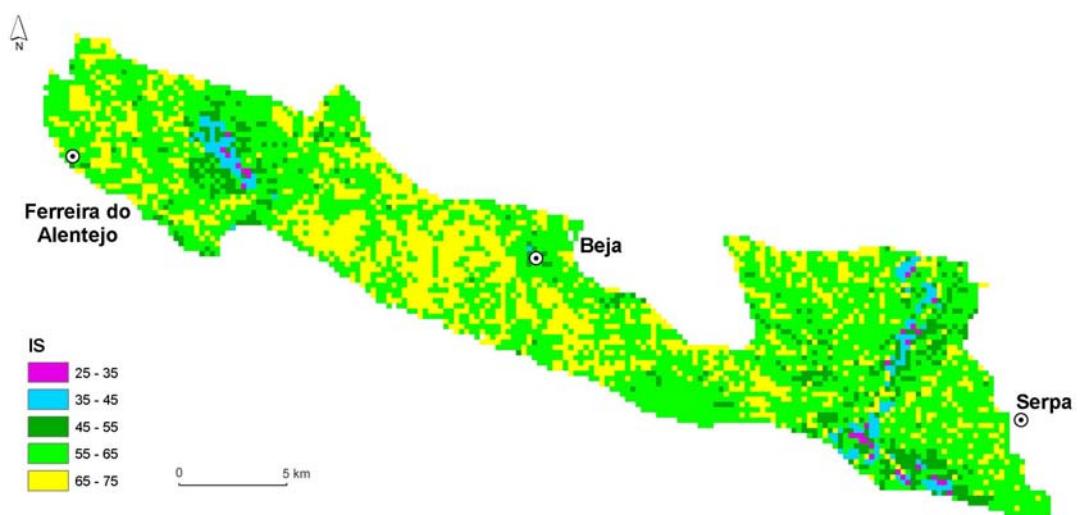


Figura 4 – Mapa do Índice de Susceptibilidade para o Sistema Aquífero dos Gabros de Beja.

### 3 – RECOMENDAÇÕES DA DIRECTIVA QUADRO DA ÁGUA

A Directiva 2000/60/CE da Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro de 2000 estabelece um quadro de acção comunitária no domínio da política da água (JOC L 327 de 22.12.2000) em que se determina que os Estados-Membros da CE devem assegurar os seguintes objectivos gerais:

- Prevenir a deterioração, melhorar e restaurar um bom estado químico e ecológico das massas de água superficiais, bem como reduzir a poluição proveniente das descargas e emissões de substâncias perigosas;
- Proteger, melhorar e restaurar as águas subterrâneas, prevenir a sua poluição e deterioração e assegurar um equilíbrio entre a sua captação e renovação;
- Preservar as zonas protegidas.

Os objectivos indicados deverão ser atingidos quinze anos após a data de entrada em vigor da directiva (i.e. em 2015). Refere-se ainda que “dois anos após a entrada em vigor da directiva, a Comissão publicará uma proposta com medidas específicas de prevenção e controlo da poluição das águas subterrâneas”.

Em especial no que respeita às águas subterrâneas, a Directiva Quadro da Água é muito clara em definir:

- “cada Estado-Membro garantirá que, em relação a cada região hidrográfica ou secção de uma região hidrográfica internacional, se realizará um estudo do impacto da actividade humana sobre o estado das águas de superfície e sobre as águas subterrâneas, que deverão estar concluídos, o mais tardar, quatro anos a contar da data de entrada em vigor da presente directiva” (artº 5º, ponto 1);
- “os Estados-Membros devem assegurar controlos dos impactes difusos incluindo, sempre que necessário, as melhores práticas ambientais previstas na Directiva 91/676/CEE do Conselho de 12 de Dezembro de 1991 contra a poluição causada por nitratos de origem agrícola” (artº 10º, ponto 2, alínea c);
- “os Estados-Membros fixarão as sanções a aplicar em caso de infracção ... devem ser eficazes, proporcionadas e dissuasivas” (artº 23º).

Em Anexos à Directiva Quadro surgem um conjunto de quadros e tabelas que sistematizam os procedimentos a efectuar e clarificam os termos aplicados no texto da directiva.

Assim, no Anexo II indicam-se o conjunto de estudos que deverão presidir à caracterização das massas de água subterrânea, como sejam:

- caracterização das massas de água subterrâneas (aquíferos);
- avaliação da vulnerabilidade;
- avaliação da qualidade das águas subterrâneas;
- avaliação do impacto das actividades humanas  
etc,

No Anexo V indica-se o tipo de parâmetros a monitorizar, frequência da monitorização e a organização das redes de monitorização do estado quantitativo e químico das águas subterrâneas.

Segundo a Directiva, “a rede de monitorização será concebida de modo a proporcionar uma panorâmica coerente e completa do estado químico das águas subterrâneas em cada bacia hidrográfica, bem como detectar a presença de tendências a longo prazo, antropogenicamente induzidas, para o aumento da concentração de poluentes”.

### 3 – REDES DE MONITORIZAÇÃO DO S. A. DOS GABROS DE BEJA

Há vários anos que o Instituto da Água, por intermédio das direcções regionais, tem vindo a operar uma rede de monitorização de qualidade da água subterrânea nos Sistema Aquífero dos Gabros de Beja, que tem sido usada como indicador para avaliação da qualidade do aquífero, em especial no que respeita à poluição difusa.

Actualmente a CCDRALentejo/Ambiente é responsável por uma rede de monitorização de referência da qualidade geral (parâmetros físico-químicos maiores e alguns metais) formada por 9 estações que iniciaram actividade em 2000 e por uma rede de monitorização específica da poluição difusa (i.e. nitratos) que iniciou actividade em Outubro 2002 e que abrange mais 23 origens.

A frequência de amostragem da rede de referência da qualidade (rede geral) é anual para a maioria dos parâmetros e semestral para os nitratos e a frequência da rede específica dos nitratos é igualmente semestral.

A figura 5 indica a distribuição espacial das estações de amostragem de qualidade e das estações de controle da poluição difusa que complementam a rede de qualidade.

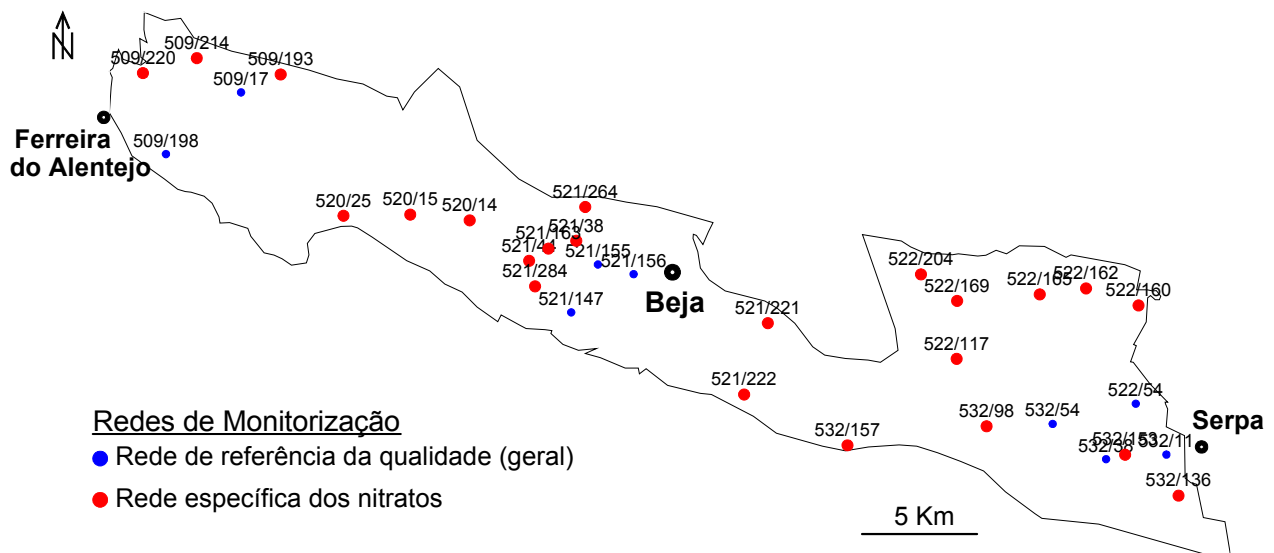


Figura 5– Redes de monitorização do Sistema Aquífero dos Gabros de Beja.

Constata-se que a rede de referência da qualidade tem uma densidade de amostragem na ordem de 1 estação/40 km<sup>2</sup> e que a rede específica tem uma cobertura de 1 estação/11 km<sup>2</sup>. Dado que o sistema hidrogeológico é relativamente homogéneo, a Rede de Referência da Qualidade deverá ser suficiente.

Quanto à Rede Específica (i.e. nitratos), a sua representatividade espacial depende das condições agro-ecológicas em que se insere e das alterações do uso do solo provocadas pela recente tendência de substituição da agricultura de sequeiro por regadio.

O quadro 8 resume os principais indicadores estatísticos da rede de monitorização (geral e específica), a operar no Sistema Aquífero dos Gabros de Beja, desde o Verão de 2000.

Quadro 8 - Indicadores estatísticos da rede de monitorização do SA dos Gabros de Beja relativamente aos nitratos

Campanhas	Nº de estações	Nitratos (mg/L)				
		Mínimo	Mediana	Média	Máximo	Desvio Padrão
Jul / Ago 2000	9	53	67	75	110	20
Out / Nov 2000	9	40	64	60	87	16
Mai / Jun 2001	10	31	56	58	86	16
Maio 2002	9	38	52	54	78	13
Outubro 2002	36	13	52	71	206	47
Abril 2003	32	18	66	78	219	41
Outubro 2003	27	30	66	75	213	39
Maio 2004	27	30	74	85	373	64
Novembro 2004	26	29	66	70	136	26

Ao nível da análise de tendências temporais, as séries disponíveis não permitem ainda uma análise robusta das tendências (teste de ANOVA, Mann-Kendall etc), tal como recomendado pelo documento técnico da DQA (WFD-GW, 2001), dado que o número mínimo de registos ainda não foi atingido:

- medições anuais = 8 anos (8 valores)
- medições semestrais = 5 anos (10 valores)
- medições trimestrais = 5 anos (mínimo de 15 valores)

No caso de séries temporais longas, recomenda-se também que a análise de tendências seja realizada sobre os últimos 15 anos de cada série.

Não obstante a ausência de registos semestrais durante 5 anos consecutivos (10 valores), realizou-se uma análise de tendências por regressão linear sobre 8 estações de qualidade que dispõem entre 8 e 9 registos de nitratos desde o Verão de 2000 até finais de 2004, no sentido de concluir sobre a tendência inter-anual de evolução dos nitratos nas origens consideradas (Quadro 9).

Quadro 9 – Evolução temporal do teor em nitratos em 8 estações de monitorização do SA dos Gabros de Beja entre Julho 2000 e Novembro de 2004

Estações	Nº de medições	Nitratos (mg/L)					Tendências
		Mínimo	Mediana	Média	Máximo	Amplitude inter-anual	
509/17	9	35	45	47	58	23	ligeira descida
509/198	9	37	52	51	66	29	ligeira subida
521/147	9	24	50	48	58	34	estacionária
521/155	9	38	49	48	63	25	ligeira descida
521/156	9	48	70	68	74	26	ligeira descida
532/11	9	50	64	68	90	40	estacionária
532/38	9	48	86	79	110	62	descida
532/54	8	41	61	62	98	57	descida

Uma análise dos indicadores estatísticos dos quadros 8 e 9 indicam que os valores de poluição difusa por nitratos se situam na maioria das estações acima do valor paramétrico de 50 mg/L e que os registos no final da estação húmida (Abril 2003 e Maio 2004) são em média 20% mais elevados que no início (Outubro).

Relativamente às tendências sazonais observadas em 8 estações que possuem entre 8 e 9 registos de nitratos desde o Verão de 2000, verifica-se uma tendência geral de descida, embora ligeira, não havendo evidências de subida em nenhuma dessas origens.

Segundo Ribeiro *et al.* (1999), a implementação das Redes de Monitorização deve desenvolver-se segundo as seguintes etapas:

- a) Inventário hidrogeológico;
- b) Definição da rede de monitorização de referência (rede geral);
- c) Avaliação das principais acções antropogénicas que influenciam os sistemas aquíferos;
- d) Avaliação da representatividade no domínio espaço – temporal das redes piezométricas;
- e) Análise da representatividade no domínio espaço – temporal das redes de qualidade da água subterrânea;
- f) Optimização das redes de referência com selecção de novos pontos de amostragem ou omissão de outros, bem como, selecção do conjunto de parâmetros a monitorizar assim como da frequência de amostragem;
- g) Mapeamento temático das tendências sazonais detectadas nas séries disponíveis;
- h) Classificação preliminar dos piezómetros e das estações de qualidade com base em padrões temporais semelhantes.

Importa referir que as redes de monitorização são dinâmicas, pelo que, os pontos a monitorizar, periodicidade e parâmetros a analisar devem ser ajustados de acordo com os resultados obtidos.

De acordo com o conhecimento hidrogeológico e/ou a ocupação do solo pode revelar-se a necessidade de aumentar ou diminuir a densidade da rede de monitorização.

#### **4 – CONCLUSÕES**

De acordo com diferentes metodologias empíricas e critérios hidrogeológicos, o SA dos Gabros de Beja, classifica-se, como área de vulnerabilidade baixa a extremamente alta à poluição agrícola.

A validação dos métodos empíricos com os registos da monitorização revela que apesar de algumas metodologias apontarem para baixa vulnerabilidade, as práticas agrícolas acumuladas durante o século XX foram responsáveis pela contaminação generalizada do Sistema Aquífero dos Gabros de Beja por nitratos de origem agrícola.

Estudos posteriores e mais rigorosos deverão indicar qual a metodologia de avaliação da vulnerabilidade que melhor se ajusta às condições hidrogeológicas e agro-climáticas dos Gabros de Beja, no sentido de obter mapas de risco à poluição credíveis que sirvam como ferramenta de planeamento e apoio à decisão dos gestores da Zona Vulnerável.

As redes de monitorização actualmente em funcionamento, relativamente aos aspectos de controle sazonal da poluição difusa por nitratos dispõem de 32 estações e iniciaram actividade no Verão de 2000, não dispondo ainda de informação suficiente para uma análise de tendências robusta.

A maioria das estações regista valores de nitratos acima do valor paramétrico de 50 mg/L e as tendências sazonais observadas em 8 estações que possuem entre 8 e 9 registos de nitratos desde o Verão de 2000, indica uma tendência geral de descida, embora ligeira.

Será necessário continuar um programa de monitorização pelo menos semestral (preferencialmente trimestral) e manter uma densidade de amostragem das águas subterrâneas especialmente direccionada para as zonas consideradas mais sensíveis na avaliação da vulnerabilidade e com elevados teores de nitratos.

A estrutura espacial da rede de monitorização é fundamental na determinação da incerteza da ocorrência de nitratos, de forma a permitir que essa variável possa ser modelizada através de abordagens não paramétricas, no domínio da Geoestatística. Os modelos estocásticos (cartas de isoprobabilidade) são particularmente ajustados aos problemas de poluição, em que é normal a ocorrência de valores anómalos.

Para a elaboração pormenorizada de cartografia digital das áreas de risco deverão ser igualmente considerados os aspectos de ocupação do solo, a partir de cadastro actualizado, e incorporada a informação relativa às dotações médias de fertilizantes e pesticidas, bem como dos volumes de água e eficiência dos sistemas de rega das culturas dominantes e alternativas.

Afigura-se urgente a transposição das directivas comunitárias para a protecção integrada dos recursos hídricos subterrâneos e a adopção e aplicação efectiva do Código de Boas Práticas Agrícolas, que constituem ferramentas indispensáveis para inverter a situação de poluição difusa e seguir no sentido de atingir o bom estado químico e ecológico dos aquíferos até 2015, como recomendado na DQA.

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 actividades humanas.

A avaliação das condições hidrogeológicas, da vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas e a análise dos impactes das actividades humanas relacionadas com as alterações de uso do solo e o incremento do regadio são essenciais para a implementação dos planos de gestão ambiental e das respectivas redes de monitorização (geral e específica).

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores manifestam o seu agradecimento ao Dr. André Matoso e à Eng. Alice Fialho da CCDR Alentejo/Ambiente, pela disponibilização de informação e esclarecimento de dúvidas sobre o funcionamento da rede de monitorização a operar no Sistema Aquífero dos Gabros de Beja.

## **NOTA DO AUTOR**

O primeiro autor é bolseiro de doutoramento da Fundação para a Ciência e a Tecnologia do MCES e desenvolve a sua investigação no CVRM/Instituto Superior Técnico (Instituição que Confere o Grau) e no INETInovação/Instituto Geológico e Mineiro/ (Instituição de Acolhimento). Os trabalhos tem sido apoiados pelo projecto POCTI/AGG/47223/2002 "Utilização de Isótopos de Azoto na Avaliação do Impacte da Agricultura na Qualidade da Água Subterrânea".

## **BIBLIOGRAFIA**

- ALLER, L., BENNET, T., LEHR, J.H. & PETTY, R. J. (1987) - DRASTIC: a standartized system for evaluating groundwater pollution potencial using hydrogeologic settings. U.S. EPA Report 600/2-85/018, 1987.
- DUQUE, J. M. (1997) – Caracterização hidrogeológica e modelação matemática do aquífero dos Gabros de Beja. Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Lisboa, 210 pp.

- EPPNA (1998) - Informação Cartográfica dos Planos de Bacia. Sistematização das Figuras e Cartas a Imprimir em Papel. Equipa de Projecto do Plano Nacional da Água, versão de Outubro de 1998, 29 pp., Lisboa.
- FOSTER S.S.D. (1987) – "Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy", in W. van Duijvenbooden and H.G. van Waegeningh (eds.), Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollution, Proceedings and Information No. 38 of the International Conference held in the Netherlands, in 1987, TNO Committee on Hydrological Research, Delft, The Netherlands., Proc. 38: 69-86.
- FRANCÉS, A., PARALTA, E., FERNANDES, J. & RIBEIRO, L. (2001) – Development and application in the Alentejo region of a method to assess the vulnerability of groundwater to diffuse agriculture pollution: the susceptibility index. 3rd International Conference on Future Groundwater Resources at Risk, Unesco/IAH, Lisbon, 2001, 9 p.
- NUNES, L. M.; PARALTA, E.; CUNHA, M. C. & RIBEIRO, L. (2004) - Groundwater nitrate monitoring network optimisation with missing data. Water Resources Research Vol. 40, W02406, doi:10.1029/2003WR002469, 2004.
- PARALTA, E. & FRANCÉS, A. (2000) - Caracterização hidrogeológica e avaliação da vulnerabilidade à poluição do complexo gabro-diorítico de Serpa-Brinches (sector oriental do sistema aquífero dos Gabros de Beja). GeoNovas, Revista da Associação Portuguesa de Geólogos, nº14, pp 27-35, Porto.
- PARALTA, E. & RIBEIRO, L. (2000) - Análise variográfica e cartografia de risco da contaminação por nitratos na região de Beja. Revista da Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, vol. 21, nº3, pp. 47-58, Lisboa.
- 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.; OLIVEIRA, M.; LUBCZYNSKI, M. & RIBEIRO, L. (2003) – Avaliação da recarga do Sistema Aquífero dos Gabros de Beja segundo critérios múltiplos – disponibilidades hídricas e implicações agro-ambientais. Publicações do VI Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa (SILUSBA), Vol. 2. Cabo-Verde, Praia, 10 a 13 de Novembro de 2003, 501-516 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). Publicações/CD do 7º Congresso da Água, Lisboa, 8-12 de Março de 2004, 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). Publicações/CD do 7º Congresso da Água, Lisboa, 8-12 de Março de 2004, 16 pp.
- PARALTA, E. & RIBEIRO, L. (2003) - Monitorização e Modelação Estocástica da Contaminação por Nitratos do Aquífero Gabro-diorítico na Região de Beja – Resultados, Conclusões e Recomendações. Publicações do Seminário sobre Águas Subterrâneas. APRH / LNEC, Lisboa, 27-28 de Fevereiro de 2003, Lisboa, 30 pp.
- PARALTA, E., OLIVEIRA, M. M., BATISTA, S. B., FRANCÉS, A., RIBEIRO, L. F. & CEREJEIRA, M. J. (2001) – Aplicação de SIG na Avaliação da Vulnerabilidade Aquífera e Cartografia da Contaminação Agrícola por Pesticidas e Nitratos na Região do Ribatejo. Publicações do Seminário "A Hidroinformática em Portugal", LNEC, Lisboa, 2001, 16 pp.
- RIBEIRO, L. (2000) – "Development of a susceptibility index to be used in agricultural diffuse pollution", internal report, 9p., ERSHA-CVRM, 2000.
- RIBEIRO, L. (2005) – Um novo índice de vulnerabilidade específico de aquíferos – formulação e aplicações. 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 (in press).
- STIGTER, T.Y., RIBEIRO, L. & CARVALHO DILL, A.M.M. (2005) - Evaluation of an intrinsic and a specific vulnerability assessment method in comparison with groundwater salinisation and nitrate contamination levels in two agricultural regions in the south of Portugal. DOI: 10.1007/s10040-004-0396-3. Journal of Hydrogeology (in press).
- SERRA, E.; PARALTA, E.; NASCIMENTO, J. & RIBEIRO, L. (2003) – Análise Comparativa de Dois Índices de Poluição Agrícola no Sistema Aquífero dos Gabros de Beja (Sector da Margem Esquerda do Rio Guadiana). Publicações das Jornadas Luso-Espanholas sobre Águas Subterrâneas no Sul da Península Ibérica. Faro, 23 a 27 de Junho de 2003, 11 pp.
- WFD-GW (2001) – Final Report " The EU Water Framework Directive: Statistical aspects of the identification of groundwater pollution trends, and aggregation of monitoring results. www.wfdgw.net . December 2001.
- VAN STEMPVOORT D.; EVERT L. & WASSENAAR L. (1993) – "Aquifer Vulnerability Index: A GIS compatible method for groundwater vulnerability mapping", Can Water Res J 18/1: 25-37.
- 2000/60/EC: Directiva Quadro da Água. JOC L 327 de 22 de Dezembro de 2000. Comissão Europeia, Bruxelas.