

EXCERTO DO RELATÓRIO TÉCNICO
Sistema Aquífero dos “Gabros de Beja”
(região ocidental de Beja)
(Agosto de 2000)

Eduardo Paralta

SISTEMA AQUÍFERO DOS GABROS DE BEJA

1 – Enquadramento Hidrogeológico

O sistema aquífero dos Gabros de Beja, prolonga-se entre Ferreira do Alentejo e Serpa, na margem esquerda do rio Guadiana.

A **figura 1** apresenta a classificação dos principais sistemas aquíferos identificados no Alentejo segundo Chambel & Duque (1999).

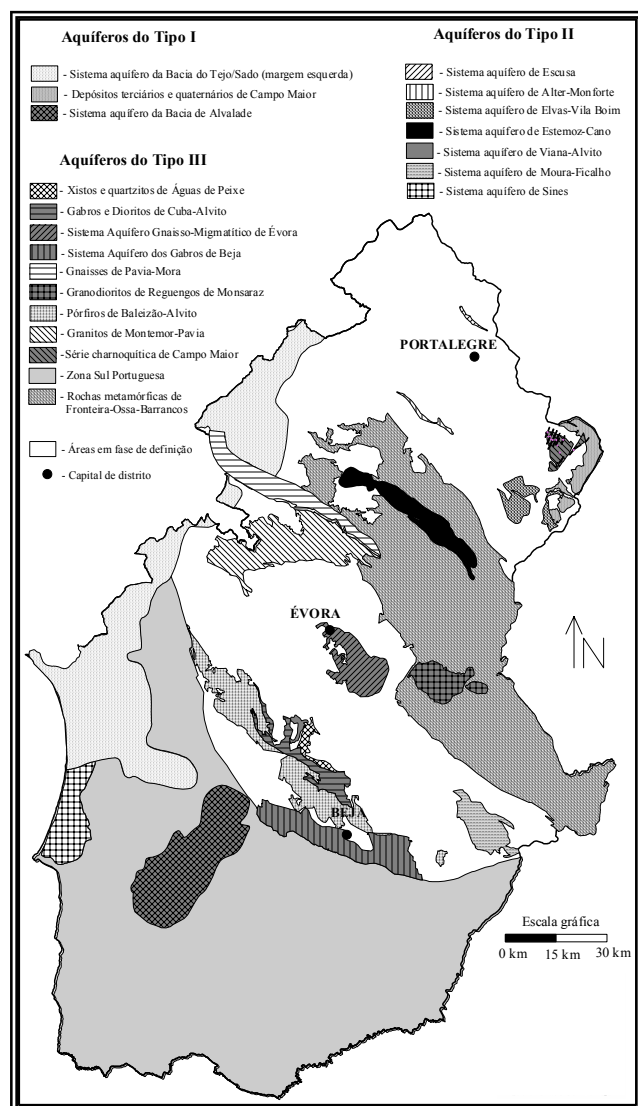


Figura 1 – Classificação dos Sistemas aquíferos do Alentejo, segundo Chambel & Duque (1999)

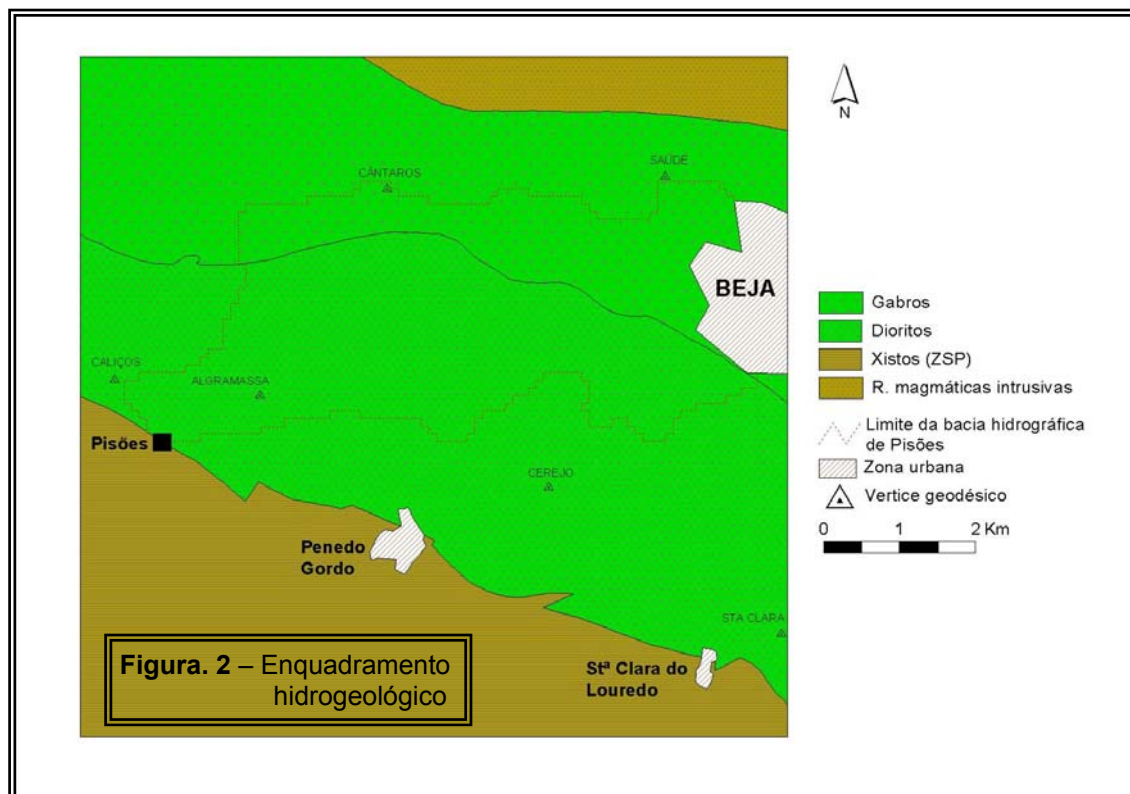
As formações gabro-dioríticas alteradas e fracturadas que constituem o sistema aquífero dos Gabros de Beja apresentam produtividades bastante regulares, quando comparados com outros aquíferos do Alentejo.

O aquífero dos Gabros de Beja é limitado a sul pelos aquíferos (descontínuos) da Zona Sul Portuguesa, constituídos por rochas xistosas fracturadas susceptíveis de, em condições estruturais favoráveis, suportar origem de abastecimento a populações.

A norte, o Sistema Aquífero dos Gabros de Beja contacta com o sector meridional do complexo de Pórfiros de Baleizão-Alvito, cujo potencial hidrogeológico está ainda em fase de avaliação (**figura 2**).

A oeste, o aquífero dos Gabros de Beja é limitado pela proximidade do sistema aquífero da Bacia de Alvalade, formado por coberturas sedimentares terciárias sub-horizontais possantes.

O mapa da **figura 2** representa as principais unidades hidrogeológicas da área de estudo, sendo que os gabros e dioritos se consideram em conjunto dadas as suas características hidráulicas e petrogenéticas serem semelhantes, fazendo parte do chamado sistema aquífero dos “Gabros de Beja”.



2 – Climatologia e Recursos Hídricos Subterrâneos

Em termos climáticos a região de Beja apresenta um clima mediterrâneo de influência oceânica 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 584 mm/ano (Estação Meteorológica de Beja, 1958-88, AGRIBASE, Min. da Agricultura).

Estação Meteorológica de Beja

- Latitude – 38° 1' N
- Longitude – 7° 52' W
- Altitude – 246 metros

A região caracteriza-se por um período quente e seco de 4 meses, entre Junho e Setembro em que praticamente não chove e por um período húmido de Outubro a Março que concentra 75% da precipitação anual (**figura 3**). O mês mais instável, pela irregularidade da precipitação é o mês de Abril (Feio, 1983).

MES	T	P	EVP	EVR	R
OUT	17.6	64.0	68.2	64.0	0.0
NOV	13.3	74.2	36.2	36.2	0.0
DEZ	10.0	84.0	22.7	22.7	0.0
JAN	9.6	81.6	22.0	22.0	58.9
FEV	10.3	78.9	21.8	21.8	57.1
MAR	11.8	60.2	37.5	37.5	22.7
ABR	13.8	56.3	50.2	50.2	6.1
MAI	16.6	36.8	78.8	78.8	0.0
JUN	20.8	22.2	111.4	80.2	0.0
JUL	23.6	2.4	143.7	2.4	0.0
AGO	23.8	3.1	136.6	3.1	0.0
SET	22.2	20.3	104.2	20.3	0.0
	16.1	584.0	833.4	439.3	144.7
Capacidade de campo= 100 reserva inicial= 0 reserva final= 0					
ESC. TOTAL = 144.7					
EVR (THORNT.)= 439.3 EVR (TURC)= 474.1 EVR (COUTAGNE)= 472.4					

Figura. 3 – Balanço hídrico sequencial mensal para a estação meteorológica de Beja (1958-1988)

Na **figura 3** apresentam-se os valores de evapotranspiração real (EVR) segundo os métodos de Thornwaite (EVR= 439.3 mm/ano), Turc (EVR=474.1 mm/ano) e Coutagne (EVR= 472.4 mm/ano) admitindo uma capacidade de campo de 100 mm (software CEGEVAP, Almeida, 1979).

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 3940 m³/ha.

Os recursos hídricos totais disponíveis anualmente (P-EVR) são de 144.7 mm, o que representa para a bacia de Pisões (20 km²) cerca de 2.9 x 10⁶ m³ /ano.

O balanço hídrico de água no solo com base nos dados de output apresentados na **figura 3** está representado na **figura 4**.

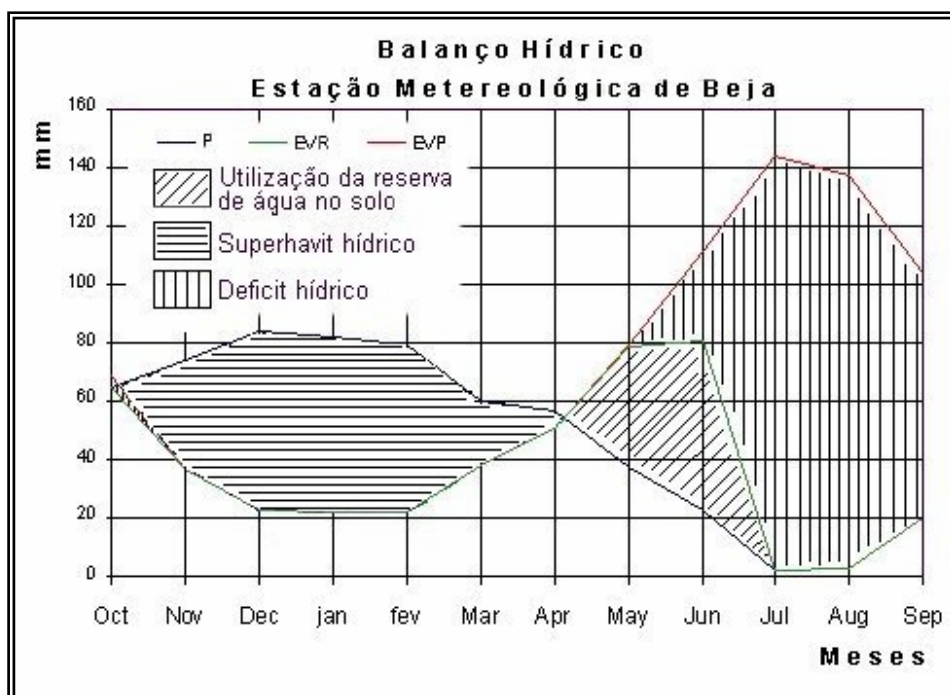


Figura 4 – Balanço hídrico de água no solo para a área de influência da estação meteorológica de Beja. Capacidade de campo de 100 mm

Segundo um estudo climático de Portugal de Casimiro Mendes & Bettencourt (1980) a área de influência da estação meteorológica de Beja (séries de 1931-1960) caracteriza-se por um clima sub-húmido seco, mesotérmico (2º grau), com déficit de água no Verão e eficiência térmica no Verão nula ou pequena.

2.1 – Avaliação da recarga do aquífero

Os recursos hídricos subterrâneos afectos ao complexo gabro-diorítico do sistema aquífero dos Gabros de Beja podem ser estimados a partir de várias metodologias, nomeadamente através do balanço de entradas (precipitação média anual) e saídas (extracções de água subterrânea contabilizadas) ou aplicando o balanço do ião cloreto.

◈ – Balanço do ião cloreto

A partir do valor das concentrações em cloreto da água da chuva (7 colheitas entre 1997 e 1998) e de 23 amostras de água do aquífero colhidas em Abril de 1998 (**tabela1**)

realizou-se o balanço do ião cloreto de acordo com expressão simplificada [1], como vem referido em Custódio & Llamas (1996).

Tabela 1 – Teor em cloretos no aquífero e na água da chuva

	Mínimo	Mediana	Máximo	n
Cloreto aquífero (mg/l)	13.0	40.0	153.0	23
Cloreto chuva (mg/l)	0.37	3.28	7.41	7

A expressão simplificada toma a forma:

$$I_e = I / P \cong C_p / C_i \quad [1]$$

em que,

I_e - infiltração eficaz

I – água de infiltração profunda (mm)

P – precipitação média anual (mm)

C_p – concentração em cloreto na água de precipitação

C_i - concentração em cloreto na água de infiltração profunda

Da aplicação desta metodologia resulta que a infiltração eficaz representa entre 3 a 8% da precipitação média anual ou seja $I_e = (0.03 \text{ a } 0.08) \times P$ (mm) .

Portanto os recursos hídricos subterrâneos renováveis teriam um valor entre 18 e 47 mm/ano. Para a bacia de Pisões (20 km²) obtém-se um valor possível de recarga anual entre 360 000 m³ e 940 000 m³ , respectivamente.

◆ Balanço de entradas e saídas

Nas 16 captações municipais de Beja eram captadas entre 4 000 a 5 000 m³ de água diariamente antes da entrada em funcionamento da albufeira do Rôxo, o que representa em termos médios 1 600 000 m³ de água subterrânea por ano, mesmo em épocas de estiagem.

A área de recarga ou zona de afluência das captações representa no total 20 km² (18 km² da bacia de Pisões + 2 km² de área contígua do sistema da Meia Légua) como vem indicado no mapa da **figura 57**.

Isto significa, em termos médios, que 1 km² do aquífero gabro-diorítico pode fornecer cerca de 80 000 m³ de água subterrânea por ano, embora este valor seja difícil de manter durante os meses de Verão e mais ainda após períodos plurianuais de seca.

Fazendo o balanço entre as extracções anuais de água subterrânea (1.6×10^6 m³) e a precipitação média anual na área considerada (11.7×10^6 m³) verifica-se que as extracções representam 14% da precipitação anual, valor este superior ao intervalo estimado pelo balanço do ião cloreto (3 a 8%). Não foram no entanto contabilizados os consumos da agricultura, pelo que os valores de produtividade aquífera apontados serão seguramente superiores.

A consulta de um relatório dos serviços de prospecção geofísica do exército alemão estacionado em Beja indica igualmente valores de recarga do sistema entre 10 e 20% que nos parece ser um intervalo bastante aceitável para a elaboração de cálculos das disponibilidades hídricas para uma gestão racional do sistema aquífero dos Gabros de Beja, na região de Beja.

Não são de excluir zonas de recarga preferencial ao longo de estruturas geológicas do tipo fractura ou falha como se julga acontecer em determinados troços da Ribeira da Chaminé, que drena a bacia hidrográfica de Pisões, embora esta hipótese careça de confirmação.

Dado que esta zona apresenta uma situação preocupante de contaminação por nitratos de origem agrícola poderia ser aplicado um reforço nas extracções para provocar uma recarga induzida (por abaixamento dos níveis freáticos) e simultaneamente uma melhoria das práticas agrícolas como forma de regeneração desta unidade de gestão aquífera.

3 – Caracterização da informação e inventário de pontos de água

A área para montante da bacia hidrográfica de Pisões constitui a reserva estratégica em água subterrânea da cidade de Beja. Actualmente, o abastecimento público depende maioritariamente da albufeira do Rôxo, reforçado pontualmente pelas captações camarárias. Durante a época estival, a redução do volume de água armazenado na albufeira e fenómenos de eutrofização frequentes, obrigam a recorrer exclusivamente às captações instaladas na área em estudo.

As actividades desenvolvidas na Bacia de Pisões e áreas limítrofes beneficiam de variada informação em arquivo no Departamento de Hidrogeologia do Instituto Geológico e Mineiro, nomeadamente trabalhos de Vieira da Silva (1984) e Augusto M. da Costa (1986/87). A cartografia geológica foi gentilmente cedida pela delegação do IGM de Beja (ex-Serviço de Fomento Mineiro).

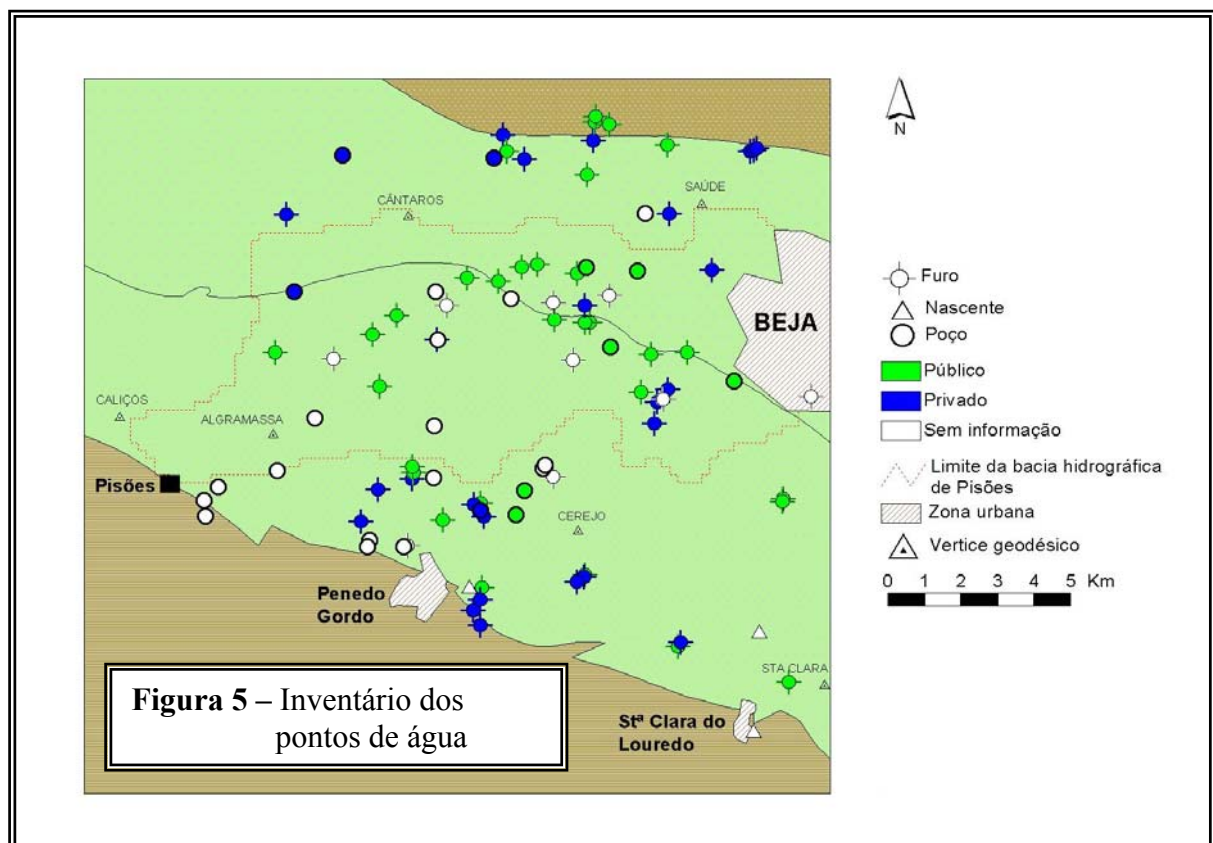
O inventário de pontos de água para o sector ocidental de Beja identifica 94 origens de acordo com a **tabela 2**.

Tabela 2 – Inventário hidrogeológico

Ponto de Água	Furo	Poço	Nascente
94	65	26	3

A informação referente aos pontos de água inventariados encontra-se disponível nas tabelas das bases de dados do SNIRH do Instituto da Água e da DRA Alentejo.

Do total inventariado, 36 constituiram pesquisas de captação públicas, sendo as restantes do domínio privado como se indica no mapa da **figura 5**.



4 – Caracterização e descrição hidrogeológica – Hidrodinâmica

4.1 – Piezometria

Das acções desenvolvidas constam igualmente a monitorização mensal das oscilações do nível piezométrico na área de estudo.

Tratando-se de um aquífero livre, a superfície piezométrica acompanha aproximadamente o modelado topográfico. A relação entre a cota do terreno e o nível da água nesse ponto pode ser definida por uma equação linear do tipo $y = mx + b$ (**figura 6**).

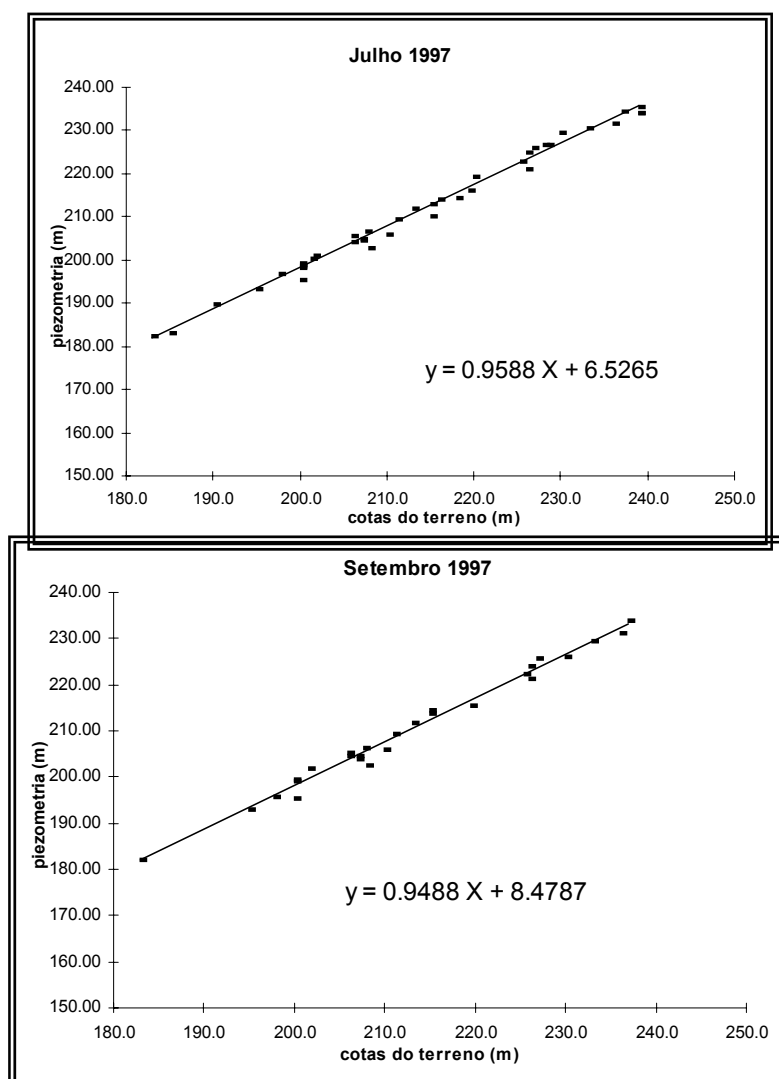
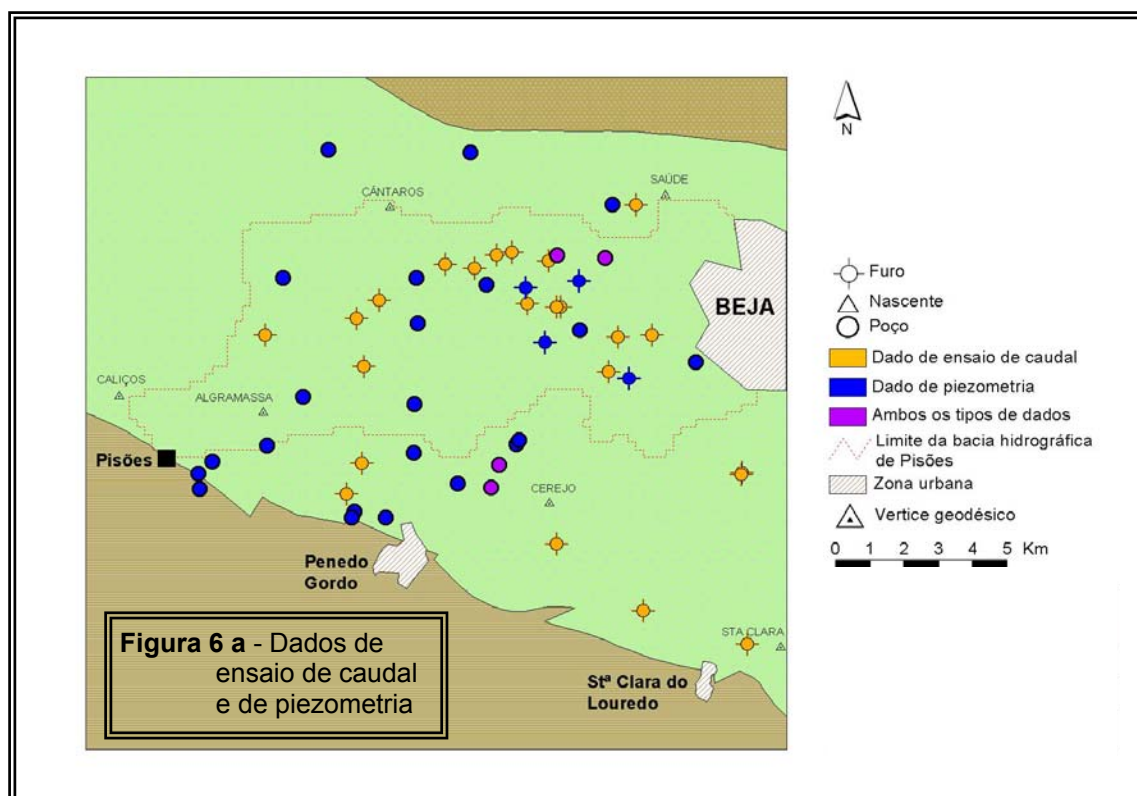


Figura 6 – Relação entre a superfície piezométrica e a topografia na área da bacia de Pisões (Paralta, 1997)

O nível freático do aquífero livre encontra-se normalmente a poucos metros de profundidade. Em Anexo apresenta-se o mapa dos pontos de medição (**figura 6a**).



O sentido do escoamento subterrâneo acompanha a drenagem superficial, é para W inflectindo depois para SW, como se observa na carta de isopiezas de Junho de 1997 (**figura 7**), e o gradiente hidráulico é da ordem de 1% (**figura 8**).

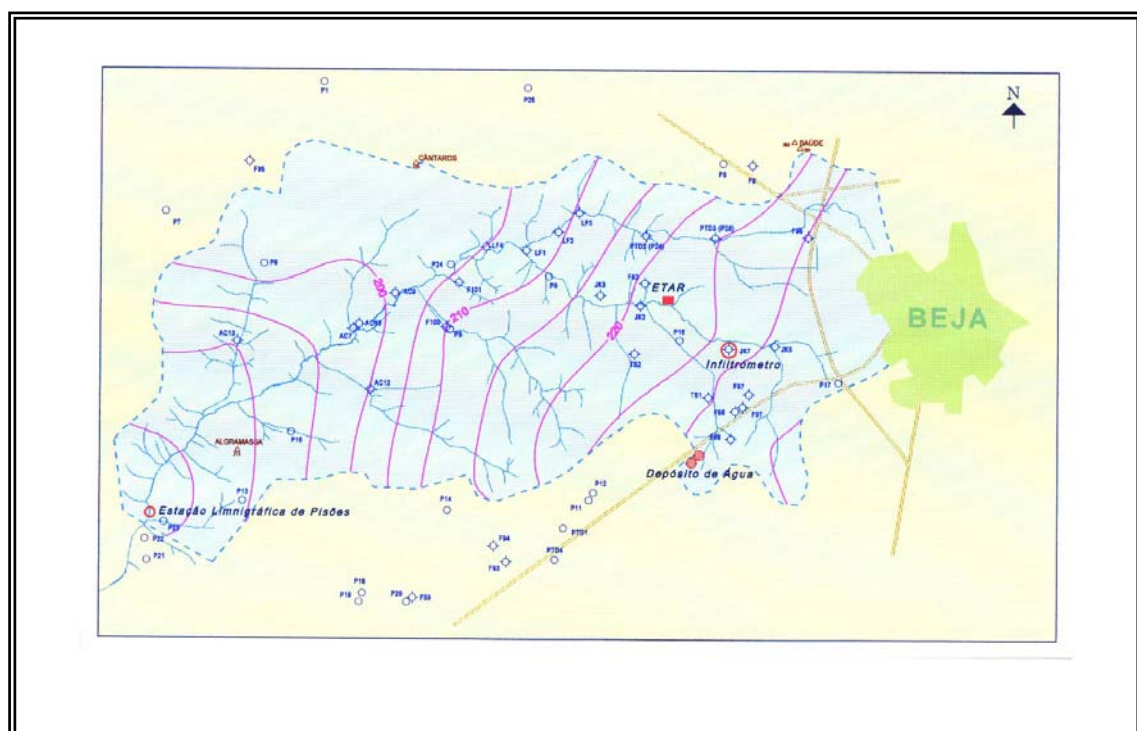


Figura 7 – Carta de isopiezas obtidas no mês de junho de 1997 para o sector ocidental de Beja correspondente à bacia hidrográfica de Pisões. Escala 1:60 000

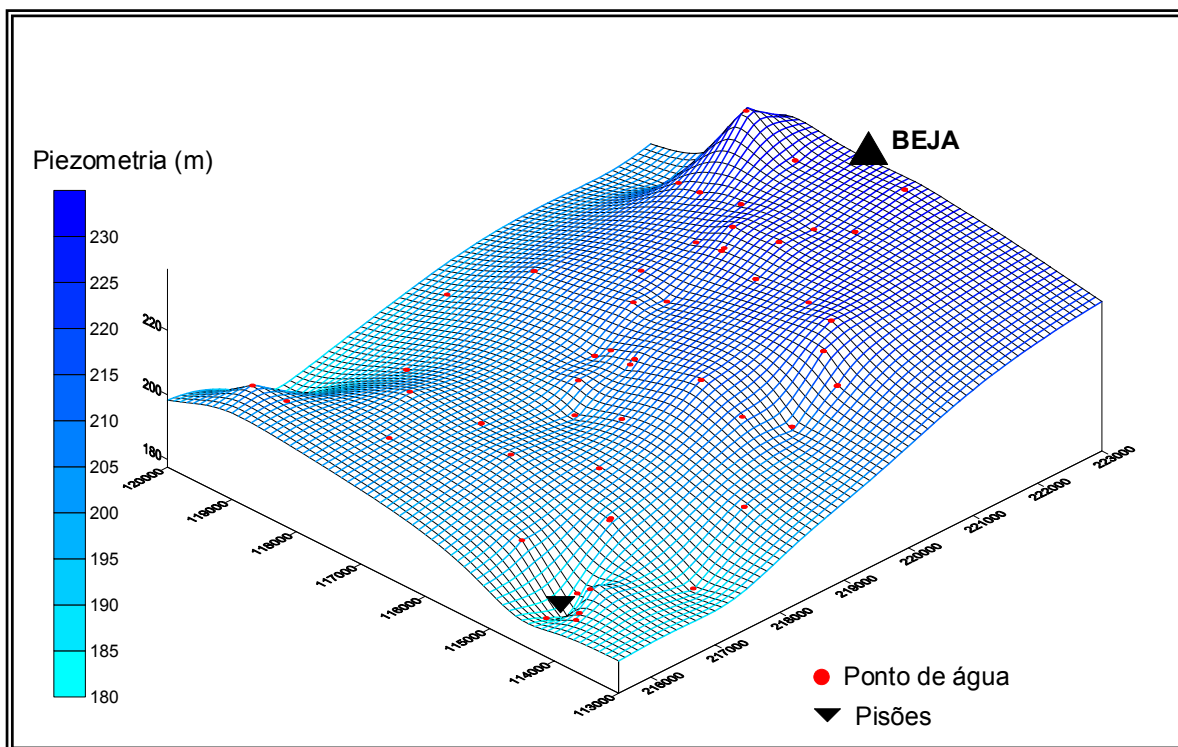


Figura 8 – Bloco diagrama da superfície piezométrica a ocidente de Beja medida em 46 pontos de água em Março de 1999

A reduzida profundidade a que surge a água nestas formações gabro-dioríticas alteradas facilita grandemente a sua exploração por poços ou valas pouco profundas (4 a 5 metros), embora na época estival os níveis de água no terreno desçam consideravelmente (mais de 10 metros) nos pontos de cota mais elevada.

Verifica-se que o escoamento subterrâneo acompanha aproximadamente a drenagem superficial e que se pode considerar Pisões como o nível de base local desta bacia.

De facto, no local assinalado há sempre escorrência da ribeira da Chaminé mesmo no final da estiagem e após vários anos de seca como foi confirmado por Augusto M. Costa em 1995 (informação oral).

Desta forma admite-se que a unidade aquífera constituída pelos cerca de 20 km² da bacia de hidrográfica de Pisões apresenta um comportamento efluente neste sector, não contabilizando obviamente o caudal produzido pela ETAR de Beja.

Uma tentativa de quantificação do escoamento da bacia através da instalação de um limnígrafo de bóia em Pisões foi realizada com o auxílio da delegação da DRA Alentejo em Beja e do INAG embora sem resultados devido à interferência de uma obra particular construída a montante e que interrompeu o regular escoamento da ribeira da Chaminé.

4.2 – Prospecção geofísica

No sentido de testar e rotinar novas técnicas de preospecção geofísica com interesse para a pesquisa de estruturas geológicas favoráveis à ocorrência de água subterrânea foram aplicadas as seguintes metodologias :

- Very Low Frequency – Electromagnetic (VLF/EM)
- Sondagens Eléctricas Verticais (SEV)
- Diagrfias eléctricas e nucleares em furos não revestidos

◈ Very Low Frequency – Electromagnetic

No sentido de localizar zonas potencialmente produtivas, associadas à fracturação, foi ensaiado um método de prospecção geofísica designado VLF-EM (Very Low Frequency - Electromagnetic).

Resumidamente, o VLF-EM é um método que se baseia na interpretação das interferências provocadas pelas estruturas naturais (fracturação, falhas, contactos litológicos, paleorelevos, etc) no campo electromagnético primário, gerado por antenas fixas de longo alcance espalhadas um pouco por todo o mundo.

A quantificação do desfasamento entre o campo electromagnético primário e o campo electromagnético secundário, em percentagem, dá-nos indicações sobre as heterogeneidades do meio.

Utilizando um protótipo desenvolvido na Universidade de Neuchatel, que permite registar o desfasamento contínuo a partir de uma antena móvel instalada num veículo todo-o-terreno, realizaram-se vários perfis experimentais, com resultados bastante positivos.

Apesar das limitações inerentes ao método, como sejam a interferência de estruturas metálicas e a atenuação da ondas electromagnéticas num meio de alta condutividade, como são os “Barros de Beja”, foi possível confirmar o prolongamento para NE das falhas que cortam o cavalgamento Ferreira-Ficalho e obter um bom contraste no contacto entre algumas litologias (**figura 9**).

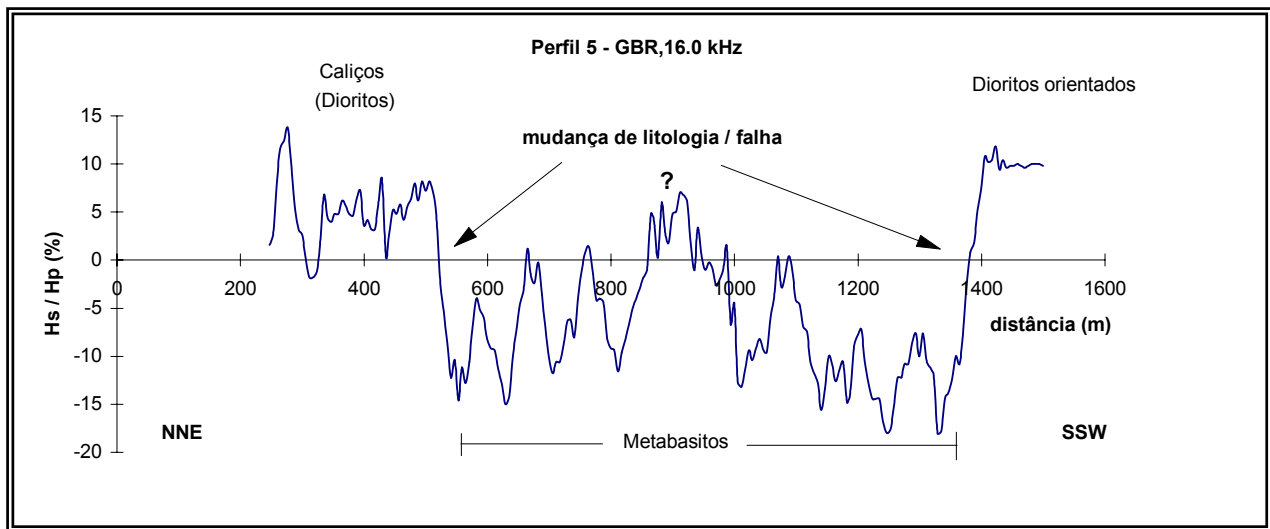


Figura 9 - Perfil de VLF/EM realizado a norte do Penedo Gordo, numa extensão de 500 m. Velocidade aproximada 10.5 km/h. Emissor GBR de 16.0 kHz (Oxford)

A profundidade de investigação (P) atingida por este método depende da natureza do material, expressa pela resistividade aparente (ρ) e da frequência do emissor (f), segundo a expressão:

$$P = 503 \cdot \sqrt{\frac{\rho}{f}}$$

Para a frequência de 16 kHz (16000 Hz) e ρ entre 10 e 100 ohm.m obtêm-se uma profundidade máxima de investigação de 40 m, suficiente para detectar estruturas ocultas sob o manto de alteração.

◆ Sondagens Eléctricas Verticais (SEV)

O levantamento geoelectrico na Bacia de Pisões (Beja) realizou-se em Março de 1999, sob a orientação do Dr. Rui Gonçalves da Divisão de Geofísica e teve por fim a determinação da profundidade das várias camadas litológicas, nomeadamente a separação entre a rocha da zona superficial alterada, da rocha sã mais profunda. A metodologia e equipamento escolhido permitiu a realização expedita do levantamento eléctrico, com o rigor necessário ao problema em questão.

As SEVs já efectuadas no local entre 1987 e 1988 por Augusto Marques da Costa indicam uma resposta quase isotrópica da litologia, e uma profundidade de investigação de somente um terço de $AB/2$ (profundidade teórica de investigação). Com base nestes

conhecimentos foi decidida a realização de SEVs com $AB/2 = 300$ m, e somente uma SEV por local.

Assim, foram realizadas 15 SEVs (dispositivo Schlumberger) em toda a área de estudo, tendo o cuidado de em certos locais orientar a sondagem na direcção das falhas principais conhecidas, por forma a obter uma menor e uniforme interferência dessas estruturas geológicas. As SEVs 1 e 2 foram realizadas junto a furos/sondagens mecânicas já existentes, de modo a permitir uma rigorosa verificação dos resultados obtidos por comparação com os logs conhecidos.

A **tabela 3** indica a localização e orientação das 15 SEVs realizadas.

Tabela 3 – Localização das 15 SEVs

SEV #	Coordenadas (UTM)		
	X	Y	Z
1	596.325	4.207.025	232
2	597.900	4.207.925	227
3	598.275	4.209.060	230
4	596.625	4.208.875	222
5	596.375	4.207.970	225
6	595.675	4.208.550	217
7	594.525	4.209.025	212
8	593.100	4.208.100	205
9	595.000	4.207.475	213
10	594.250	4.206.950	209
11	593.450	4.206.850	200
12	594.100	4.208.000	201
13	592.575	4.206.875	190
14	598.375	4.207.050	242
15	598.850	4.208.550	239

As seguintes **tabelas 4 a 6** sumarizam os resultados obtidos em termos das resistividades e espessuras encontradas para cada SEV.

Tabela 4 – Modelos geoelectricos para as SEVs 1 a 5

Camada	SEV 1		SEV 2		SEV 3		SEV 4		SEV 5	
	Ro ($\Omega.m$)	Esp. (m)	Ro ($\Omega.m$)	Esp. (m)	Ro ($\Omega.m$)	Esp. (m)	Ro ($\Omega.m$)	Esp. (m)	Ro ($\Omega.m$)	Esp. (m)
1	6	1.3	18	0.6	12	2.1	18	0.6	11	0.9
2	19	3.7	35	1.5	20	7.4	43	1.7	60	4.7
3	10	7.6	4	1.0	140	20	19	7.6	32	6.5
4	4950	∞	23	17.6	940	∞	23	20	561	∞
5			900	33			393	∞		
6			280	∞						

Tabela 5 – Modelos geoelectricos para as SEVs 6 a 10

Camada	SEV 6		SEV 7		SEV 8		SEV 9		SEV 10	
	Ro (Ω .m)	Esp. (m)	Ro (Ω .m)	Esp. (m)	Ro (Ω .m)	Esp. (m)	Ro (Ω .m)	Esp. (m)	Ro (Ω .m)	Esp. (m)
1	22	0.6	10	0.6	21	1.3	25	3.8	16	0.8
2	71	2.2	63	3.0	45	4.1	14	8.5	98	4.0
3	15	7.0	15	11.4	26	3.9	775	∞	35	3.0
4	97	43	607	∞	72	15.9			566	∞
5	1340	∞			1200	∞				

Tabela 6 – Modelos geoelectricos para as SEVs 11 a 15

Camada	SEV 11		SEV 12		SEV 13		SEV 14		SEV 15	
	Ro (Ω .m)	Esp. (m)	Ro (Ω .m)	Esp. (m)	Ro (Ω .m)	Esp. (m)	Ro (Ω .m)	Esp. (m)	Ro (Ω .m)	Esp. (m)
1	14	0.6	26	8.6	21	0.5	12	1.4	57	3.6
2	24	4.5	237	19	78	2.8	200	0.7	33	4.7
3	6	9.5	73	21	30	15.4	23	4.5	78	18.5
4	970	∞	1270	∞	357	∞	191	61	640	∞
5							790	∞		

Em conclusão, podemos referir que da análise das curvas de resistividade e dos modelos das 15 SEVs, não existe uma grande variação espacial do meio, ou seja a litologia da bacia de Pisões é muito constante em área. É típico a existência de uma camada de baixa resistividade (20 a 100 Ω .m) abaixo de camadas mais resistivas à superfície (mas que no entanto podem incluir também algumas argilas, portanto muito baixas resistividades), o que indica a presença de água na zona mais fracturada da rocha superficial. As grandes resistividades encontradas (>300 Ω .m) evidenciam o soco rochoso progressivamente mais são.

4.3 Execução de sondagens verticais e diagrfias

Em Junho e Julho de 1998 realizaram-se diagrfias na sondagem SDH1-Beja, sob a orientação da Eng. Elsa Ramalho da divisão de Geofísica. A sondagem consiste num furo de investigação hidrogeológica que atingiu a profundidade de 99.6 metros e se encontra convertido em piezómetro equipado com logger desde Abril de 1999 (coordenadas M - 220070 ;P - 115370 ;Cota - 229 m).

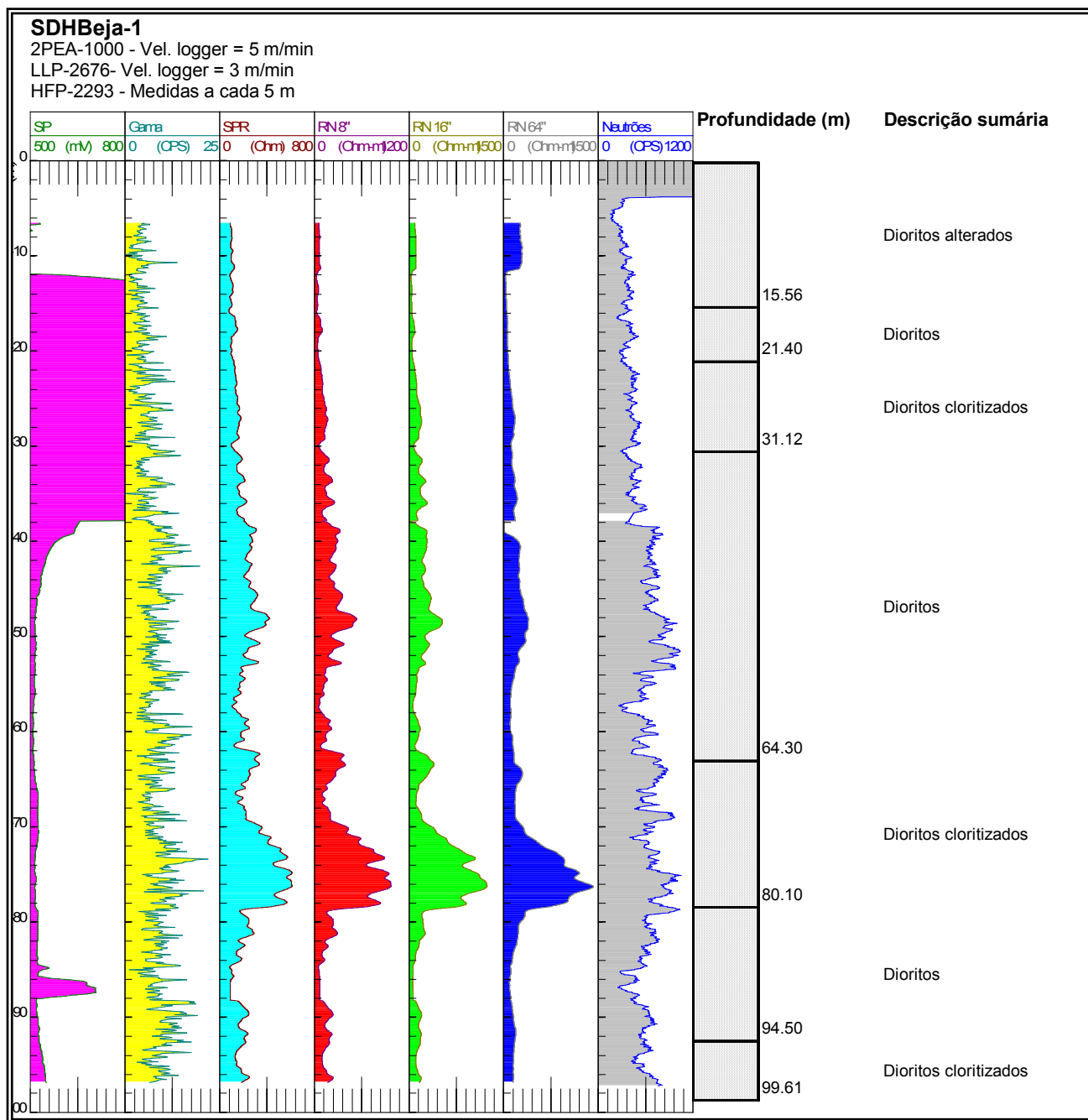


Figura 10 – Diagramas na sondagem SDH1- Beja

Na primeira deslocação, com o diâmetro do furo constante de 146 mm, as diagramas atingiram uma profundidade de cerca de 37 metros, com o furo a uma profundidade total de 39 m. Na segunda, com diâmetro HQ, prosseguiu-se desde os 37 metros iniciais até à profundidade final do furo, que foi de 99.6 m. Em ambas as campanhas de diagramas, o furo, previamente limpo, encontrava-se preenchido com água.

Efectuaram-se diagrfias de Neutrões, Gama natural, SP, SPR, Resistividades Normais 8", 16", 32" e 64" em ambas as campanhas.

Efectuaram-se, ainda, na segunda campanha, medidas com a sonda Heat Pulse Flowmeter, que, devido ao diâmetro do furo, não utilizaram o dispositivo que permite a aquisição de dados calibrados. A diagrfia de Neutrões foi efectuada a uma velocidade de 3 m/min, enquanto que as diagrfias Gama natural, SP, SPR, Resistividades Normais 8", 16", 32" e 64" foram efectuadas a 5 m/min (**figura 11**).

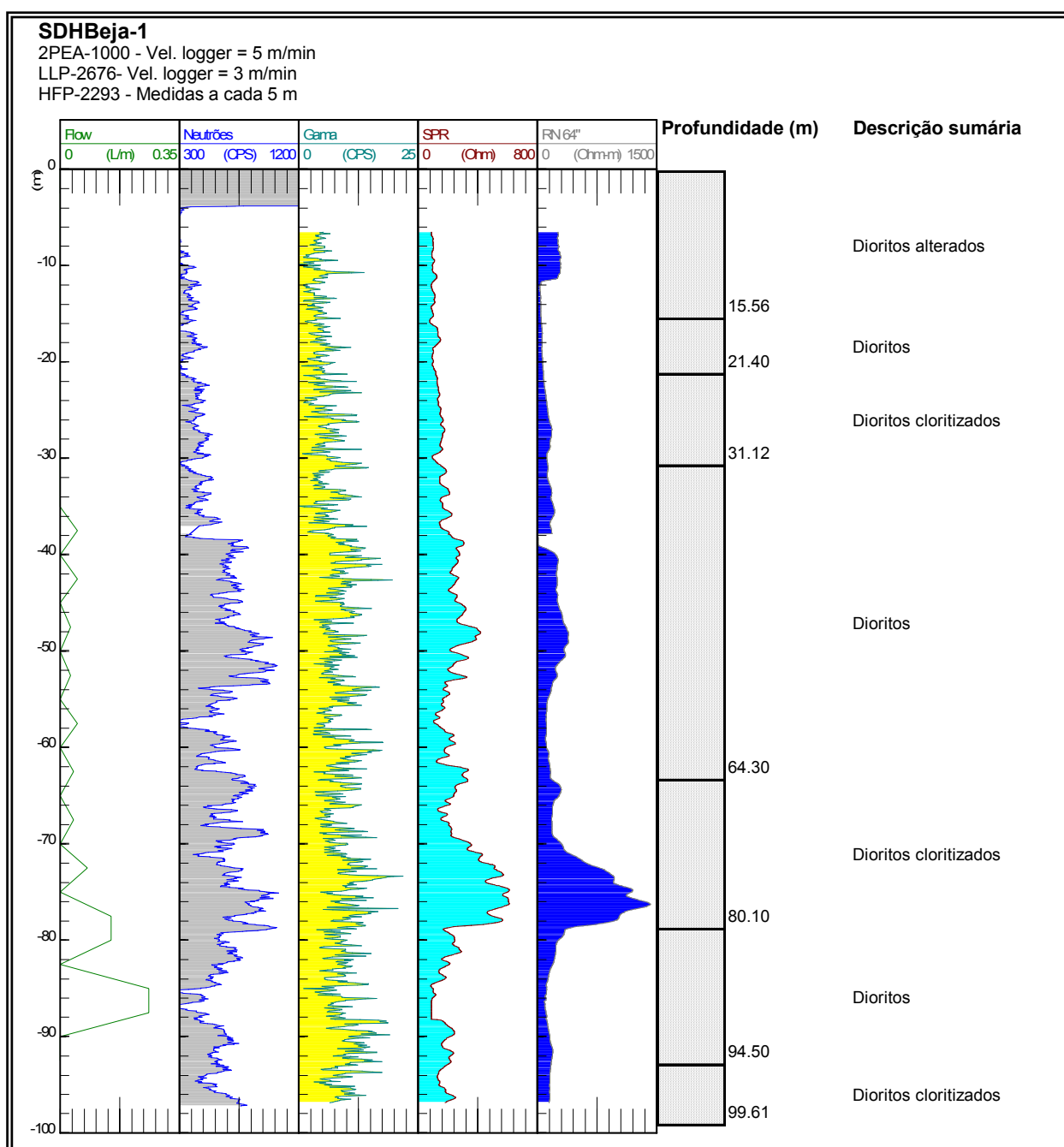


Figura 11 – Diagrfias na sondagem SDH1- Beja

Genericamente, o furo SDH1-Beja atravessa solo (0-1 m), caliços (1-8.5 m) e diorito fracturado (8.5-99.6 m). Através da observação das carotes, verifica-se a passagem progressiva em profundidade para rocha sã, além de uma falha observada cerca dos 86 metros de profundidade. O nível de água no solo encontrava-se a cerca de 3.85 m na altura da realização das diagrfias.

De todos os resultados obtidos, destacam-se, ao longo de todo o furo, os baixos valores de radiação gama natural característicos de rochas básicas e ultrabásicas (Chappelier, 1992; Keys, 1990). A constância destes valores, que não ultrapassa, em geral, os 20 cps, confirma a monotonia do tipo de formações atravessadas, no que diz respeito à presença de isótopos radioactivos de Urânio, Tório e Potássio, indicando ainda a inexistência de argilas de alteração potássicas. Análises químicas e mineralógicas efectuadas em amostras provenientes de um perfil de alteração localizado na zona do aquífero dos Gabros de Beja não indicam a presença de K (Vieira e Silva, 1991).

De acordo com a observação das carotes, a característica mais marcante evidenciada pelas diagrfias realizadas, consiste no aumento mais ou menos constante da resistividade média das formações em profundidade, aumento este directamente relacionado com a diminuição da alteração e de acordo com o modelo geral de alteração típico de uma rocha gabo-diorítica referido em Paralta (1997) para o aquífero dos Gabros de Beja na área de Pisões. De acordo com a observação das diagrfias eléctricas e de neutrões, poder-se-á admitir que a rocha sã foi atingida a cerca de 72 metros.

4.4 – Ensaio de caudal

Os valores de transmissividade, pelo método de Theis obtidos em 7 ensaios de bombagem (4 ensaios na própria captação, 2 de recuperação e 1 ensaio com piezómetro), variam entre 34 e 384 m²/d (4 ensaios com $T < 100$ m²/d).

Pelo método de Logan a partir de 16 dados obtiveram-se valores entre 20 e 270 m²/d, com valor médio de 65 m²/d (6 ensaios com $T < 50$ m²/d).

A **figura 12** mostra 1 ensaio de bombagem realizado em 1986 por Augusto Marques da Costa e recentemente interpretados (Partal, 1997) usando o programa automático SENTHEIS (Almeida, C., 1990).

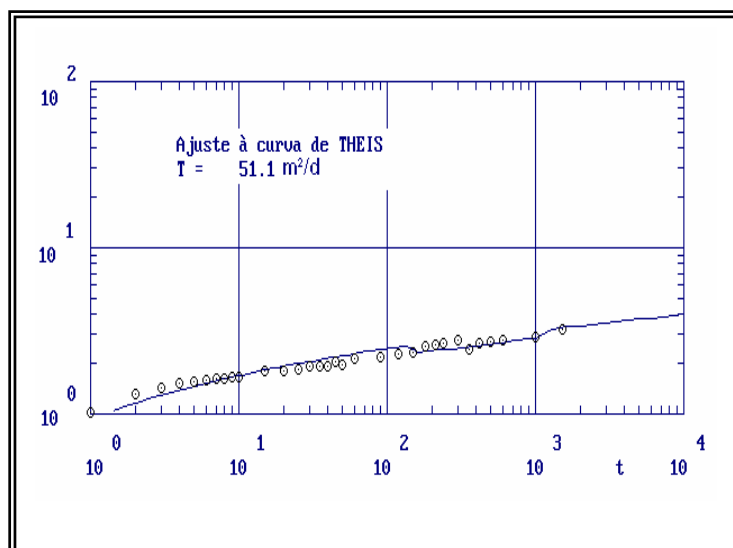


Figura 12 - Ensaio de bombagem ; Programa SENTHEIS (Almeida, C., 1990). Ensaio em LF 1 com a duração de 25 horas e 4 escalões de caudal, 19/09/86

No capítulo referente aos perímetros de protecção estão indicados os caudais e transmissividades obtidas pelo método de Logan, após correcção de Dupuit, para as 16 captações de abastecimento a Beja (em situação de reserva).

4.5 – Distribuição espacial dos caudais

Conhecem-se 43 registos históricos de sondagens de pesquisa hidrogeológica realizados para a Câmara de Beja, dos quais 18 foram transformados em captação, estando actualmente 16 condições de funcionamento na situação de reserva.

A taxa de insucessos conhecidos é de 19%, correspondente a 8 pesquisas secas. Os principais estatísticos de produtividades documentadas para a bacia de Pisões e zona limítrofe estão representados na **tabela 7**. O valor máximo corresponde ao Poço das Terras Frias que possui um diâmetro superior a 5 metros e várias galerias, pelo que o respectivo caudal está relacionado com a enorme área aberta desta captação, que na década de 1950 se considerava ter resolvido definitivamente o problema de abastecimento de água a Beja.

Tabela 7 – Estatística dos caudais da bacia de Pisões (l/s)

Minímo	Mediana	Média	Máximo	n
0	5	6.5	28	43

Parece existir uma certa relação entre as altas produtividades e o contacto entre o gabro e o diorito, bem como ao longo da ribeira da Chaminé, no troço de orientação SW-NE que poderá corresponder a um lineamento de orientação hercínica, embora esta hipótese não tenha ainda sido confirmada.

Os caudais captados estão directamente relacionados com a intersecção de fracturas produtivas e portanto quanto maior a área aberta maior possibilidade de obter bons caudais.

Desta forma as melhores captações correspondem a poços de grande diâmetro e poços com furos horizontais e galerias que aumentam grandemente a área de entrada de água.

O mapa da distribuição espacial dos caudais está representado na **figura 12**.

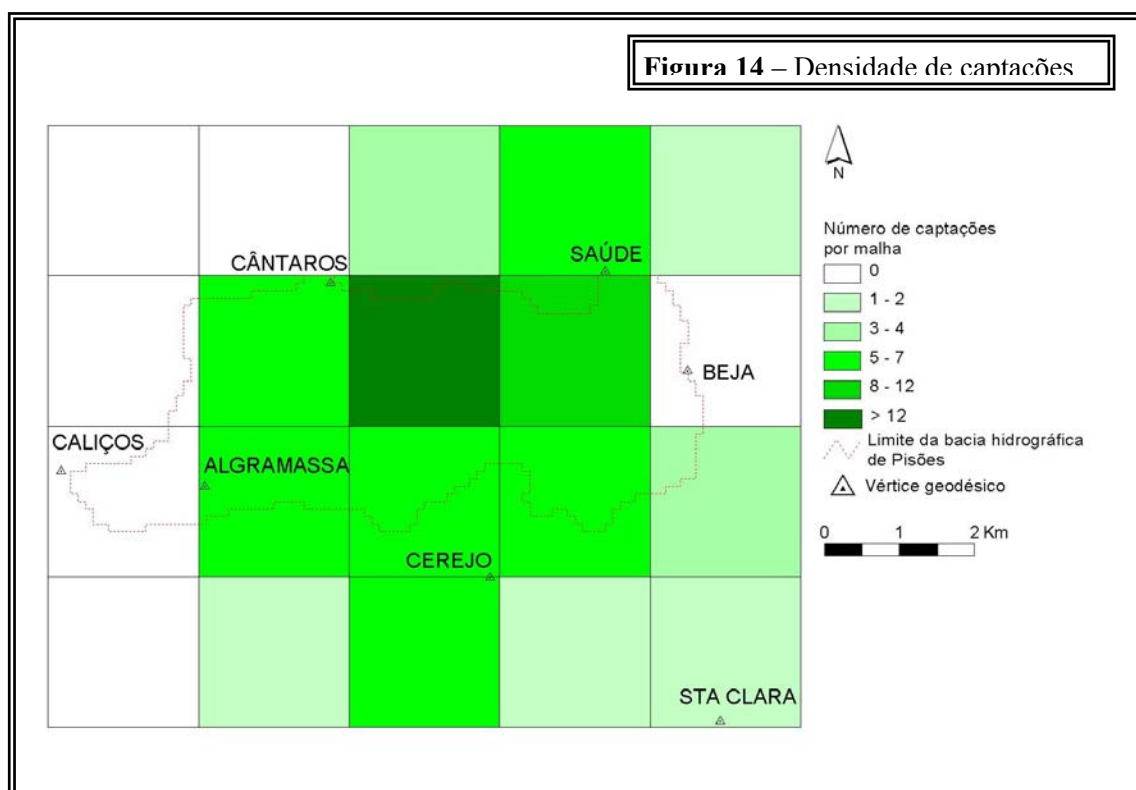
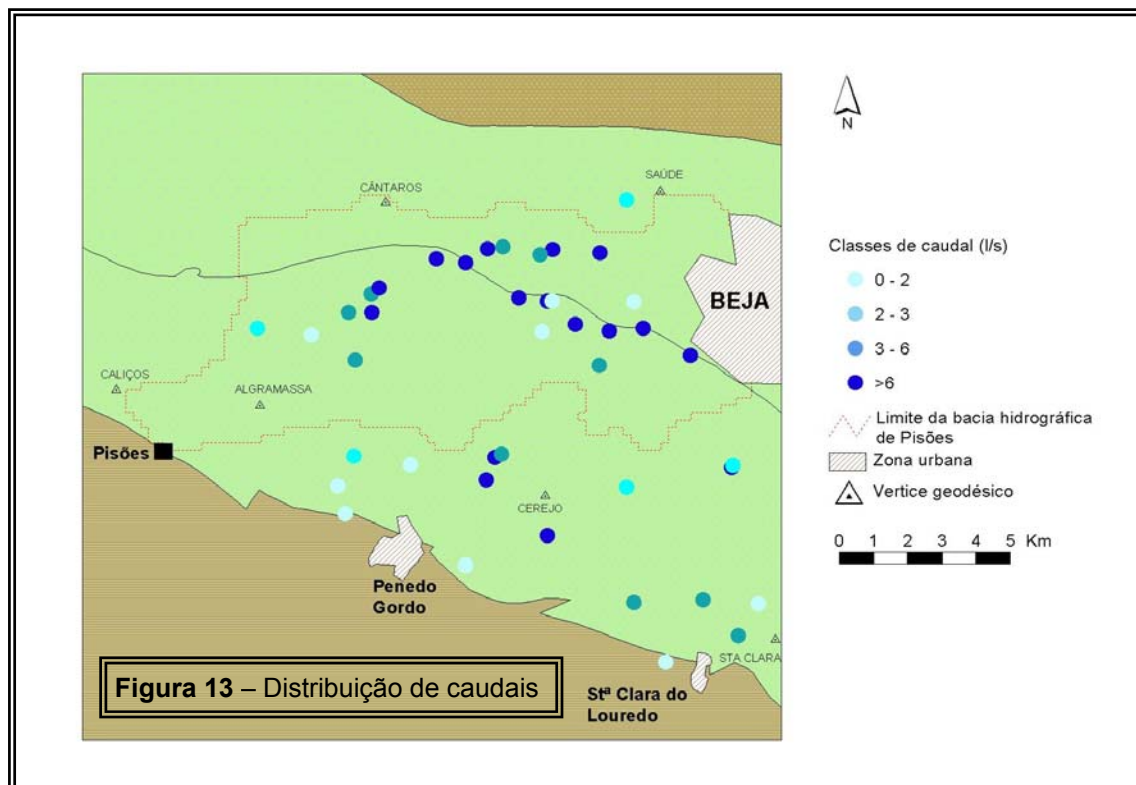
4.6 – Densidade de captações

Dos 65 furos de captação inventariados identificaram-se 34 captações com profundidades compreendidas entre 13 e 50 metros distribuídas pela área de trabalho.

Cerca de metade destas captações são de abastecimento público e funcionam de forma intermitente enquanto as restantes são privadas, para uso doméstico e agrícola.

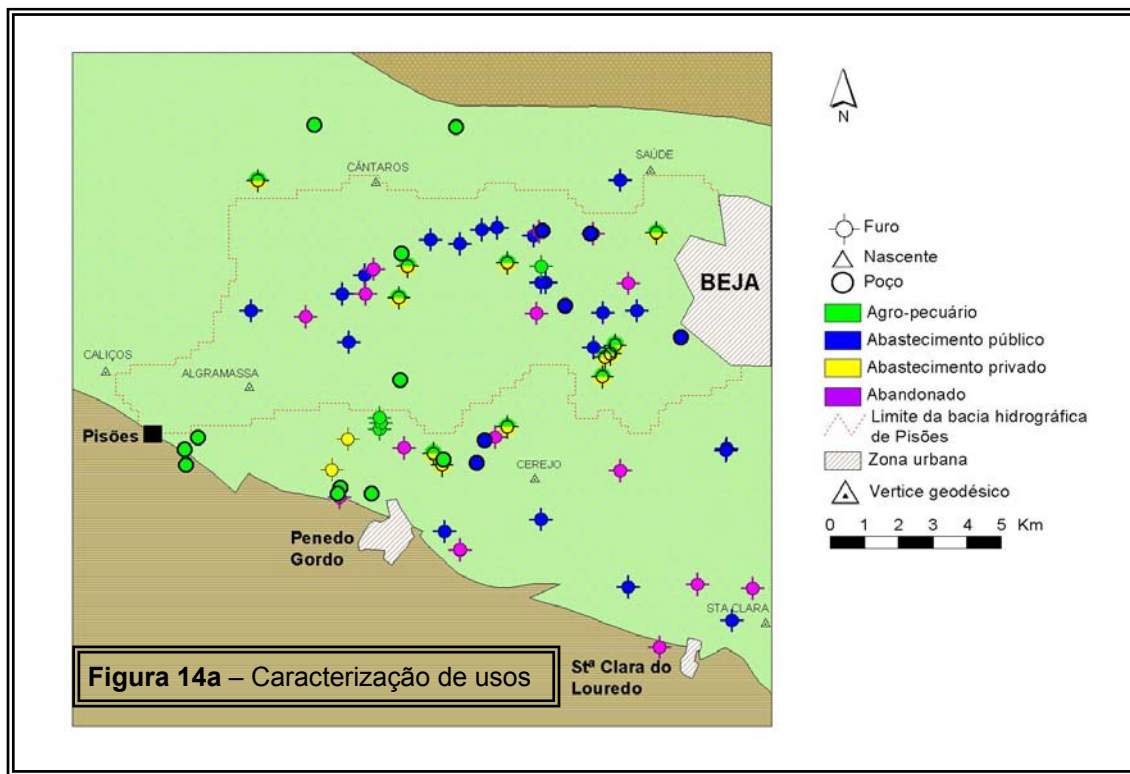
As captações com impacto real na capacidade do aquífero são os furos públicos e os furos de rega já que é usual funcionarem simultaneamente durante o período estival.

O mapa da densidade de captações adoptando uma malha de 2x2 km² está representado na **figura 14**.



4.7– Caracterização e quantificação dos usos

A caracterização dos usos para esta região carece de dados precisos que só a instalação de contadores pode proporcionar. A grande utilização dos recursos subterrâneos é para abastecimento público e rega, nomeadamente de girassol e milho, o que atesta bem a capacidade deste reservatório (**Figura 14 a**).



Quanto aos usos agrícolas não há outros dados que não sejam a estimativa das áreas regadas, em função do déficit hídrico por hectare calculado no capítulo da climatologia.

A quantificação dos consumos públicos a partir do aquífero também é difícil de obter uma vez que os sistemas instalados funcionam intermitentemente apenas como recurso em caso de quebra no abastecimento a partir da albufeira do Rôxo.

No entanto sabe-se que antes da entrada em funcionamento do sistema adutor do Rôxo em 1985, o abastecimento a Beja dependia exclusivamente das captações subterrâneas que sustentavam cerca de 4000 a 5000 m³/dia ou seja 1.6 x 10⁶ m³ /ano.

4.8 – Caracterização e funcionamento hidráulico

Os gabros e dioritos alterados que constituem o suporte geológico da Bacia hidrográfica de Pisões, a ocidente de Beja consideram-se, no seu conjunto, como tendo um comportamento hidráulico homogêneo, constituindo um aquífero do tipo livre e poroso.

Em profundidade passa a aquífero com circulação em meio fracturado cristalino (aquífero fissurado). Em muitas captações verifica-se um comportamento hidráulico intermédio entre os 2 tipos mencionados.

A espessura média de alteração ronda os 30 a 40 metros. Tratando-se de um aquífero livre, a superfície piezométrica acompanha aproximadamente o modelado topográfico e encontra-se normalmente a poucos metros de profundidade.

A reduzida profundidade a que surge a água nestas formações gabro-dioríticas alteradas facilita grandemente a sua exploração por poços ou valas pouco profundas (4 a 5 metros), embora na época estival os níveis de água no terreno desçam mais de 1 dezena de metros nos locais de cota mais elevada. Nas áreas mais baixas a oscilação do nível freático é reduzida.

No sentido de monitorizar o comportamento piezométrico deste sector do aquífero dos Gabros de Beja instalaram-se em Julho de 1998 e Abril de 1999 sondas de registo automático nos piezómetros JK7 (cedido pela CM Beja) e SDH 1, respectivamente. Os dados obtidos estão actualmente a ser processados, mas confirmam as conclusões apontadas.

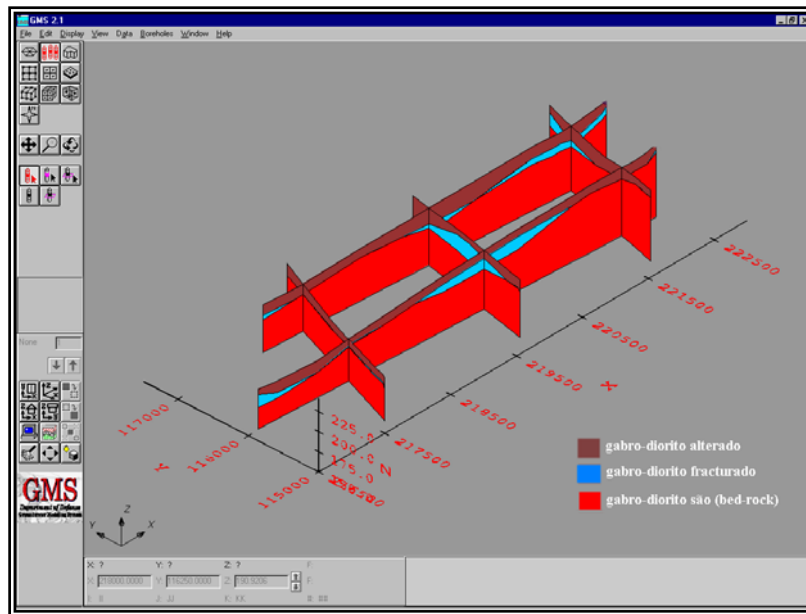
A mancha de gabro-dioritos é, sem dúvida, depois dos calcários, a formação mais produtiva do Alentejo. A sua produtividade é bastante regular na área de Beja, a taxa de insucessos é reduzida (< 20%). Obtiveram-se caudais entre 1.5 l/s e 18 l/s, em furos de captação. A produtividade média situa-se nos 6 l/s. O caudal específico associado é normalmente baixo (inferior a 1 l/sm). No contacto entre o diorito e o gabro intrusivo existem várias captações com caudal acima dos 10 l/s.

Os valores de transmissividade obtidos em 7 ensaios de bombagem (4 ensaios na própria captação, 2 de recuperação e 1 ensaio com piezómetro), variam entre 34 e 384 m²/d (4 ensaios com $T < 100 \text{ m}^2/\text{d}$). Pelo método de Logan a partir de 16 dados obtiveram-se valores entre 20 e 270 m²/d, com valor médio de 65 m²/d (6 ensaios com $T < 50 \text{ m}^2/\text{d}$). O valor de coeficiente de armazenamento obtido do ensaio na captação AC9 com piezómetro é de 1.2×10^{-3} . Em termos médios admite-se que o coeficiente de armazenamento se situe entre 0.1 e 0.2, correspondente à porosidade eficaz.

A reposição dos níveis freáticos é feita a partir da precipitação, sendo a zona alterada que faz a recarga das fracturas subjacentes que serão objecto de pesquisa hidrogeológica. É de admitir igualmente infiltração em determinadas locais estruturalmente favoráveis da ribeira da Chaminé.

Com base nas sondagens eléctricas verticais realizadas é possível definir um modelo geológico 3D provisório para o sector de estudo (**figura 15**) em que se definem 3 zonas principais; zona alterada, zona fracturada e rocha sã a partir do comportamento geolétrico (resistividade aparente) obtida em cada SEV.

Figura 15 – Bloco diagrama 3D do sector ocidental de Beja com base em informação geolétrica de 15 SEV's



Com base em sondagens executadas na área por diversas empresas, que atingiram até 40 m de profundidade, pode apresentar-se a seguinte sucessão que demonstra claramente a irregularidade da alteração (**figura 16**).

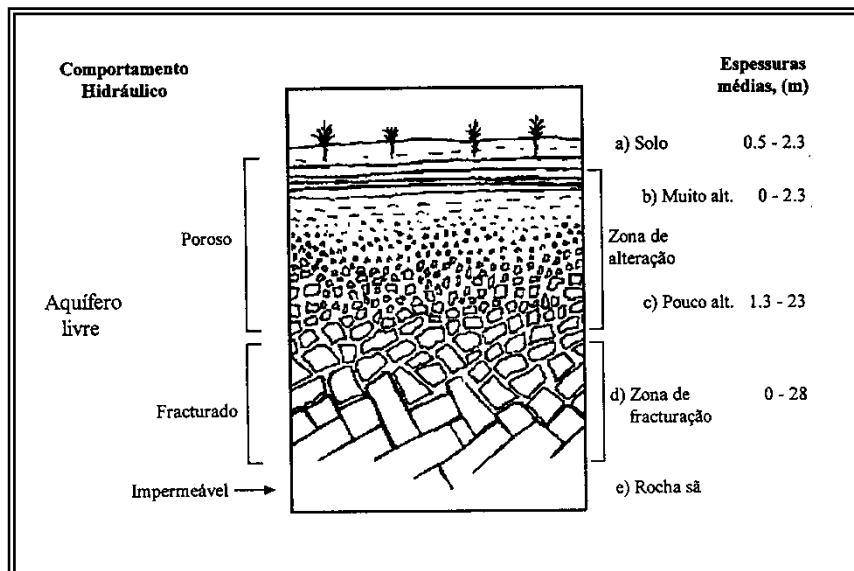


Figura 16 – Perfil de alteração de uma rocha gabro-diorítica e respectivo comportamento hidráulico (Paralta,1997)

A sucessão litológica pode ser sumariamente descrita, de cima para baixo:

- a) terra vegetal
- b) argilas residuais de alteração dos gabro-dioritos, por vezes com algumas zonas de impregnação margosas ou mesmo calcárias, sobretudo na parte superior - pouco permeáveis.
- c) gabro-dioritos muito alterados e decompostos, geralmente com fracturas preenchidas por produtos argilosos - pouco permeáveis.
- d) gabro-dioritos pouco alterados mas fracturados, por vezes com fracturas apresentando produtos cloríticos ou serpentinosos - permeabilidade variável.
- e) gabro-diorito são - geralmente impermeáveis.

O gabro-diorito são têm-se revelado improdutivo. As zonas mais favoráveis à pesquisa hidrogeológica correspondem a falhas e ao horizonte d, referido no perfil da **figura 16**, embora a sua permeabilidade dependa da abertura e lavagem das fracturas.

A hidrodinâmica da área é controlada por gradientes suaves com fluxo para oeste e sudoeste, assumindo a zona das ruínas de Pisões como nível de base local de toda esta unidade aquífera. As condições de fronteira com as bacias vizinhas, nomeadamente a norte são limites hidráulicos ou seja zonas de separação de águas, que em princípio correspondem aproximadamente aos interflúvios de superfície.

4.9 – Previsão de necessidades futuras

Actualmente o consumo de água na cidade de Beja, com cerca de 20 000 habitantes, situa-se entre os 5000 e 6000 m³/dia o que representa uma captação média acima de 200 litros/pessoa/dia.

A **figura 17** representa a evolução demográfica e dos consumos de água para a cidade de Beja nos últimos 70 anos.

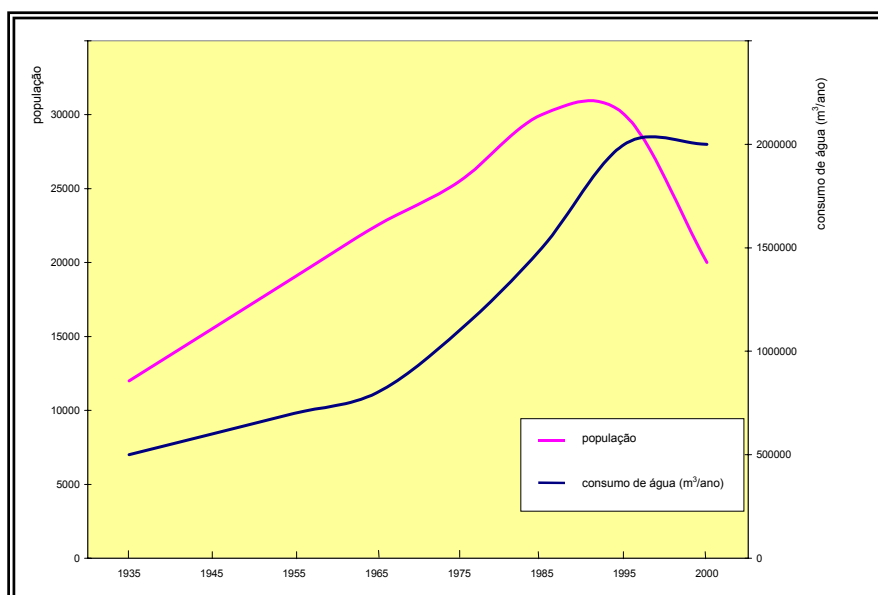


Figura 17 - Evolução demográfica e dos consumos de água para a cidade de Beja

Dados da CM Beja referentes a 1975, último ano de um período de seca prolongada, indicam uma captação média de 120 litros/pessoa/dia com falhas frequentes no abastecimento, o que levaria as autoridades a investir na melhoria das captações de água subterrânea e a optar pela alternativa da reserva de superfície que se concretizaria 10 anos depois na albufeira do Rôxo.

A evolução previsível dos consumos de água para abastecimento urbano depende essencialmente da evolução demográfica e económica da cidade de Beja, que se assume cada vez mais como um pólo dinamizador do Baixo Alentejo.

Neste sentido a previsão das necessidades futuras depende da avaliação rigorosa das condições sócio-económicas e do nível de vida da população para o 1º quartel do século XXI, considerando como suficiente uma captação média diária de 200 litros.

Nas condições de consumo actual, os recursos hídricos subterrâneos do complexo gabro-diorítico dos arredores de Beja podem assegurar o abastecimento diário durante todo o ano, embora possam ocorrer quebras de produtividade no período estival que podem ser

compensadas com a construção de novas captações em locais hidrogeologicamente mais favoráveis.

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.

5– Caracterização e descrição hidrogeológica - Hidrogeoquímica

5.1 - Caracterização da informação

Os dados para caracterização hidroquímica do aquífero dos gabros de Beja na região ocidental de Beja contabilizam 41 análises físico-químicas realizadas no período de águas baixas entre 1973 e 1998 e em 10 análises realizadas no período de águas altas entre 1987 e 1997. A totalidade dos 51 registos obtidos encontram-se disponíveis nas bases de dados da DRA Alentejo e no SNIRH do INAG. O mapa da **figura 18** indica a localização das análises consideradas para este trabalho.

5.2 - Dados Históricos

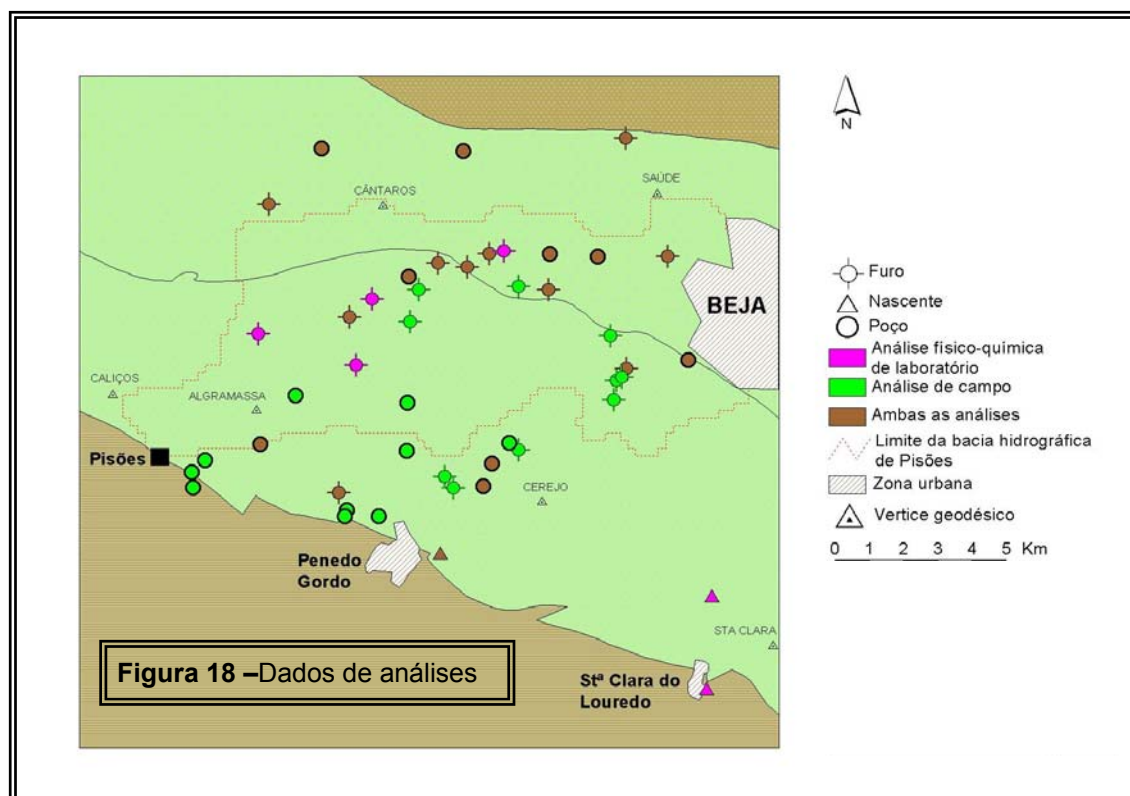
De entre a diversa informação recolhida merece destaque as referências à qualidade da água de abastecimento a Beja nos longínquos anos de 1930 em que era já apontado o excesso de nitratos bem como a elevada dureza da água como os principais problemas dos aquíferos das redondezas.

Uma breve pesquisa pelos documentação histórica da Biblioteca Municipal de Beja revela que já na década de 1930 a Direcção Geral de Saúde considerava pouco próprias as águas para abastecimento de Beja por se encontrarem “... carregadas de nitratos e só a poder de verdunização se tem conseguido evitar casos sérios de epidemias ...”, (Diário do Alentejo, 1936).

A introdução, em larga escala, de adubos azotados nas práticas agrícolas do Alentejo, remonta ao início do século XX atingindo o apogeu nas décadas de 1930/40 por altura das grandes campanhas de trigo que visavam transformar o Alentejo no celeiro de Portugal.

As 4 análises mais antigas disponíveis para a região em estudo remontam a 1973 e 1975 e indicam valores entre 8 e 63 mg/l de ião nitrato o que poderá indicar uma situação em que a contaminação difusa poderia ainda não atingir todas as captações.

Na realidade, actualmente não ocorrem normalmente valores inferiores a 40 mg/l em captações em regime de exploração.



5.3 - Distribuição de parâmetros físico-químicos

Metodologias

O estudo das características hidroquímicas da região ocidental de Beja baseou-se em 35 análises realizadas entre 1997 e 1998 em 31 pontos de água.

Na **Tabela 8** apresentam-se os principais valores estatísticos das colheitas de águas altas baseadas em 9 amostras (8 amostras de Março de 1997 e 1 amostra de Outubro de 1997).

Tabela 8

Parâmetros físico-químicos em águas altas

	Conduct.	pH	Alc.Total	DT	RS	HCO ₃	SiO ₂	Ca	Na	K	Mg	NO ₃	Cl	SO ₄
	(uS/cm)		(mg CaCO ₃ /l)	(mg CaCO ₃ /l)	(mg/l)	(mg CaCO ₃ /l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
Mínimo	675.0	7.6	200.5	91.2	483.0	244.6	33.7	74.7	16.9	0.0	13.4	50.2	18.2	38.0
Mediana	756.0	7.7	230.5	303.5	541.0	281.2	39.4	95.6	29.8	0.1	41.8	81.5	35.1	62.6
Máximo	1359.0	8.0	330.5	528.8	802.4	403.2	55.2	137.8	70.5	23.0	65.4	115.1	138.7	114.2
n	9	9	9	9	9	9	9	9	9	8	9	9	9	9

Na **tabela 9** apresentam-se os principais valores estatísticos das colheitas de águas baixas baseadas em 26 amostras (25 amostras de Abril de 1998 e 1 amostra de Julho de 1997).

Tabela 9

Parâmetros físico-químicos em águas baixas

	Conduct. ($\mu\text{S/cm}$)	pH	Alc.Total (mg CaCO_3/l)	DT (mg CaCO_3/l)	RS (mg/l)	HCO_3 (mg CaCO_3/l)	SiO_2 (mg/l)	Ca (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Mg (mg/l)	NO_3 (mg/l)	Cl (mg/l)	SO_4 (mg/l)
Mínimo	494.1	7.3	178.0	245.0	235.2	178.0	19.7	58.0	22.3	0.0	29.0	38.9	13.0	27.0
Mediana	682.2	7.6	230.0	335.5	447.3	230.0	33.2	81.0	39.0	0.1	35.8	76.7	35.2	64.4
Máximo	1058.1	8.5	317.0	515.0	804.0	380.7	48.3	136.5	71.5	16.3	57.0	158.3	153.0	97.0
n	26	26	26	26	26	26	26	26	26	24	26	26	26	26

Os mapas temáticos com a distribuição dos parâmetros por intervalos de classe apresentam-se adiante (**figuras 20 a 28**).

Apresentam-se igualmente a cartografia da distribuição do conteúdo em metais de 11 amostras que constam da **tabela 11**, à excepção do níquel e crómio que se situam abaixo dos respectivos limites de detecção.

Para além da cartografia de parâmetros físico-químicos com base nos valores das tabelas anteriores realizou-se um estudo mais pormenorizado sobre uma selecção de 23 amostras colhidas em Abril de 1998 (**figura 19**) que foram objecto de análise no laboratório da DRA Alentejo em Santo André e que incluem elementos do grupo dos metais pesados.

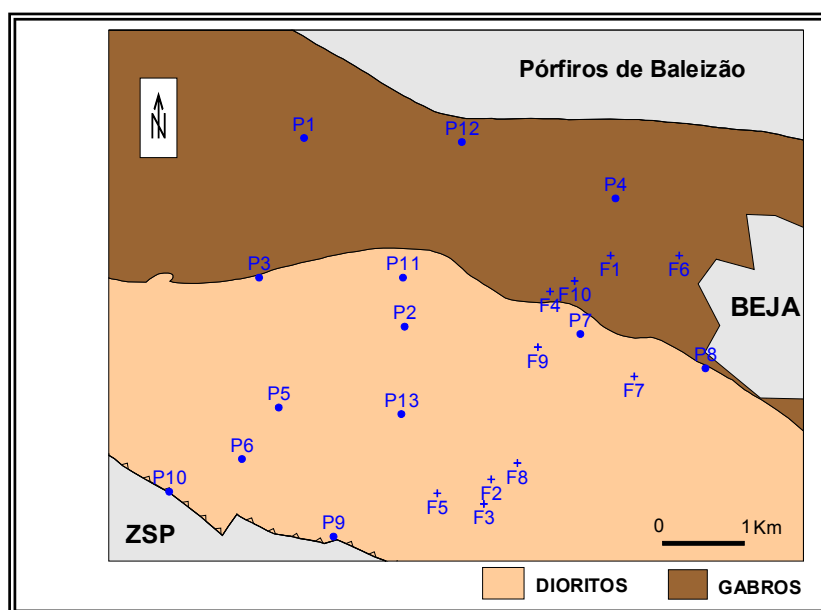


Figura 19 – Carta geológica esquemática dos arredores de Beja e localização dos pontos de água amostrados

As amostras são provenientes de 10 furos e 13 poços com profundidades que variam entre os 5 e 37 metros. Os resultados das análises apresentam-se nas **tabelas 10 e 11** e a matriz de correlação entre os parâmetros apresenta-se na **tabela 12**.

Tabela 10 – Parâmetros físico-químicos

Amostra	pH	CE (uS/cm)	DT (mg/l)	ST (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	SiO ₂ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)
F1	7,5	685	440,0	350,3	78,0	247,0	98,3	73,0	36,5	95,3	52,0	0,15	40,8
F2	7,5	494	301,0	235,2	23,0	234,0	40,9	56,0	34,8	71,8	35,5	0,04	33,3
F3	7,5	579	276,0	347,5	26,0	211,0	44,4	47,0	35,3	61,5	33,3	0,18	37,8
F4	7,5	914	465,0	649,0	88,0	226,0	123,2	87,0	32,9	120,5	49,0	0,03	40,3
F5	7,4	862	422,0	701,0	44,0	246,0	146,5	76,0	40,1	111,8	44,5	0,05	45,8
F6	7,6	868	505,0	398,0	153,0	289,0	98,2	76,0	48,3	116,5	57,0	1,61	69,3
F7	7,7	620	278,0	427,0	19,0	200,0	48,3	50,0	34,8	74,0	29,0	0,01	22,3
F8	7,6	625	301,0	410,0	27,0	217,0	48,8	55,0	33,4	73,5	36,0	0,01	26,8
F9	7,8	573	245,0	371,2	15,0	212,0	38,9	27,0	38,8	58,0	29,5	0,14	25,3
F10	7,8	737	331,0	525,0	43,0	199,0	72,1	49,0	33,5	73,8	40,8	0,05	27,8
P1	7,4	663	298,0	482,0	21,0	214,0	48,2	64,0	30,3	71,0	32,8	0,12	44,5
P2	7,5	680	303,0	507,0	21,0	230,0	69,2	51,0	31,3	80,8	33,3	0,02	36,5
P3	7,7	1020	423,0	747,0	107,0	178,0	154,5	65,0	32,0	120,5	39,5	0,10	49,3
P4	8,5	546	340,0	246,2	45,0	207,0	85,1	55,0	22,7	76,0	43,0	0,92	34,3
P5	7,6	741	346,0	559,0	33,0	217,0	91,5	76,0	37,8	94,8	34,5	0,11	41,8
P6	7,7	581	388,0	310,3	40,0	309,0	85,9	70,0	41,9	83,5	43,3	0,12	71,5
P7	7,6	603	271,0	393,0	22,0	207,0	41,8	97,0	30,4	62,8	34,5	0,12	29,3
P8	7,3	1058	515,0	718,0	136,0	286,0	58,7	65,0	39,7	130,8	53,0	0,52	36,0
P9	7,5	692	317,0	527,0	20,0	215,0	95,6	43,0	31,3	81,3	32,5	0,10	34,3
P10	7,5	675	437,0	408,4	53,0	274,0	158,3	74,0	30,0	136,5	33,3	16,25	61,0
P11	7,6	938	397,0	804,0	46,0	271,0	101,3	81,0	32,1	93,8	46,0	0,01	53,3
P12	7,5	593	410,0	282,8	56,0	257,0	65,7	81,0	31,5	91,5	47,5	0,07	42,0
P13	7,7	648	300,0	483,0	13,0	276,0	63,1	41,0	33,1	71,5	34,8	0,08	50,5

Bicarbonato e Dureza em mg/l de CaCO₃

Tabela 11 – Conteúdo em elementos metálicos

Amostra	Níquel (µg/l)	Crômio (µg/l)	Ferro (µg/l)	Mangânes (µg/l)	Chumbo (µg/l)	Alumínio (µg/l)
F1	< 1,55	< 0,55	30	< 2,15	< 1,29	< 0,84
F3	< 1,55	< 0,55	50	2,30	< 1,29	2,56
F10	< 1,55	< 0,55	130	24,83	2,41	7,79
P3	< 1,55	< 0,55	50	< 2,15	< 1,29	5,16
P6	< 1,55	< 0,55	60	3,69	2,13	1,18
P7	< 1,55	< 0,55	30	3,96	< 1,29	1,35
P8	< 1,55	< 0,55	60	2,97	< 1,29	2,38
P9	< 1,55	< 0,55	60	< 2,15	2,65	2,37
P10	< 1,55	< 0,55	80	4,08	1,60	4,72
P11	< 1,55	< 0,55	70	< 2,15	< 1,29	< 0,84
P13	< 1,55	< 0,55	80	8,06	< 1,29	7,37

Tabela 12– Matriz de correlação dos parâmetros analisados

	pH	CE	DT	ST	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SiO ₂	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺
pH	1												
CE	-0,32	1											
DT	-0,26	0,72	1										
ST	-0,34	0,88	0,38	1									
Cl ⁻	-0,15	0,73	0,89	0,32	1								
HCO ₃ ⁻	-0,28	0,16	0,56	-0,02	0,35	1							
NO ₃ ⁻	-0,05	0,56	0,65	0,48	0,43	0,16	1						
SO ₄ ²⁻	-0,28	0,36	0,57	0,21	0,41	0,28	0,40	1					
SiO ₂	-0,39	0,28	0,37	0,08	0,44	0,49	0,02	0,06	1				
Ca ²⁺	-0,32	0,75	0,91	0,51	0,77	0,41	0,78	0,51	0,24	1			
Mg ²⁺	-0,09	0,55	0,86	0,20	0,82	0,53	0,34	0,53	0,39	0,58	1		
K ⁺	-0,07	-0,03	0,25	-0,11	0,09	0,27	0,46	0,15	-0,15	0,47	-0,12	1	
Na ⁺	-0,13	0,28	0,58	0,10	0,42	0,72	0,55	0,40	0,38	0,51	0,43	0,36	1

◈ Resultados

Os resultados pontuais referentes aos 31 pontos de água analisados, dos quais 4 são comuns às colheitas de águas altas e águas baixas (35 análises) apresentam-se em 9 mapas de distribuição de parâmetros físico-químicos, a saber:

- Condutividade eléctrica (uS/cm)
- pH
- Cloreto (mg/l)
- Sulfato (mg/l)
- Nitrato (mg/l)
- Cálcio (mg/l)
- Magnésio (mg/l)
- Sódio (mg/l)
- Dureza Total (mg/l CaCO₃)

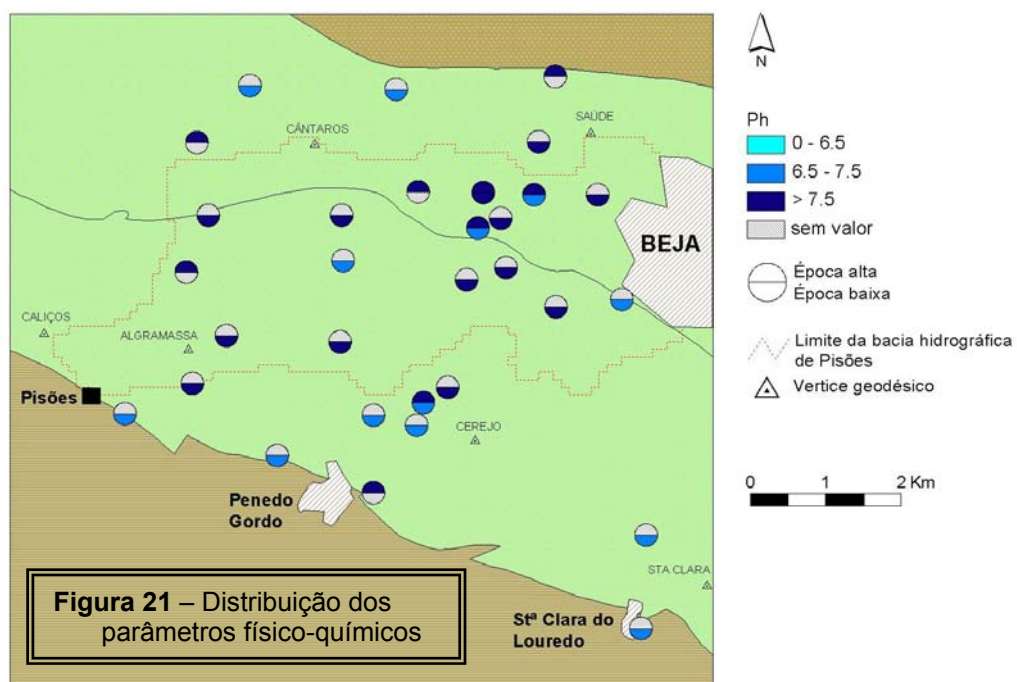
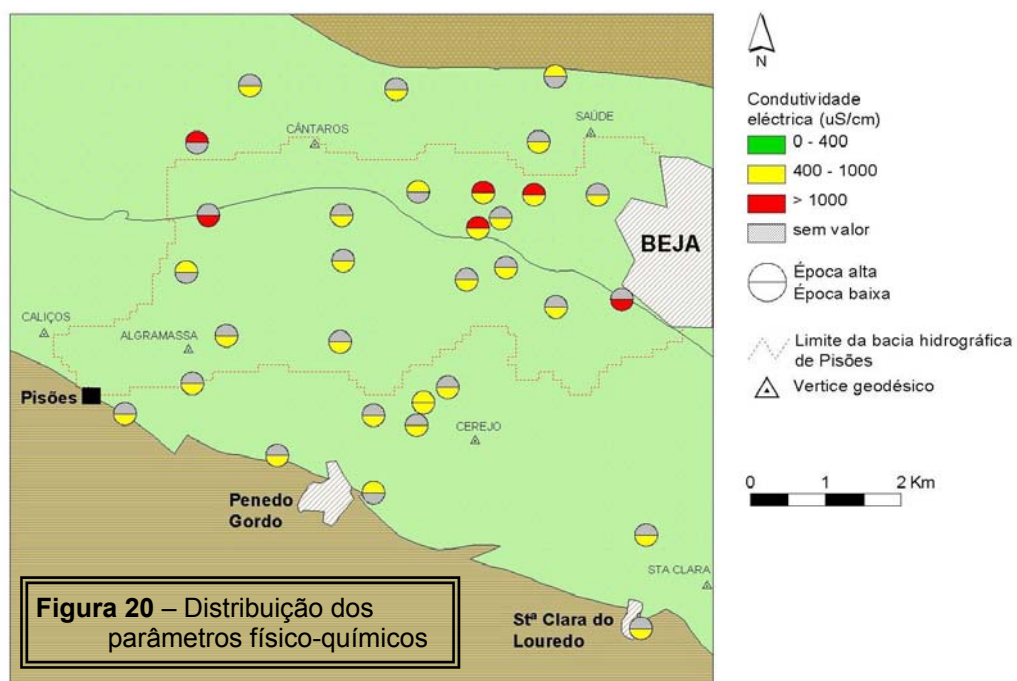
Os mapas temáticos encontram-se representados nas **figuras 20 a 28**.

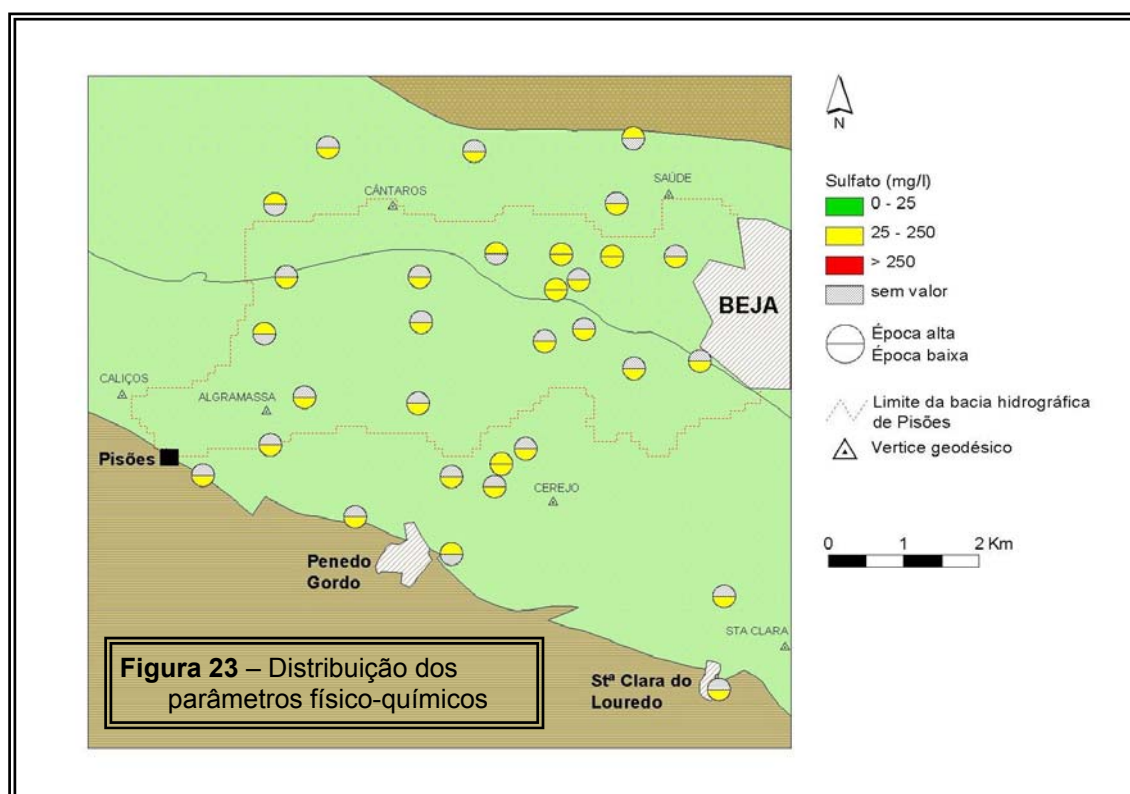
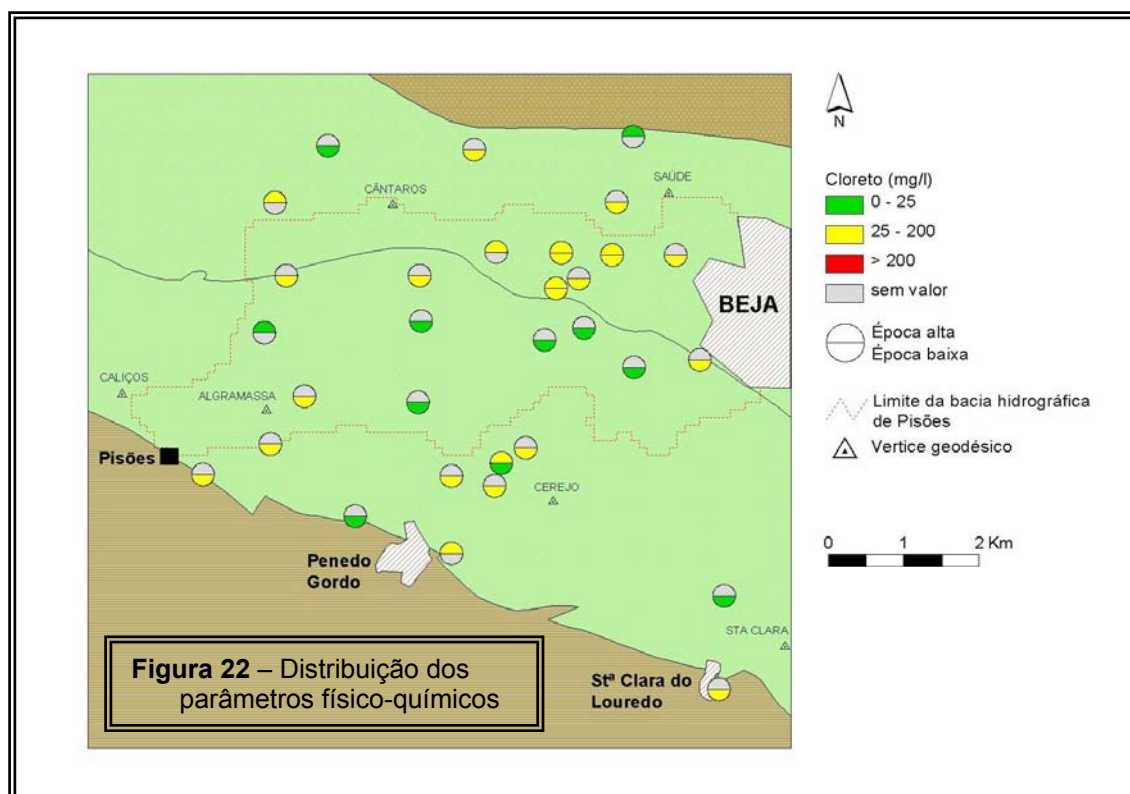
Os limites de classes considerados são normalmente os referidos na legislação (Dec. Lei 236/98), para o VMR e VMA.

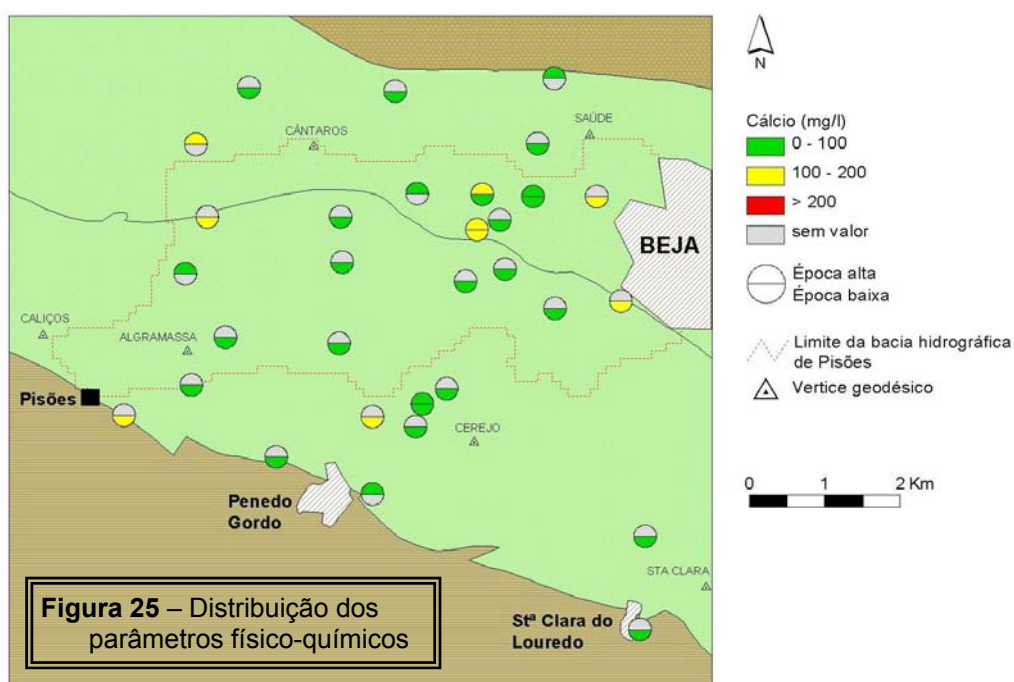
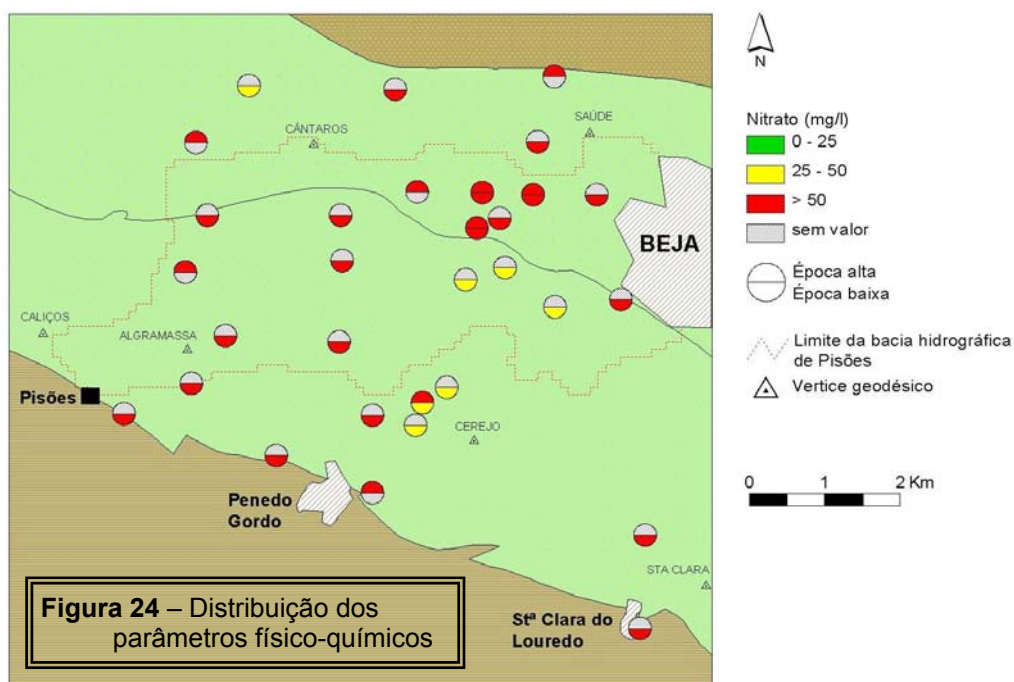
Na globalidade são águas mineralizadas (235 mg/l < ST < 804 mg/l), duras a muito duras de características incrustantes e de reacção ligeiramente alcalina.

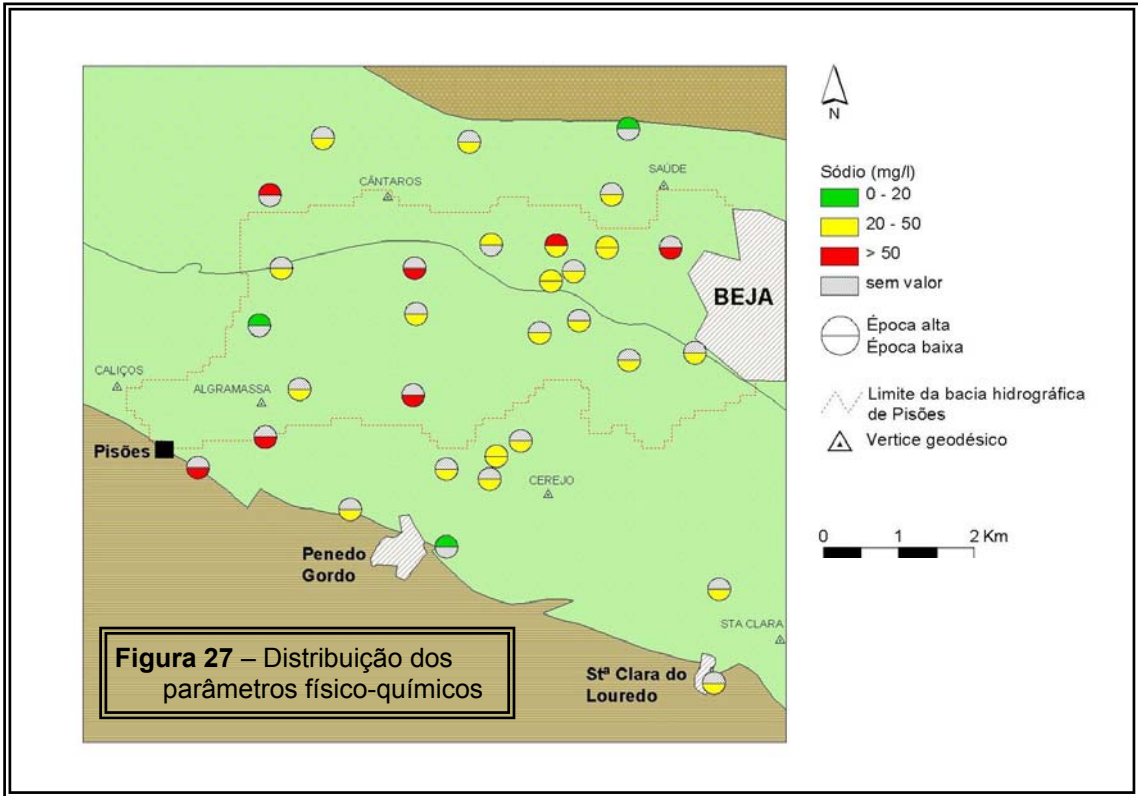
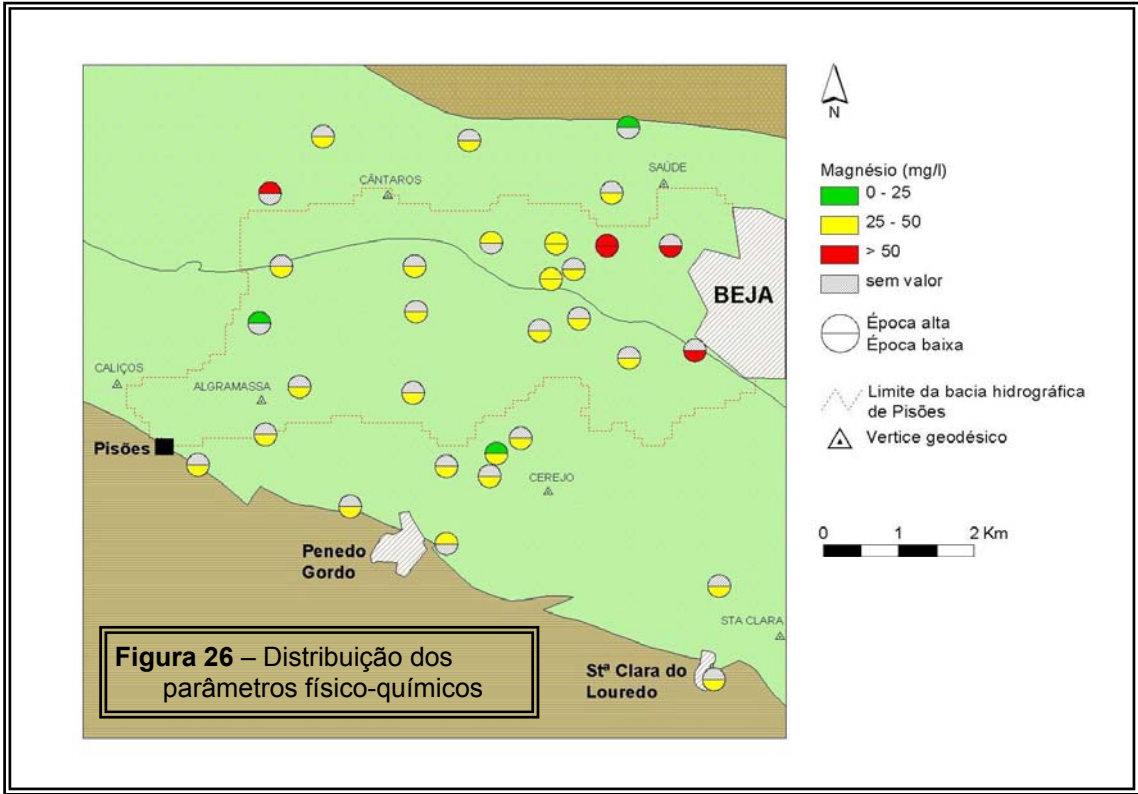
Todas as análises indicam um problema persistente de contaminação difusa por nitratos de origem agrícola.

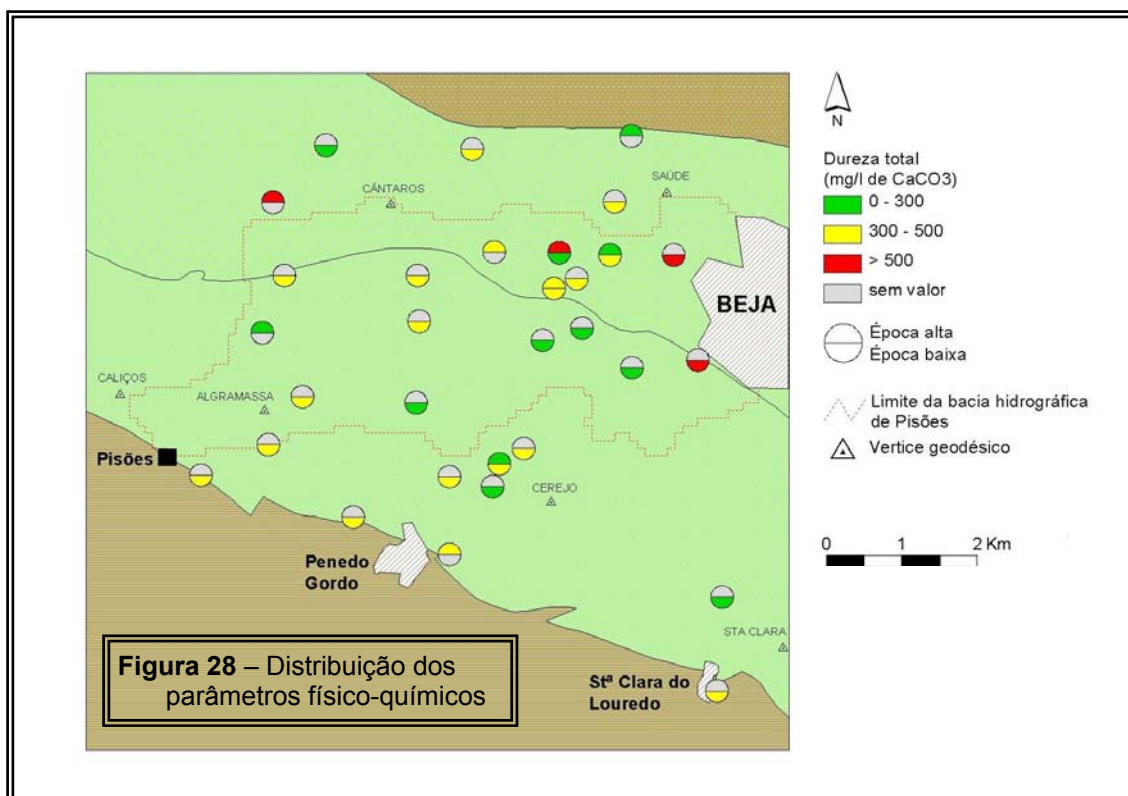
Os valores máximos admissíveis (VMA) pelo D.L. 236/98, que regulamenta a qualidade da água para consumo humano, são frequentemente excedidos no que respeita aos nitratos e em algumas amostras para o ião magnésio.











5.4 - Fácies Hidrogeoquímicas

A fácies hidroquímica é o resultado do compromisso entre as diferentes fases presentes na solução, em especial das relações iónicas que se estabelecem entre a fase sólida (mineral) e a água.

Os processos hidrogeoquímicos de que depende a actual composição da água subterrânea 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 ferromagnesianos, do grupo das piroxenas e das anfíbolos, fornecem Ca^{2+} à solução.

A fácies hidroquímica predominante é bicarbonatada cálcica e bicarbonatada calco-magnésiana, como se pode observar da projecção das 23 amostras de Abril de 1998 em diagrama de Piper (**figura 29**).

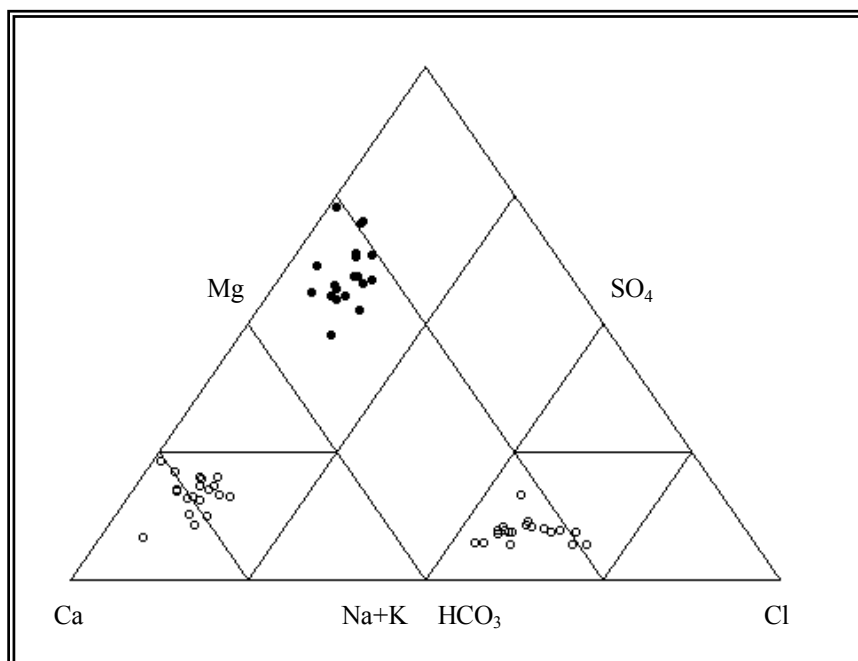
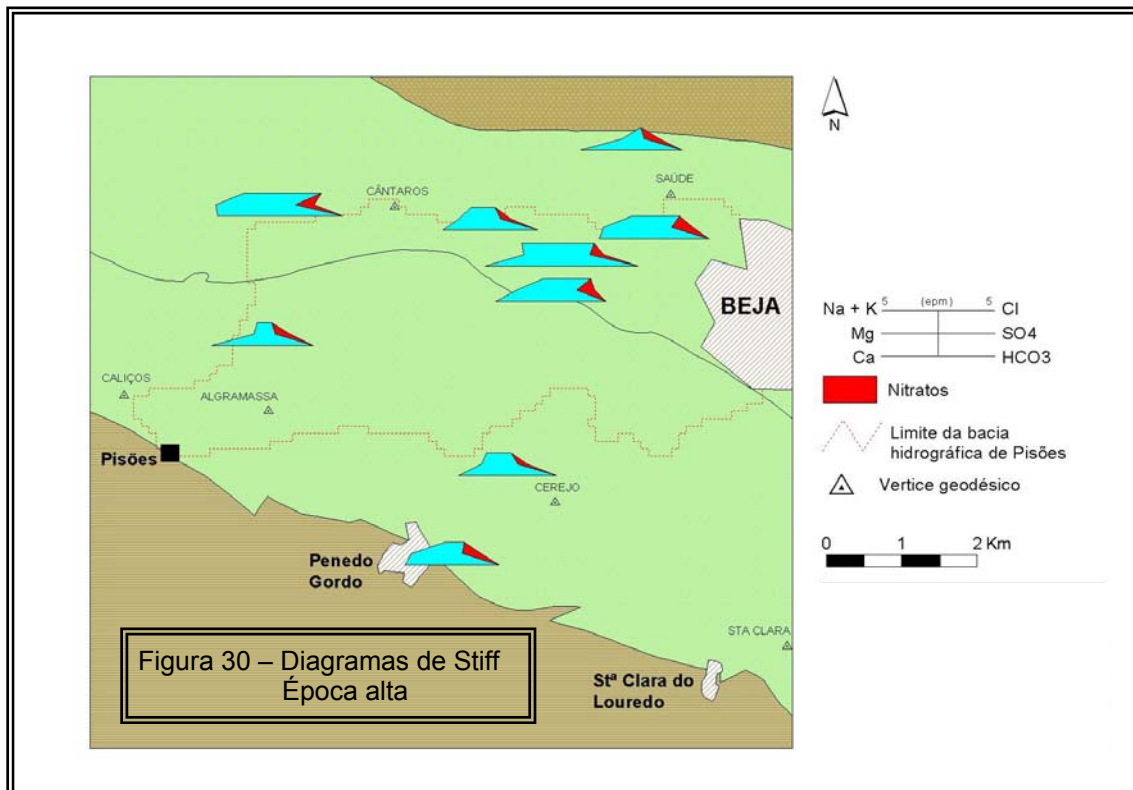


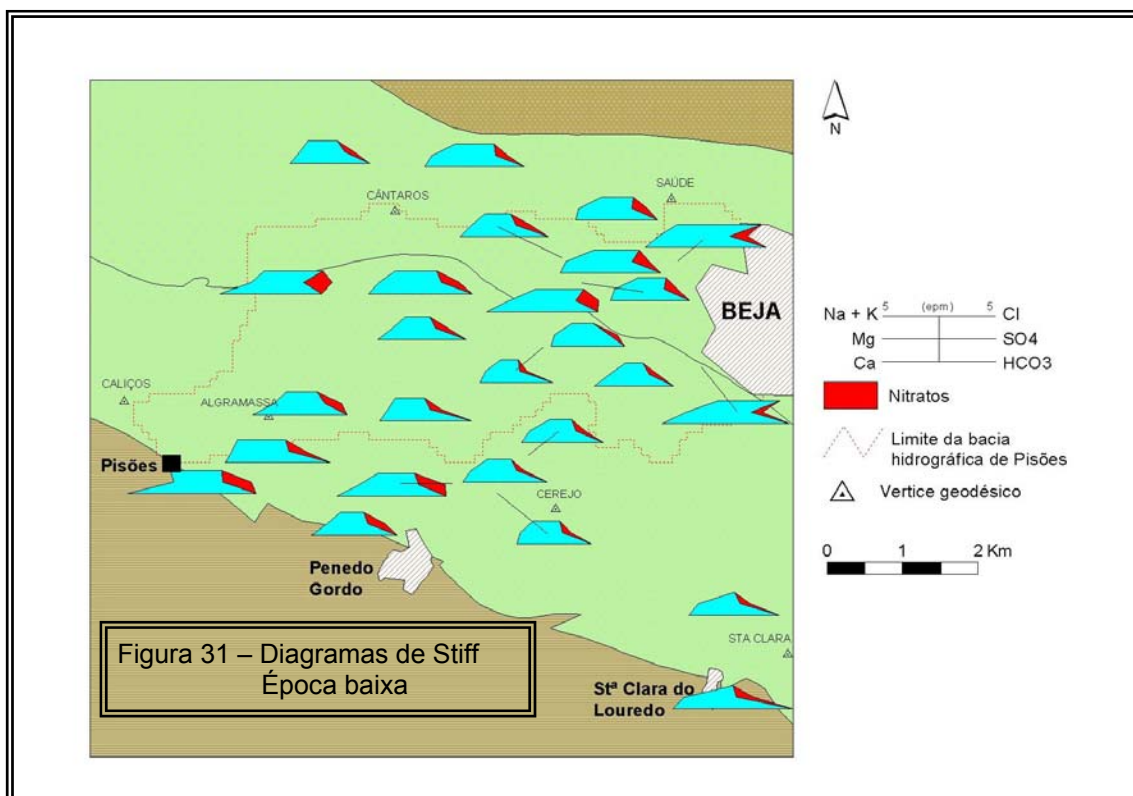
Figura 29 – Diagrama de Piper para as 23 amostras de Abril de 1998

A distribuição espacial dos diagramas de Stiff para as colheitas de águas altas e águas baixas nos 31 pontos analisados evidência a predominância do anião bicarbonato e do ião cálcio (**figuras 30 e31**).

Algumas amostras apresentam uma forte presença do ião nitrato. Este aspecto será desenvolvido adiante no subcapítulo dedicado à avaliação de risco da ocorrência de

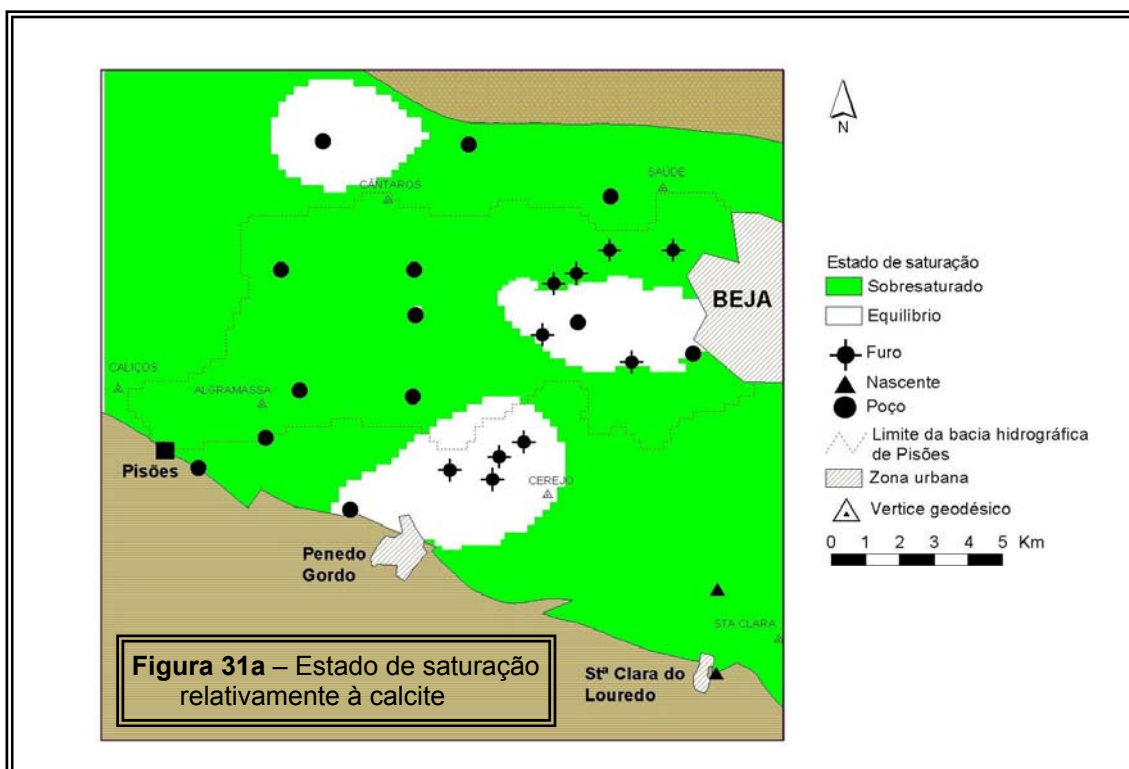


nitratos com base em técnicas geoestatísticas avançadas, nomeadamente através da krigagem da indicatriz do VMA para o referido ião.



5.5 - Equilíbrios químicos

O estado de equilíbrio hidroquímico representado pelo índice de saturação dos minerais do sistema carbonatado, obtido a partir do programa HIDSPEC2 (Carvalho & Almeida, 1989) está representado na **tabela 13**. Constata-se que cerca de 40% das amostras estão sobresaturadas relativamente à calcite (**figura 31a**).



Em situações de clima árido e seco, como acontece no Alentejo, produzem-se depósitos carbonatados de origem química, conhecidos como “caliços” ou “calcretos”. Na região de Beja, estes depósitos situam-se imediatamente abaixo do solo (entre 1 e 4 metros) e são resultado da deposição da calcite e outros carbonatos associados às oscilações do nível freático em clima árido, na presença de águas sobresaturadas em carbonato de cálcio.

A **tabela 13** apresenta alguns índices hidrogeoquímicos das 23 amostras colhidas em Abril de 1998.

Tabela 13– Índices hidrogeoquímicos

Amostra	SAR	ITB	IS Calc	IS Dol	IS Gesso	Na/Cl	Ca/Mg	Ca/HCO ₃
F1	0,85	0,20	1,10	0,49	0,02	0,81	1,11	0,96
F2	0,82	-0,13	0,85	0,27	0,01	2,23	1,23	0,77
F3	0,98	-0,16	0,68	0,18	0,01	2,24	1,12	0,73
F4	0,80	0,30	1,26	0,47	0,03	0,71	1,49	1,33
F5	0,95	-0,09	1,00	0,31	0,02	1,60	1,52	1,13
F6	1,34	0,30	1,86	1,29	0,02	0,70	1,24	1,01
F7	0,57	-0,08	1,23	0,44	0,01	1,81	1,55	0,92
F8	0,65	-0,07	1,02	0,38	0,01	1,53	1,24	0,85
F9	0,68	-0,13	1,32	0,65	0,01	2,60	1,19	0,68
F10	0,66	0,01	1,48	0,89	0,01	1,00	1,10	0,93
P1	1,12	-0,22	0,62	0,13	0,01	3,27	1,31	0,83
P2	0,88	-0,15	0,95	0,28	0,01	2,68	1,47	0,88
P3	1,01	0,29	1,58	0,63	0,02	0,71	1,85	1,69
P4	0,80	-0,04	7,24	22,91	0,01	1,17	1,07	0,92
P5	0,95	-0,12	1,26	0,43	0,02	1,95	1,67	1,09
P6	1,62	-0,23	1,91	1,41	0,02	2,76	1,17	0,67
P7	0,76	-0,01	0,83	0,28	0,02	2,05	1,10	0,76
P8	0,68	0,59	1,07	0,35	0,02	0,41	1,50	1,14
P9	0,83	-0,14	0,89	0,23	0,01	2,64	1,52	0,94
P10	1,24	-0,17	1,70	0,52	0,03	1,77	2,49	1,24
P11	1,15	-0,12	1,48	0,83	0,02	1,79	1,24	0,86
P12	0,91	-0,03	1,10	0,48	0,02	1,16	1,17	0,89
P13	1,25	-0,26	1,55	0,89	0,01	5,99	1,25	0,65

índices em meq/l equilíbrio calcite (0.79<IS<1.26) subsaturado calcite (IS< 0.79) sobresaturado calcite (IS> 1.26)

5.6 - Modelação Hidrogeoquímica PHREEQC

Apresenta-se de seguida uma hipótese de modelação hidrogeoquímica a partir do software PHREEQC dos fenómenos que influenciam a composição das águas estudadas.

Para além da dissolução das plagioclases cálcicas, os outros processos que influenciam a composição da água são o uso excessivo de fertilizantes (200 a 300 kg/ha/ano para cultura cerealífera) e a rega acompanhada por evapotranspiração (“reciclagem cíclica”). No caso do girassol e do milho que constituem as culturas de rotação não são usados habitualmente fertilizantes embora sejam abundantemente regadas (4000 e 5300 m³/ha/ano respectivamente).

Como havia já sido abordado por Stigter et al. (1998) relativamente à Campina de Faro o uso combinado de fertilizantes azotados e regadio em situações de clima semi-árido podem degradar irremediavelmente a qualidade da água subterrânea.

Em situações de evapotranspiração acentuada da água de rega ocorrem fenómenos de troca iónica que promovem a precipitação de calcite (Appelo & Postma, 1993).

Numa primeira fase as amostras foram agrupadas de acordo com a concentração em Cl e NO₃ e também de acordo com as razões Na/Cl e Ca/Mg.

Definiram-se 2 grupos principais de águas:

Água do tipo 1 - É constituída pelas amostras F10, P4 e P12 que no conjunto apresentam uma razão Na/Cl elevada, em principio relacionada com a libertação de sódio das plagioclases das rochas gabróicas. O cálcio é o catião dominante e o bicarbonato o anião dominante. O equilíbrio entre os 2 iões mostra uma concentração ligeiramente superior do anião ($\text{Ca}/\text{HCO}_3 = 0.9$);

Água do tipo 2 - É constituída pelas amostras F1, F4, F6, P3 e P8 que no conjunto apresentam uma razão Na/Cl mais baixa (0.7) e teores médios em nitrato e cloreto superiores. O cálcio é o catião dominante e o bicarbonato o anião dominante. O equilíbrio entre os 2 iões mostra uma concentração superior do catião ($\text{Ca}/\text{HCO}_3 = 1.3$).

A modelação de processos hidrogeoquímicos relacionados com a alteração dos silicatos é complexa e não cabe no âmbito desta apresentação. Com o modelo referido pretende-se simular os processos que podem explicar o percurso de uma água menos mineralizada (água do tipo 1) até uma água mais mineralizada correspondente ao conjunto de amostras da água de tipo 2. O ficheiro de input do programa está indicado na **figura 32**.

O procedimento utilizado na modelação pode ser descrito de forma simplificada em 3 etapas:

- Introdução da composição média da água 1 (média das amostras P4, P12 e F10);
- Simulação do estado de equilíbrio com a calcite e introdução de um permutador catiónico X. Assume-se que a capacidade de troca catiónica é de 500 meq/l, o que equivale a 5-10 meq/100 gramas de solo. Aumentar este valor não altera significativamente o resultado do modelo;
- Introdução do factor evapotranspiração responsável pelo processo de reciclagem cíclica, em equilíbrio com a calcite e o permutador do solo até atingir a concentração de cloreto do tipo de água 2 (média das amostras P3, F1 e F4). Considera-se o ião cloreto um ião conservativo.

Não foram adicionados mais adubos na simulação uma vez que estas práticas já estão inseridas na composição do tipo de água 1. Os resultados obtidos apresentam-se na **tabela 14**.

Tabela 14 – Resultados da modelação hidrogeoquímica (meq/l)

	pH	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄	HCO ₃	NO ₃
Tipo de água 1	7,93	1,51	0,009	2,01	1,80	1,35	0,64	4,42	1,20
Tipo de água 2	7,57	1,89	0,002	2,80	1,93	2,57	0,78	4,34	2,02
Modelo	7,35	2,07	0,012	2,93	2,68	2,57	1,22	4,32	2,28

```

SELECTED_OUTPUT
file bejafim.prn
-tot Na K Mg Ca Cl C(4) N(5) S(6)
-mol Na+ HCO3- NaX KX MgX2 CaX2
-Alkalinity
-water
SOLUTION 1 Tipo de água 1 (água doce)
temp      20
pH         7.93
pe         14 O2(g) -0.68
Na         1.51
K          0.01
Ca         2.01
Mg         1.80
Alkalinity 4.42
Cl         1.35
S(6)       0.64
N(5)              1.20
EQUILIBRIUM_PHASES 1
  Calcite      0.0      10.0
  CO2(g)      -2.0      10.0
EXCHANGE 1
  X           0.5
  -equilibrate with solution 1
SAVE solution 1
END
USE solution 1
REACTION 1
  H2O         -26.346
  1 moles
SAVE solution 2
END
USE solution 2
MIX
  2           1.904
SAVE solution 3
END
USE solution 3
EQUILIBRIUM_PHASES 2
  Calcite      0.2      10.0
  CO2(g)      -2.0      10.0
USE exchange 1
END

```

Figura 32 – Ficheiro de input do programa PHREEQC

Os resultados do modelo mostram claramente que é possível ocorrer o processo de “reciclagem cíclica” (Stigter & Carvalho Dill, 1999) nas zonas de circulação lenta de água.

Como se pode observar na **tabela 14**, as concentrações modeladas aproximam-se das concentrações médias do tipo de água 2. O processo de reconcentração de sais associado à rega sobre o efeito de forte evapotranspiração permite explicar as concentrações mais elevadas de NO_3 , não sendo preciso adicionar nitrogénio ao modelo.

A prática de rega com água subterrânea, por si só, pode ameaçar a qualidade de água subterrânea. O erro introduzido em não ter em conta o processo de alteração da rocha gabro-diorítica, que produz sílica dissolvida, é desprezável, uma vez que essas reacções são muito lentas quando comparadas com os processos simulados no modelo.

A abordagem desenvolvida, embora de uma forma preliminar, permite uma compreensão mais detalhada dos fenómenos de modificação da composição da água em áreas de agricultura intensiva sob influência de clima semi-árido, como foi demonstrado de forma pormenorizada por Stigter et al. (1998) e Stigter & Carvalho Dill (1999).

Os principais factores naturais que concorrem para as características hidroquímicas das águas da região de Beja são a dissolução de minerais do grupo das plagioclases cálcicas responsáveis pela fácies bicarbonatada cálcica dominante e que vão conferir grande dureza à água subterrânea e tendência para formar precipitados carbonatados.

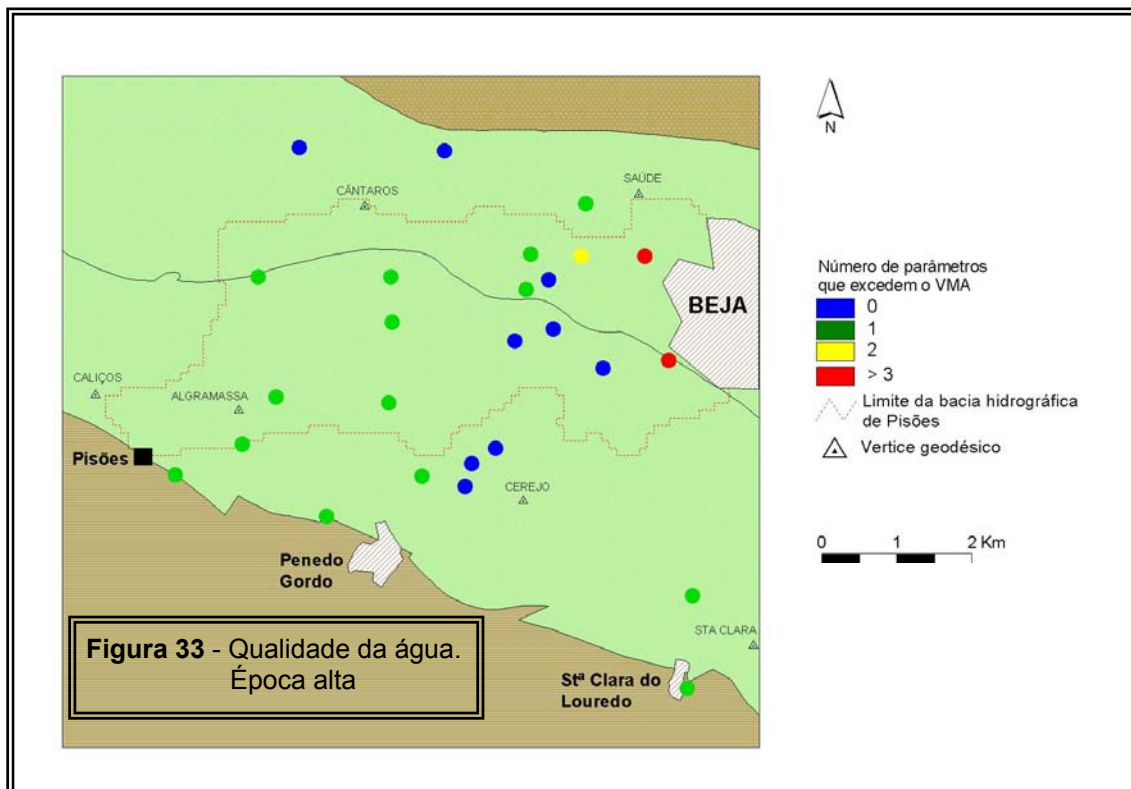
O factor humano, responsável pelo uso da água do aquífero para rega pode induzir um efeito de reconcentração de sais na água de retorno ao aquífero uma vez que se trata de uma área com grandes taxas de evapotranspiração. A evapotranspiração de águas sobresaturadas em cálcio provoca precipitação de calcite e fenómenos de troca catiónica como se pretendeu simular no modelo hidrogeoquímico aplicado (Paralta *et al.* 2000).

5.7 - Qualidade da Água

◈ Qualidade da água para diversos usos

A qualidade da água para os vários usos depende do número de parâmetros que excedem o VMA em cada origem de água. O mapa da **figura 33**, obtido das colheitas em águas altas, mostra claramente que a maioria dos pontos possui um elemento superior ao consignado, que é o ião nitrato. Pontualmente outros parâmetros como o magnésio, a dureza total e o potássio (1 amostra com valor anómalo) podem exceder os valores

legais, mas não são de forma nenhuma representativos do sistema aquífero neste sector de Beja.



◈ Qualidade da água para consumo humano

Com base em cerca de 50 análises físico-químicas realizadas entre 1997 e 1999 é possível definir o campo de variação hidroquímico adaptado ao diagrama de qualidade da água para consumo humano de acordo com o Dec. Lei 236/98 e normas da CE (1990) como se apresenta na **figura 34**.

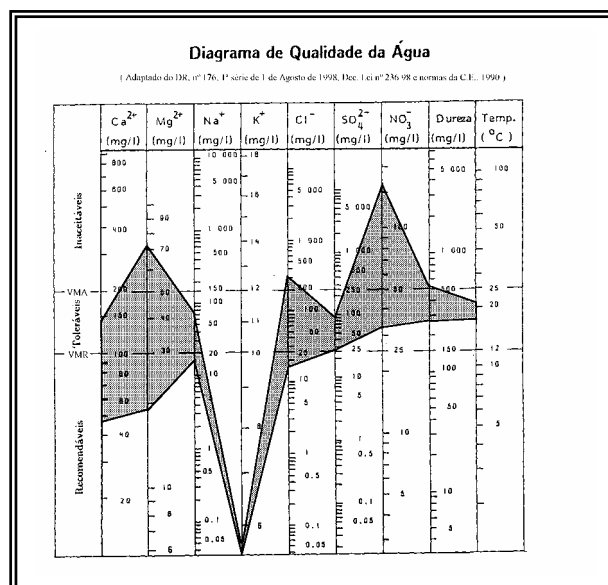


Figura 34 – Campo de variação hidroquímico das águas da região ocidental de Beja

Os valores máximos admissíveis (VMA) pelo D.L. 236/98, que regulamentam a qualidade da água para consumo humano, são frequentemente excedidos no que respeita aos nitratos e em algumas amostras para o ião magnésio.

Relativamente à qualidade da água para consumo humano constata-se uma situação generalizada e persistente de contaminação 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.

O aquífero dos Gabros de Beja apresenta potencialidades produtivas muito interessantes para abastecimento público, sendo a sua principal limitação o elevado conteúdo em nitratos.

O conteúdo em nitratos na água subterrânea desta região está intimamente ligado às práticas agrícolas das últimas décadas, ao ano hidrológico e aos tipos de cultura praticado, sendo possível constatar grandes variações sazonais deste elemento (Paralta & Ribeiro, 1999), como se pode observar na **figura 35**.

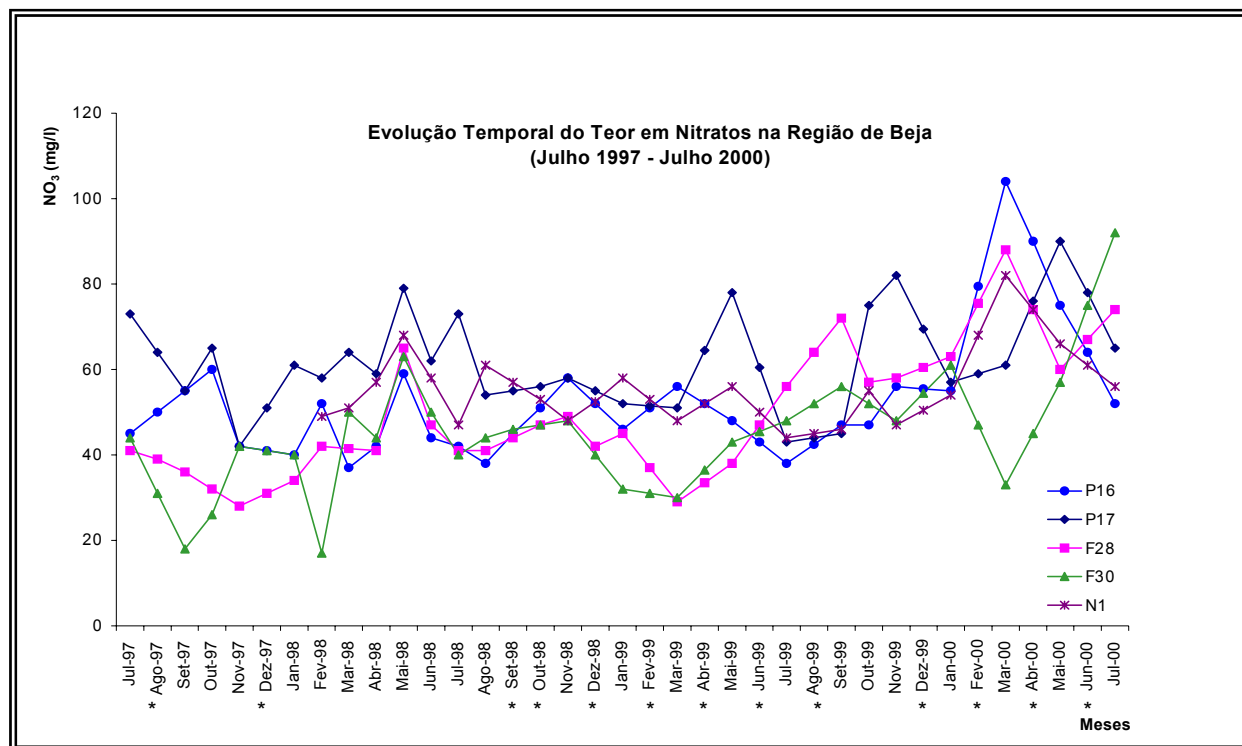
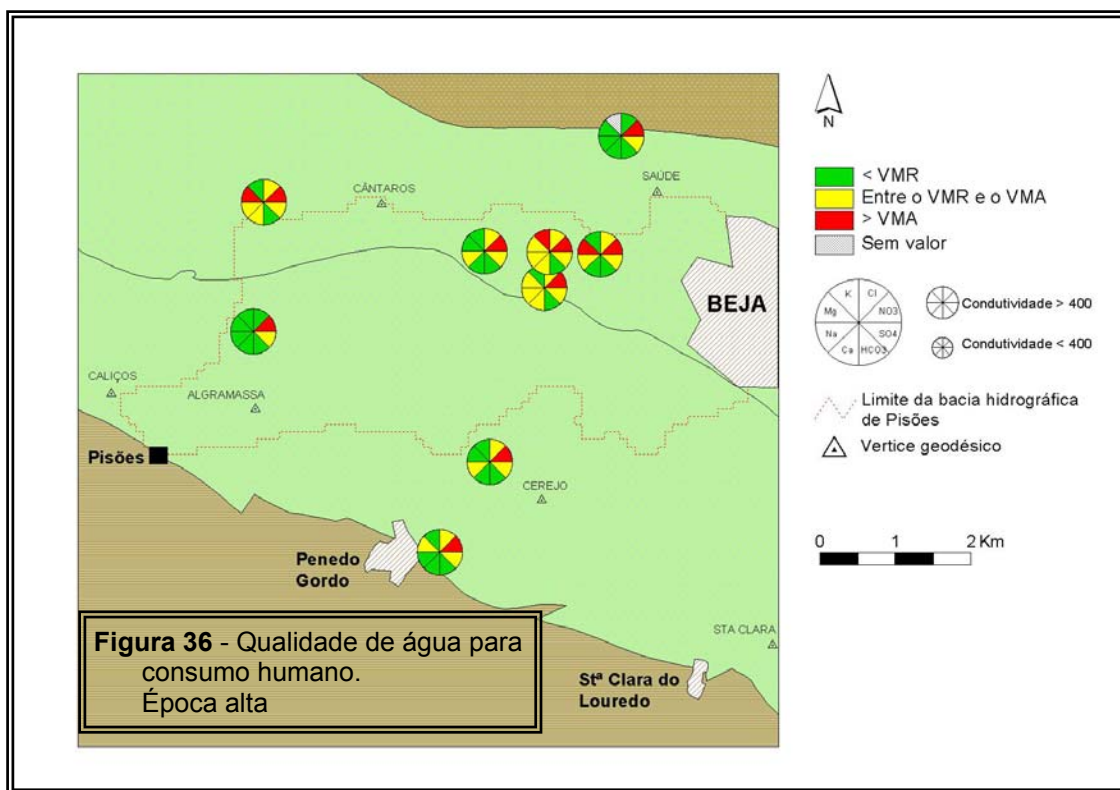
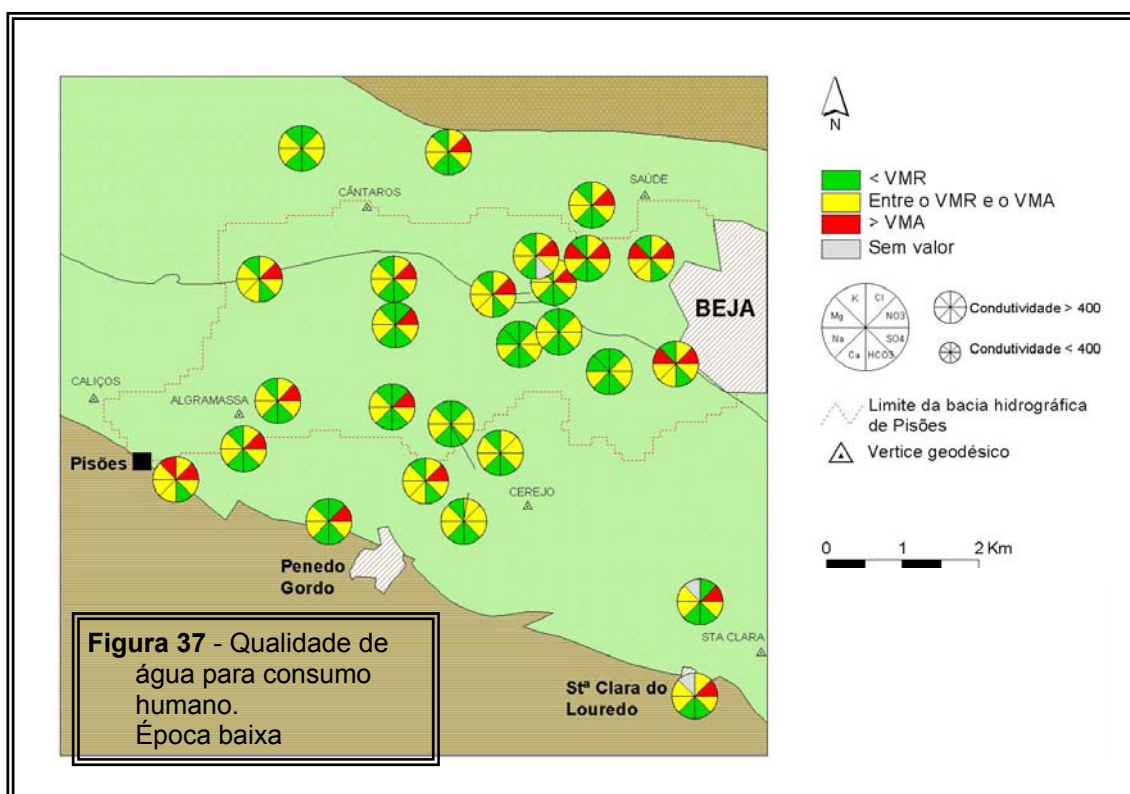


Figura 35 – Evolução do teor em nitratos em 5 captações da região de Beja. Nos meses assinalados (*) não foi efectuada medição (valor extrapolado)

Os valores máximos recomendados (VMR) são normalmente ultrapassados no que respeita aos elementos cloreto, sulfato, sódio, magnésio e condutividade eléctrica.



Apresenta-se seguidamente a cartografia dos elementos maiores (**figuras 36 e 37**) de acordo com as 3 classes consideradas (menor que VMR, entre VMR e VMA e maior que VMA).



◈ Qualidade da água para rega

Na região ocidental de Beja, a aptidão da água para uso agrícola corresponde às classes C_2S_1 a C_3S_1 . Mais de 50% das águas analisadas correspondem à classe C_2S_1 (**figuras 39 e 40**).

O perigo de alcalinização dos solos é baixo, mas o risco de salinização é médio a elevado, não sendo de aconselhar o regadio em culturas sensíveis e/ou solos de reduzida permeabilidade (**figura 38**).

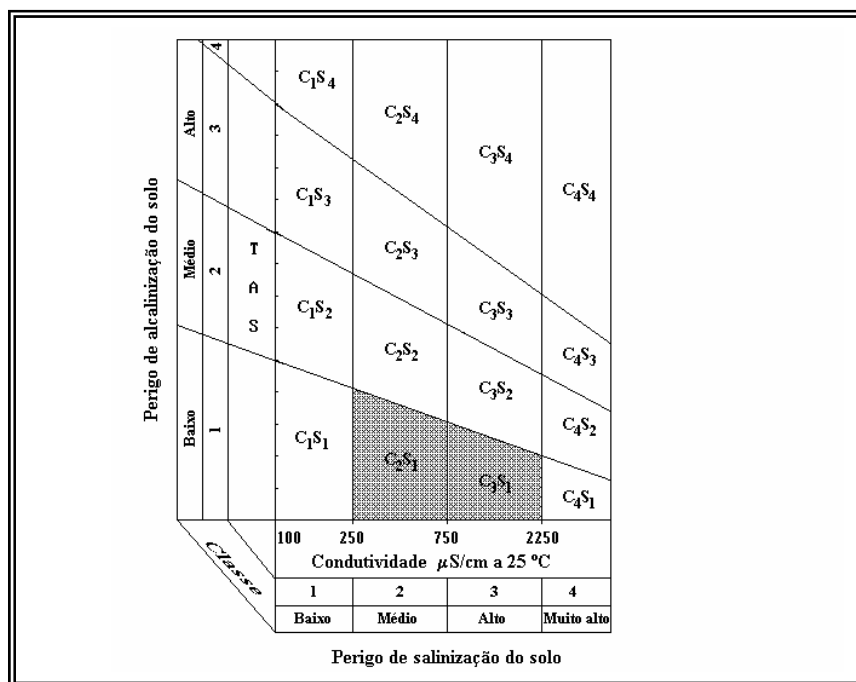
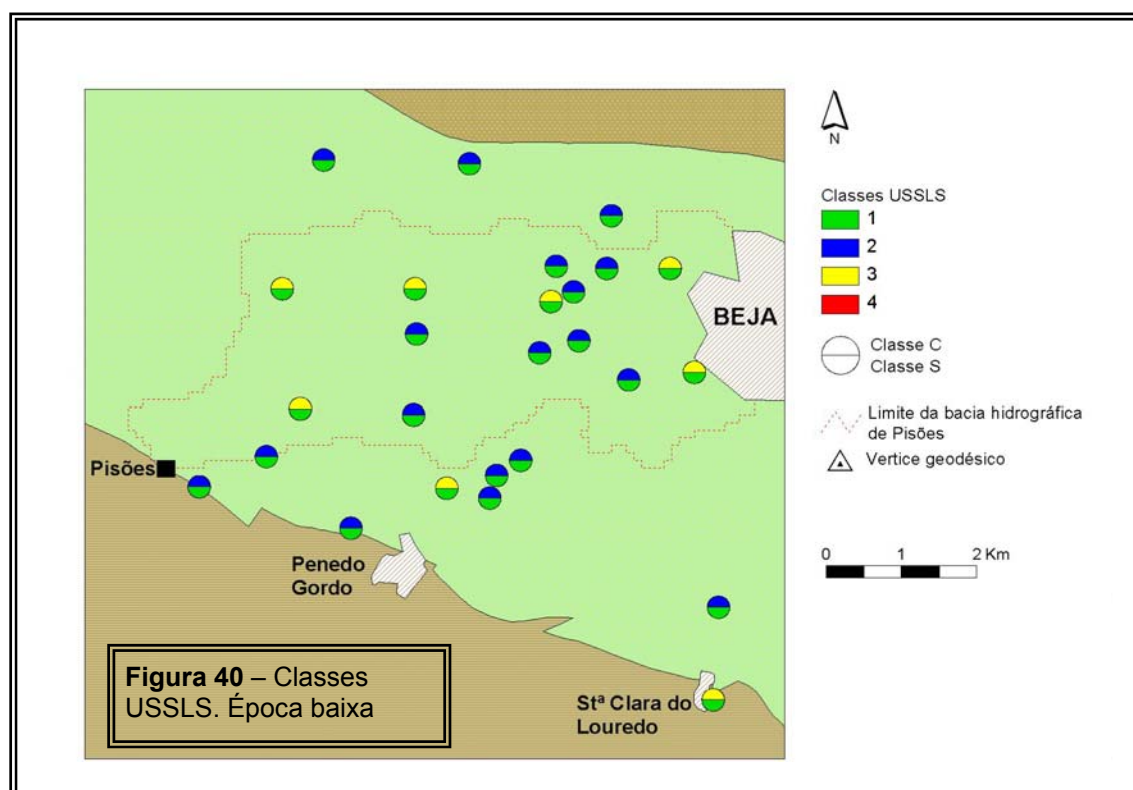
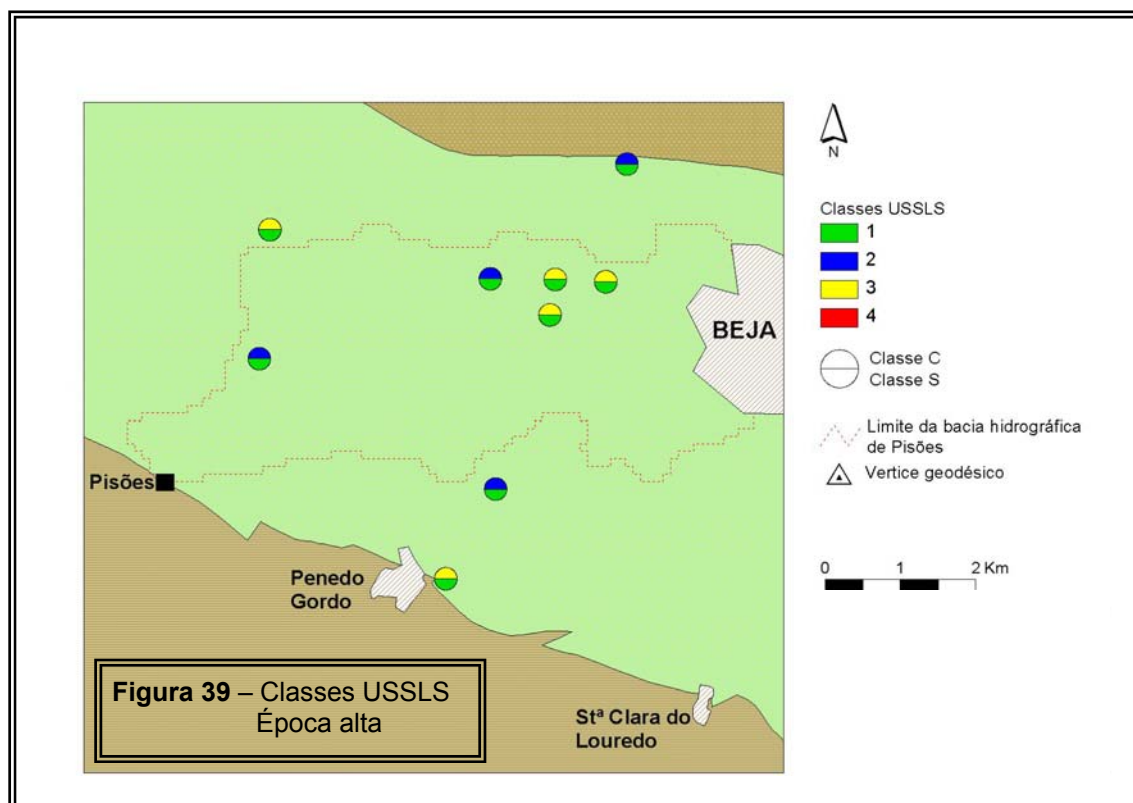


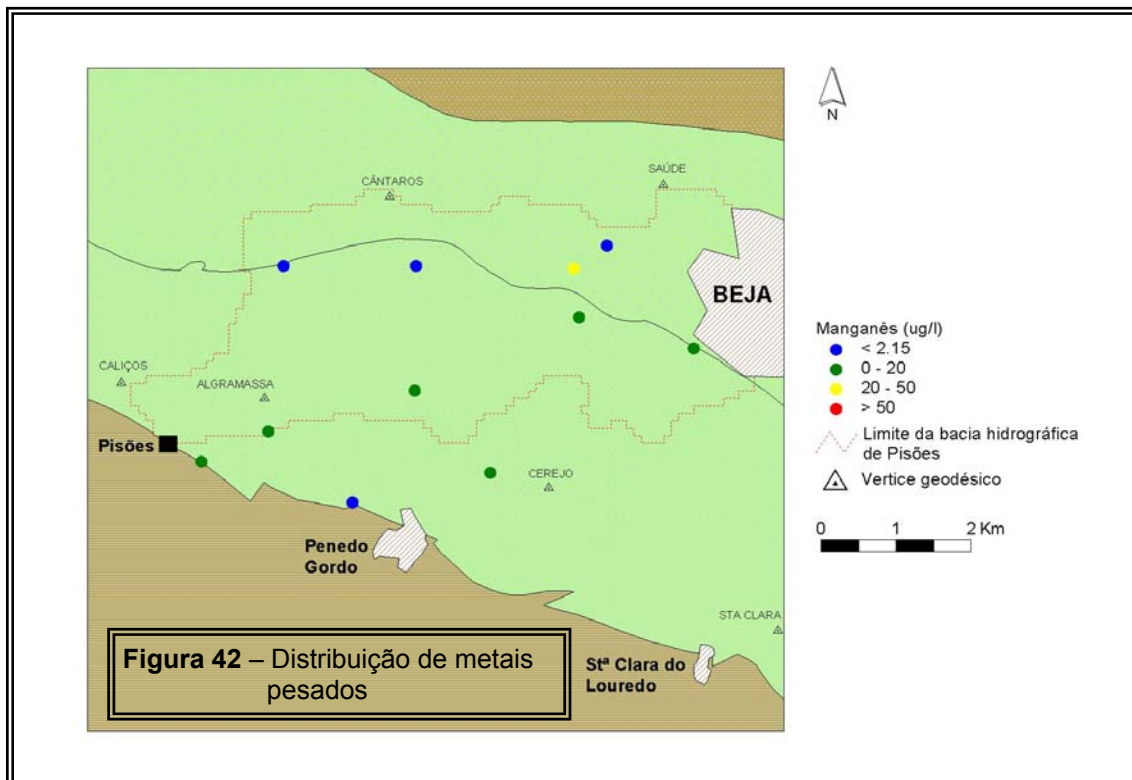
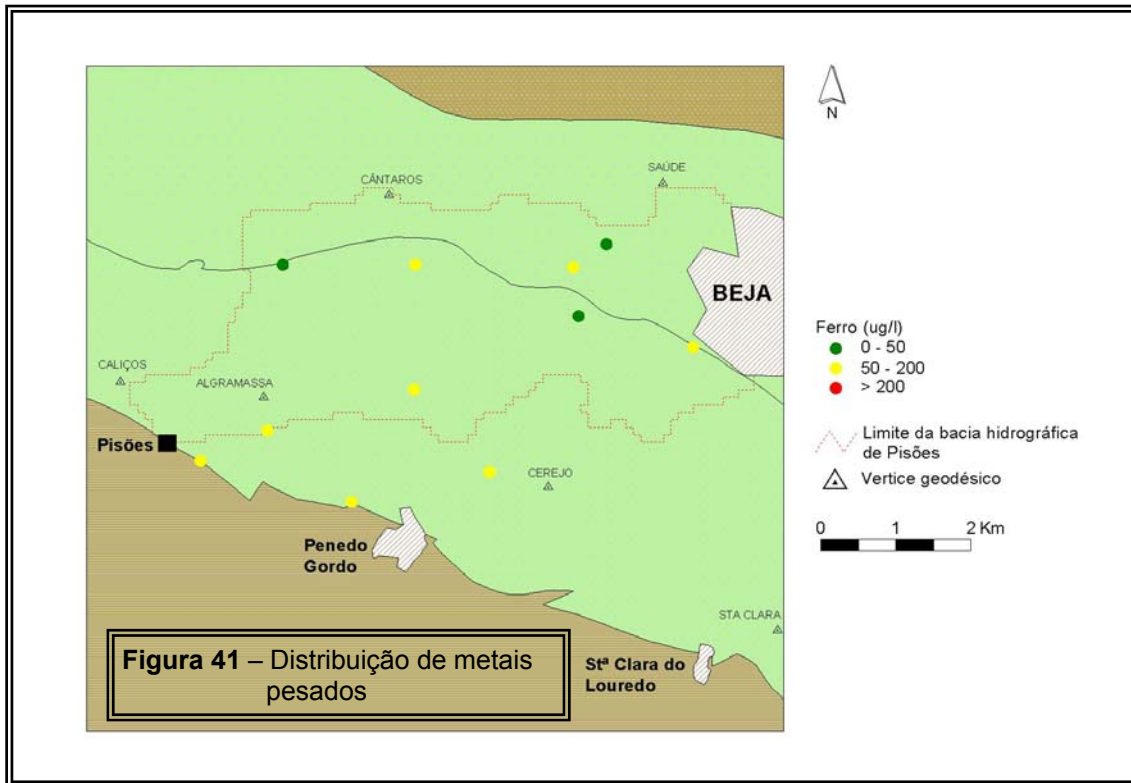
Figura 38 – Diagrama USSLS com indicação das classes das águas analisadas

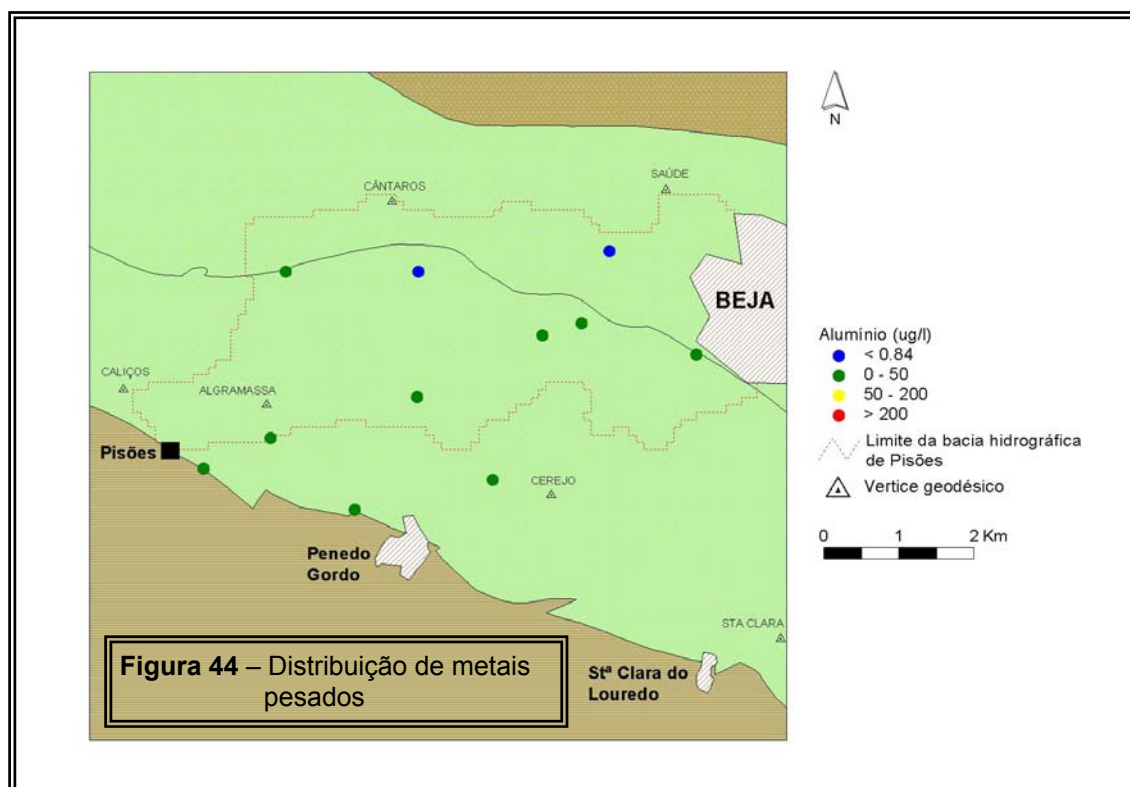
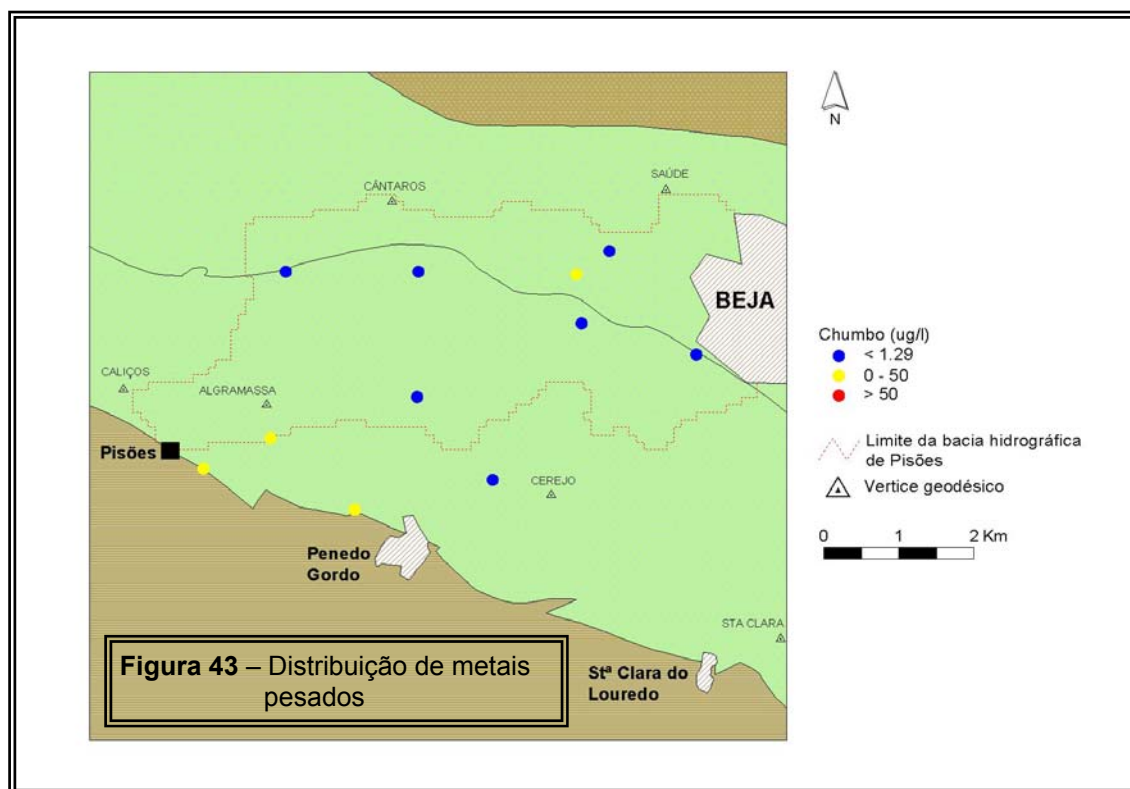
◈ Metais Pesados

Na área de Beja realizou-se em Abril de 1998 uma despistagem para determinação de metais pesados não tendo sido detectadas concentrações perigosas desses elementos. Nas 11 colheitas realizadas, o níquel e o crómio encontravam-se abaixo dos limites de detecção, respectivamente 1.55 ug/l e 0.55 ug/l.

Apresentam-se os 4 mapas correspondentes aos elementos Ferro, Manganês, Chumbo e Alumínio (**figuras 41 a 44**).







5.8 - Risco de contaminação

Os terrenos da mancha gabro-diorítica que se estende entre Ferreira do Alentejo, Beja e Serpa (aproximadamente 350 km²) são dos mais férteis do Alentejo e portanto estão sujeitos a grande intensidade agrícola, com o consequente incremento de adubos e pesticidas.

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.

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 de azoto amoniacal (NH₄⁺), 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..

Outro factor potenciador do agravamento da qualidade do solo e da água é a utilização dos recursos próprios do aquífero para rega induzindo um efeito de “reciclagem cíclica” dos elementos presentes na água e alguma salinização dos terrenos, provocadas por elevados índices de evapotranspiração (Paralta *et al.* 2000).

O conteúdo em nitratos na água subterrânea desta região está intimamente ligado às práticas agrícolas, ao ano hidrológico e aos tipos de cultura praticado, sendo possível constatar grandes variações sazonais deste elemento, bem patentes nas diversas cartas de risco ou de iso-probabilidades relativamente ao VMA de nitratos apresentadas em Paralta & Ribeiro (1999).

◆ Ocupação Agrícola

O uso do solo na área de estudo caracteriza-se pela monocultura de sequeiro, nomeadamente trigo (**figura 45**). O sistema de rotação inclui normalmente o milho e o girassol. Nas culturas de sequeiro, segundo dados colhidos no local aplicam-se entre 180 a 200 kg/ha de adubo de fundo, entre Novembro e Dezembro e mais 200 kg/ha de adubo de cobertura em Fevereiro/Março, se necessário.

As restantes culturas, como o girassol e o milho não são normalmente adubadas, embora sejam abundantemente regadas, respectivamente 4000 e 5300 m³/ha/ano, segundo simulações de Leal (1995) para os solos de Beja admitindo 60% de eficiência de rega.

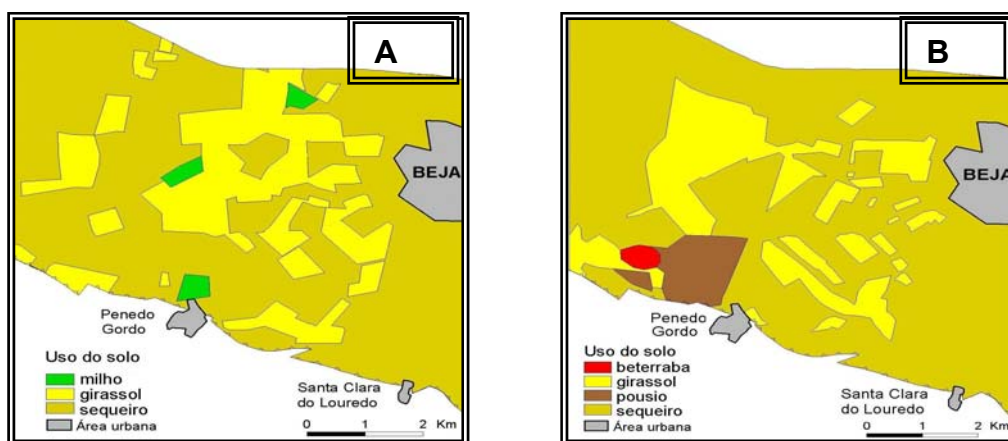


Figura 45 – Usos do solo na área de estudo nos anos agrícolas de 1998/99 (A) e 1999/2000 (B)

5.9 - Análise variográfica e mapas de risco

Na análise da evolução da qualidade da água relativamente ao teor em nitratos aplicaram-se um conjunto de técnicas estocásticas com o objectivo de conhecer o padrão de intercorrelação espacial do contaminante e finalmente elaborar mapas de risco ou de isoprobabilidades.

Com o objectivo de determinar a probabilidade de, num certo local desconhecido, a concentração do poluente exceder o valor máximo admissível (VMA) construiu-se a variável indicatriz usando uma codificação binária, 0 ($Z \leq 50$ mg/l) ou 1 ($Z > 50$ mg/l).

Na **figura 46** apresenta-se o esquema conceptual da metodologia seguida e os parâmetros obtidos.

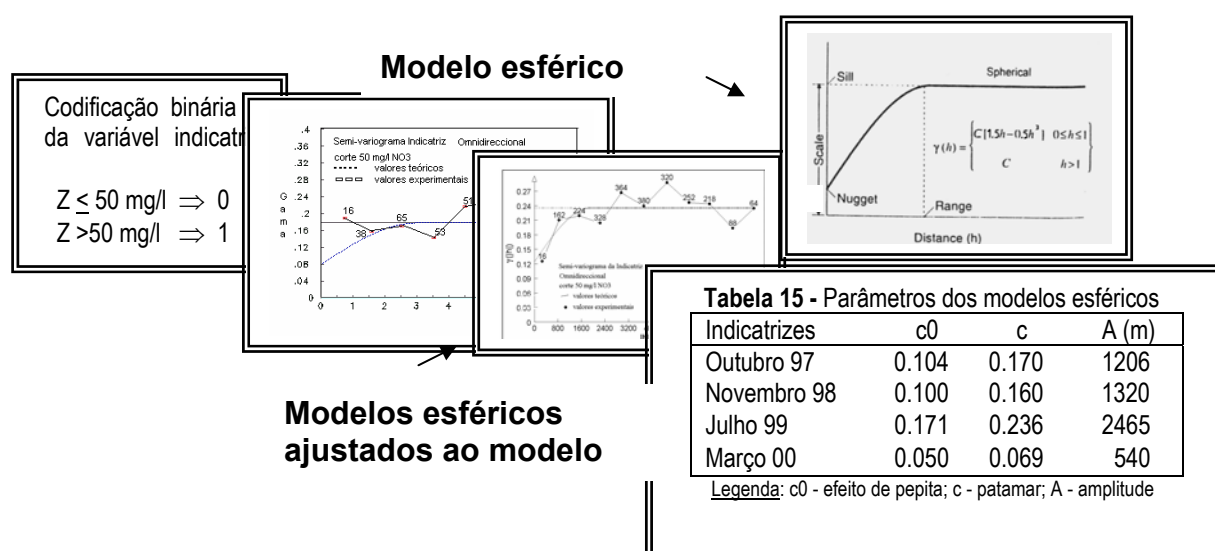


Figura 46 - Esquema conceptual da metodologia utilizada

Foram analisadas várias direcções de pesquisa optando-se finalmente pelo variograma omnidireccional, (0°-180°) por ser o melhor estruturado para todas as campanhas.

Considerando que os valores de nitratos para cada período assumem uma estacionaridade de segunda ordem, utilizou-se a krigagem sobre a variável indicatriz como metodologia de estimação.

Para efeitos de krigagem, ajustaram-se os modelos teóricos do tipo esférico aos semivariogramas experimentais das indicatrizes consideradas (**figura 47**).

Definidos os modelos estruturais que caracterizam a variabilidade espacial do fenómeno de poluição realizou-se uma estimação por krigagem sobre uma malha de 100 metros sobreposta à área em estudo. Para a análise variográfica simples e cruzada utilizou-se o software Variowin 2.2 (1995) e a interpolação por krigagem foi realizada através do software Surfer[®], considerando os parâmetros que constam da **tabela 15** da **figura 46**.

Na maioria dos casos observa-se uma importante componente aleatória, expressa pelo efeito de pepita, que representa entre 50 a 90 % da variância à priori. Esta situação reflecte as observações de campo, com valores díspares ocorrendo de forma irregular na área de estudo, por vezes muito próximos, indicando uma situação em que, à contaminação difusa de origem agrícola, acresce também uma contaminação pontual, responsável por valores anormalmente elevados.

A distância de intercorrelação para a indicatriz correspondente a 50 mg/l varia sazonalmente entre 400 e 3000 metros. Apresentam-se na **figura 47** os resultados da análise variográfica sazonal e os co-variogramas entre campanhas sucessivas, correspondentes ao período entre Julho de 1997 e Março de 2000 (Paralta & Ribeiro, 1999).

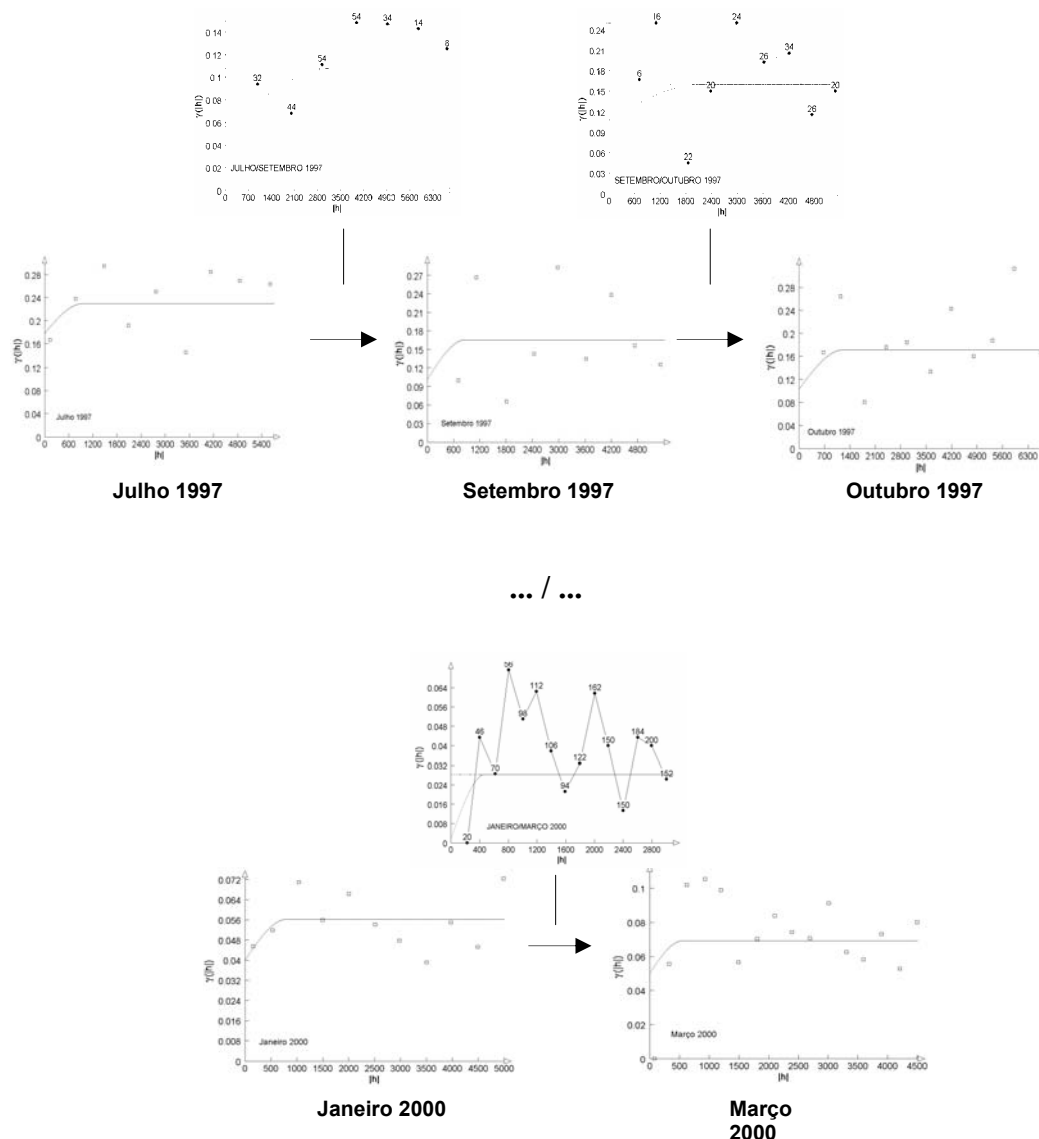


Figura 47 - Variogramas experimentais simples e cruzados da indicatriz respeitante ao VMA para o ião nitrato (50 mg/l) entre Julho de 1997 e Março de 2000

Um outro tipo de abordagem, considera a função distribuição de probabilidade discretizada num determinado número de percentis e sobre estes efectua-se uma análise estrutural que inclui o cálculo dos variogramas simples (**figura 48**) que medem a correlação espacial entre os valores e também dos co-variogramas entre eles (**figura 49**).

Foram construídas 5 indicatrizes para o mês de Julho de 1999, baseadas nos percentis 25%, 50%, 60%, 75% e 90% a que correspondem respectivamente os valores limite de 45, 58, 71, 84 e 112 mg/l de ião nitrato (**figura 48**).

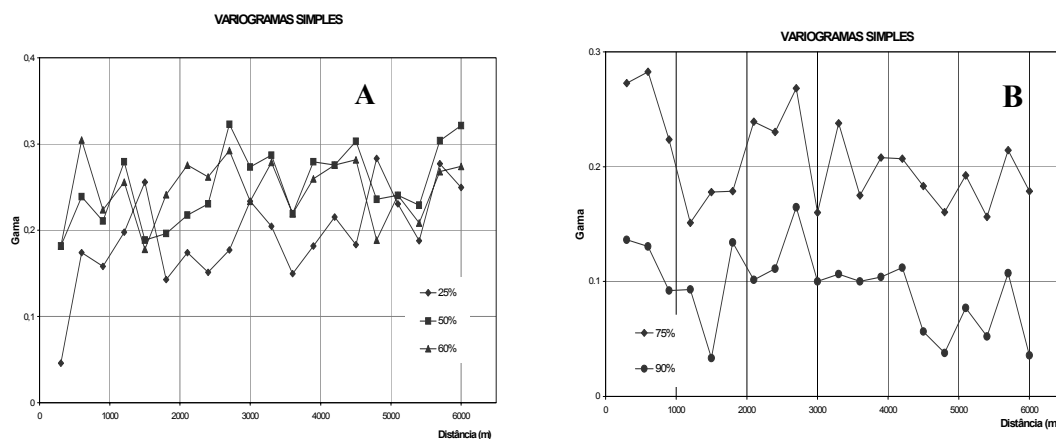


Figura 48 - Variogramas simples das indicatrizes respeitantes aos percentis 25%, 50% e 60% (A) e 75% e 90% (B) para o mês de Julho de 1999

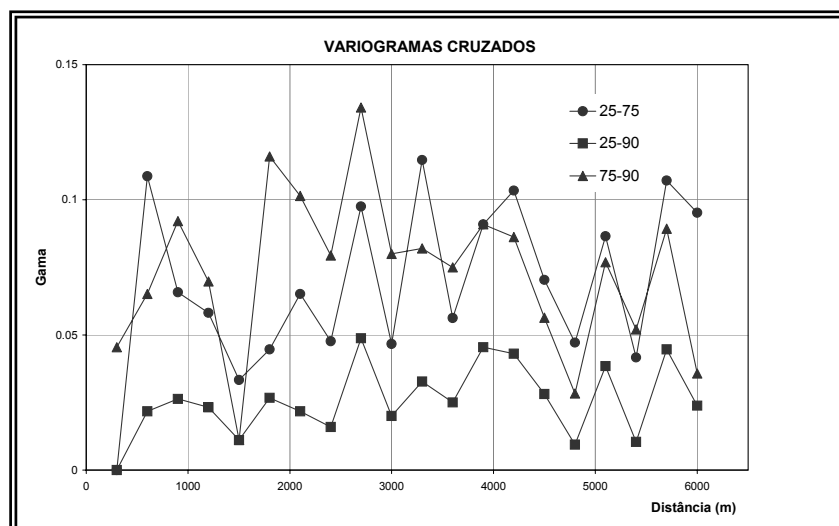


Figura 49 – Variogramas cruzados entre as indicatrizes respeitantes aos percentis 25%, 75% e 90% para o mês de Julho de 1999

Pela análise do andamento dos respectivos variogramas experimentais da **figura 48** verifica-se que até ao percentil 60%, correspondente ao limite de corte de 71mg/l o variograma encontra-se relativamente bem estruturado com amplitudes à volta dos 1400 m.

Para valores superiores, correspondentes aos percentis de 75% e 90% ocorre uma desestruturação, o que pode ser interpretado como situações pontuais de contaminação, sem continuidade espacial, que não representam a contaminação difusa na região.

Para efeitos de krigagem ajustaram-se modelos teóricos do tipo esférico, com efeito de pepita. Os parâmetros de cada um dos modelos está representado na **tabela 16**.

Tabela 16 - Parâmetros dos modelos esféricos para a Indicatriz de Julho de 1999

Indicatrizes	Co	C	A (m)	Co / C (%)
25%	0.086	0.192	1220	45
50%	0.183	0.250	1525	73
60%	0.210	0.240	1400	88
75%	não tem	estrutura	definida
90%	não tem	estrutura	definida

Legenda: Co - efeito de pepita; C - patamar; A – amplitude; Co/C – aleatoriedade do fenómeno (%)

Sobre uma malha de 100 metros de lado realizou-se a estimação e obtiveram-se os mapas de risco para os percentis de 25% e 60% (**figura 50**).

A cartografia de risco gera imagens diferentes do fenómeno estudado, que podem ser utilizadas a diferentes níveis de decisão, conforme os critérios de qualidade adoptados.

Como resultado da aplicação desta metodologia estocástica é possível, para o período de 36 meses em que decorreu a monitorização, apresentar diferentes imagens sazonais, que constituem mapas de risco ou mapas de iso-probabilidade correspondentes a um valor de corte definido.

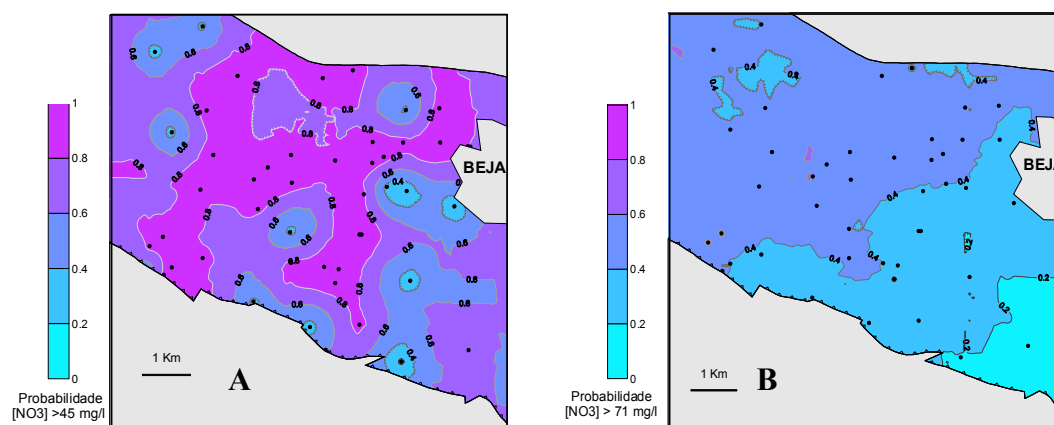


Figura 50 – Mapas de Risco. Iso-probabilidades das concentrações de nitrato excederem 45 mg/l (percentil 25% - mapa A) e 71 mg/l (percentil 60% - mapa B) em Julho de 1999

Nas **figuras 51 e 52** apresentam-se os mapas de risco mensais para o ião nitrato obtidos com base na indicatriz respeitante ao VMA em vigor (50 mg/l).

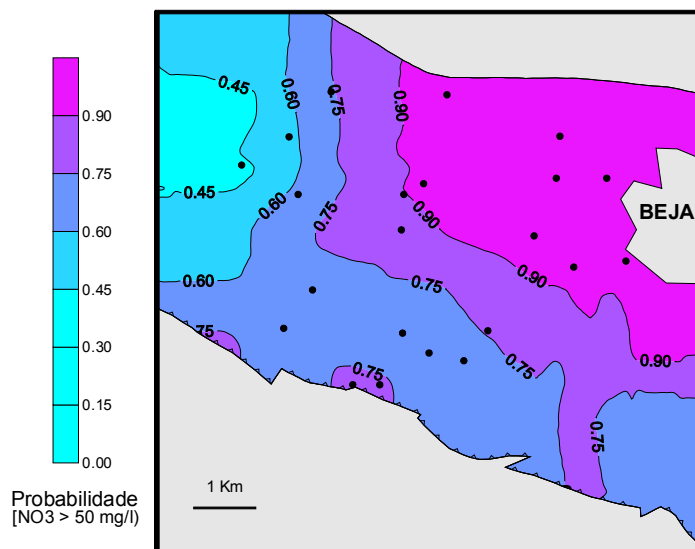


Figura 51 - Mapas de Risco. Iso-probabilidades das concentrações de nitrato excederem 50 mg/l (Outubro de 1997)

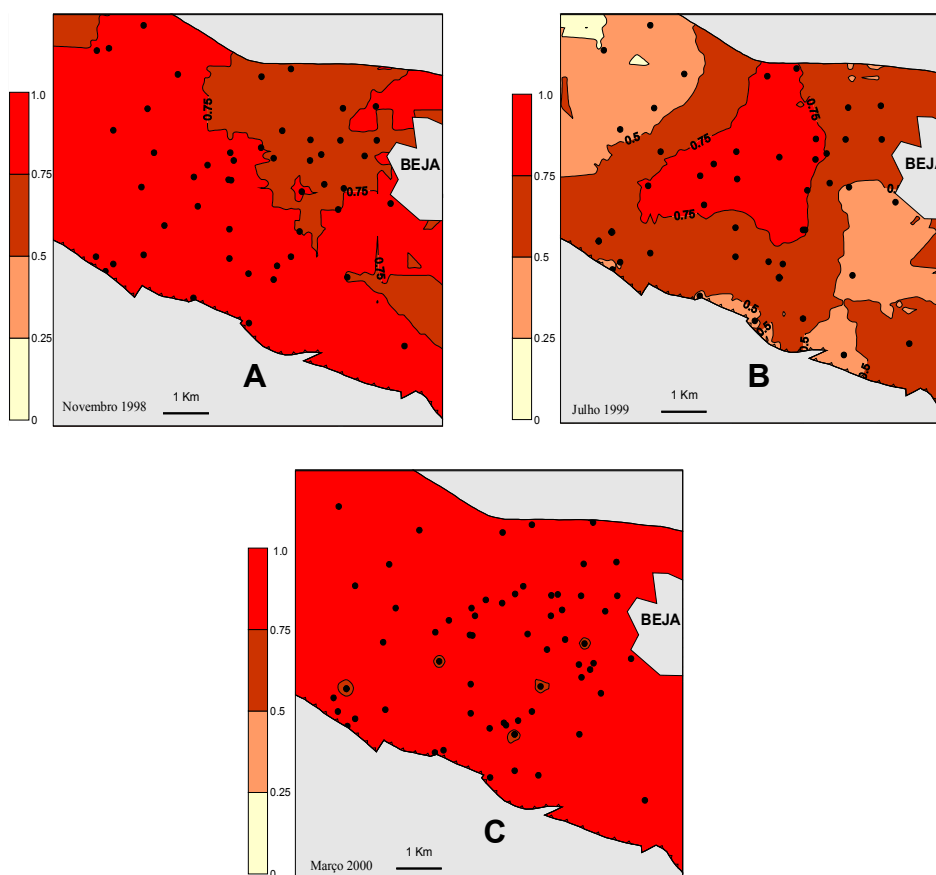


Figura 52 - Mapas de Risco. Iso-probabilidades das concentrações de nitrato excederem 50 mg/l. Mapa A – Novembro de 1998; Mapa B - Julho de 1999; Mapa C – Março de 2000

Verifica-se uma situação crítica de evolução do poluente, que pode ser relacionada com a evolução do ano hidrológico e do ano agrícola, embora os 36 meses de monitorização constituam um período curto para definir tendências sazonais, numa região caracterizada por uma constante irregularidade climática.

O cruzamento da informação geológica, climática, ocupação do solo e outra, com os resultados obtidos por via da geoestatística constituem abordagens multidisciplinares importantes para a compreensão das relações mútuas entre as variáveis que constituem os geosistemas.

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).

5.10 - Modelos de Vulnerabilidade à Poluição

A avaliação do índice de vulnerabilidade do sistema gabro-diorítico da região de Beja determinou-se por aplicação do método DRASTIC (Aller *et al.*, 1987) com adaptação do intervalo das classes do parâmetro T- Topografia e D - Profundidade do nível freático ao caso de estudo. Os restantes parâmetros R, A, S, I e C consideram-se constantes para toda a área do modelo. Os aspectos particulares e inovadores desta abordagem podem ser consultados em Paralta & Francés (2000).

Para o caso da variável T construiu-se o modelo digital de terreno em SIG, com malha hectométrica e determinou-se a respectivo mapa de declives que foi convertido em mapa de índice T (**figura 53A**) a partir de uma função polinomial. Para a variável D construiu-se o respectivo mapa krigado sobre uma malha hectométrica com base na modelação do variograma experimental ajustado ao modelo esférico com efeito de pepita e com base no modelo de regressão determinado elaborou-se o respectivo mapa de índice D (**figura 53B**).

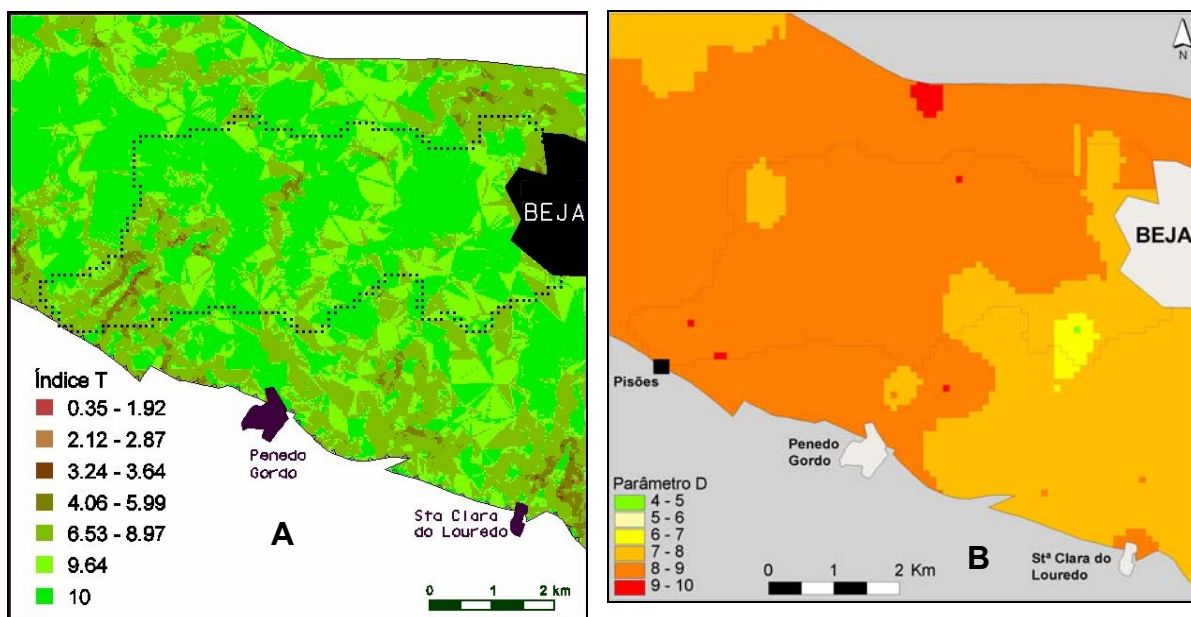


Figura 53 – A - Mapa do índice T obtido a partir da transformada polinomial da carta de declives;
B- Mapa do índice D obtido do mapa krigado da profundidade do nível freático

O mapa de índices DRASTIC obtido está representado na **figura 54**.

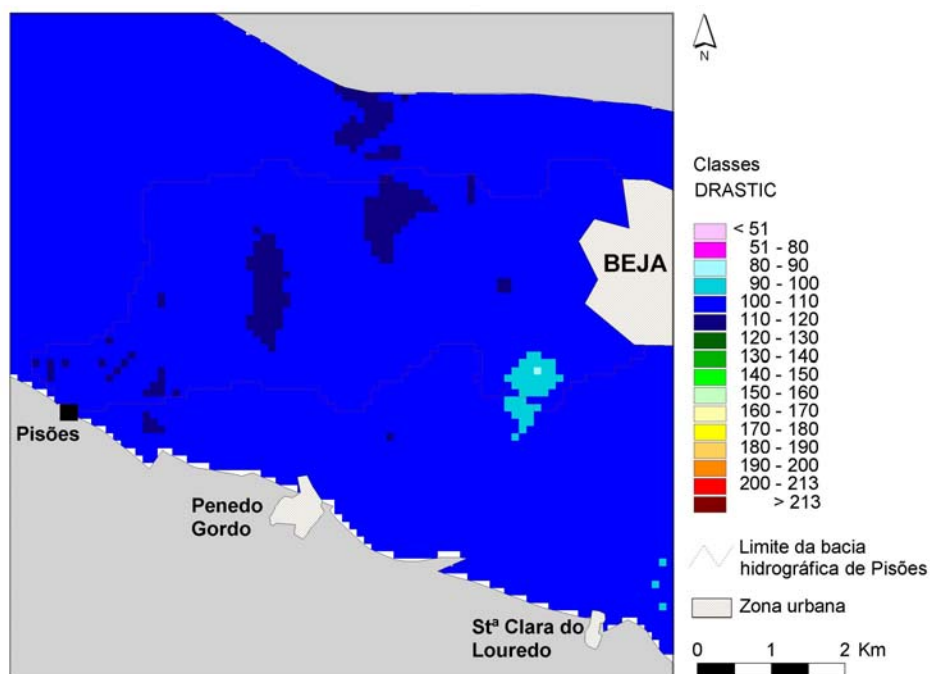


Figura 54 - Mapa do índice DRASTIC

O índice DRASTIC para a área de estudo varia entre 90 e 120, com a maior parte da área incluída na sub-classe 100-110, o que representa uma vulnerabilidade baixa.

Todavia o uso intensivo de fertilizantes azotados durante todo século XX, associado ao regadio com origem nos recursos próprios do aquífero, com elevados teores de nitratos, será responsável por um processo cumulativo patente na situação actual de contaminação generalizada.

Relativamente à vulnerabilidade à poluição por pesticidas, aplicou-se o método DRASTIC PESTICIDE, que deriva do precedente. Foram apenas modificados os factores de ponderação atribuídos aos parâmetros DRASTIC tendo em conta os processos de dissipação dos pesticidas nos solos e na zona vadosa (Aller *et al.*, 1987).

O índice DRASTIC PESTICIDE para a área de estudo varia entre 117.5 e 155, com a quase totalidade da área do modelo incluída na classe 130 a 155, o que representa uma vulnerabilidade média/baixa relativamente à contaminação dos aquíferos freáticos a partir da aplicação de pesticidas na agricultura (**figura 55**).

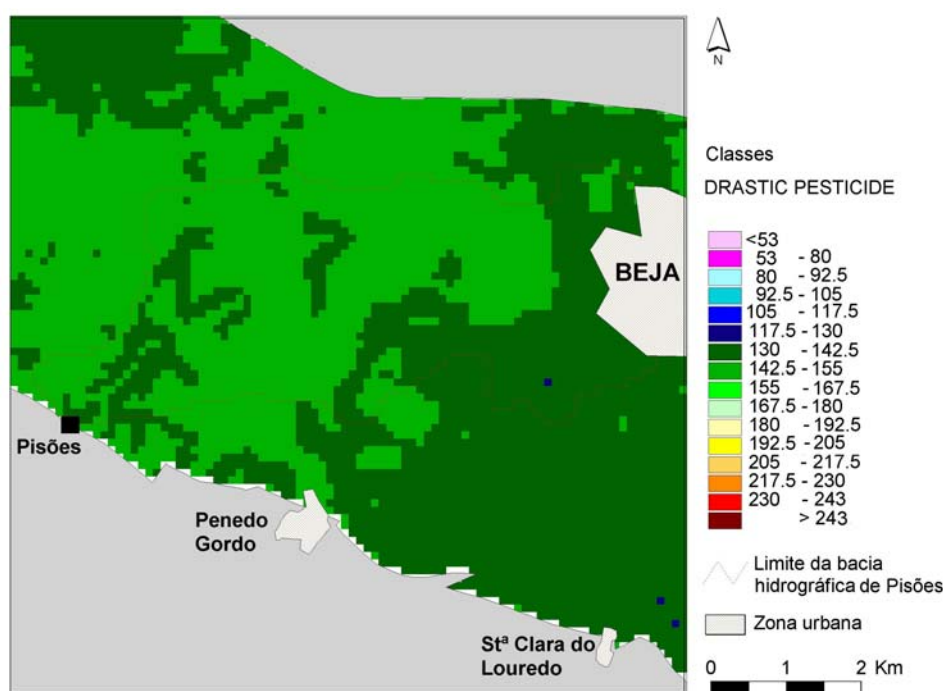


Figura 55 – Índice DRASTIC PESTICE para a área de estudo

Outra metodologia, foi também ensaiada para avaliação da sensibilidade do meio hidrogeológico aos diferentes usos do solo.

O Índice de Susceptibilidade (IS), foi inicialmente testado no Projecto ERHSA e inspira-se no método DRASTIC, sendo calculado a partir da soma ponderada de alguns parâmetros comuns: a 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) (Francés *et al.*, 2001).

Os pesos atribuídos a cada parâmetro foram modificados em relação ao método DRASTIC depois da consulta de técnicos e especialistas em Hidrogeologia.

Os quatro primeiros parâmetros foram seleccionados do método DRASTIC, tendo sido mantidos os valores correspondentes às classes e as amplitudes dos intervalos, sendo apenas reajustados para percentagem por razões de maior facilidade de interpretação do resultado final.

Assim, o valor final do Índice de Susceptibilidade varia entre 0 e 100 %.

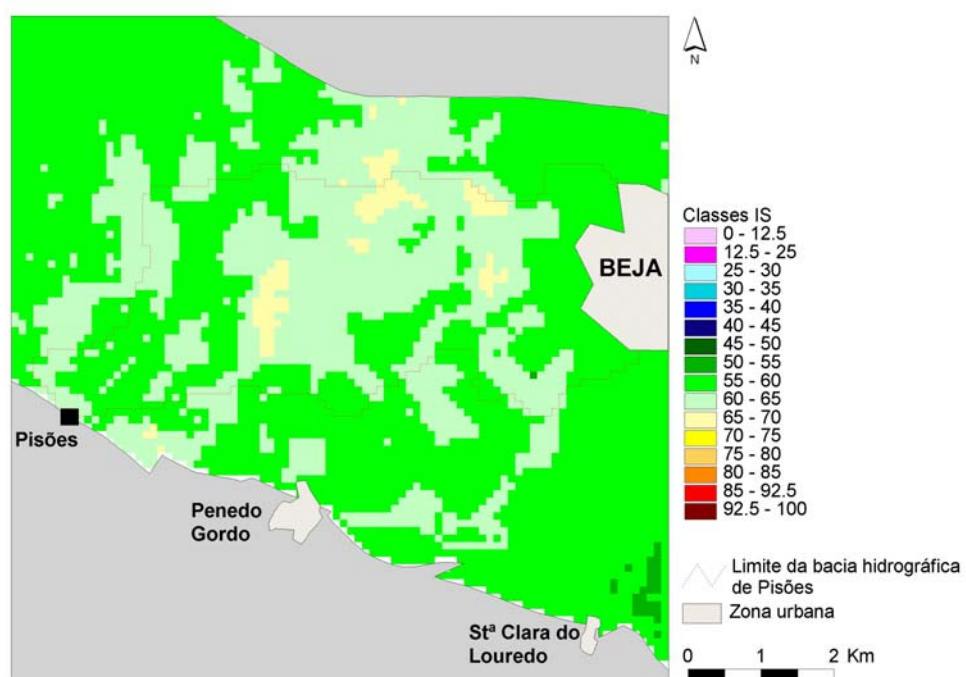


Figura 56 – Índice de Susceptibilidade para a área de estudo(ano agrícola 98/99)

O resultado final varia entre 55 e 70%, representando uma susceptibilidade média/alta à poluição.

Apesar do aquífero dos Gabros de Beja apresentar características geológicas e hidrogeológicas que lhe conferem uma reduzida vulnerabilidade, tal como é entendida e quantificada através do método DRASTIC, a verdade é que a pressão humana e

décadas de práticas agrícolas excessivas do ponto de vista ambiental, criaram uma situação de desequilíbrio ecológico bem patente nos mapas de risco apresentados. O conteúdo em nitratos na água subterrânea desta região está intimamente ligado às práticas agrícolas, ao ano hidrológico e aos tipos de cultura praticados, sendo possível constatar grandes variações sazonais deste elemento.

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

5.11 - Condicionantes do uso e exploração da água subterrânea

A ocorrência de focos de poluição em sistemas hidrogeológicos importantes e a inexistência de planos de ordenamento que contemplem áreas de protecção das captações de água subterrânea destinadas ao consumo humano, reflecte-se em alguns casos numa crescente degradação da qualidade da água, incompatível com os normativos legais em vigor e com a saúde pública.

Para garantir a preservação da qualidade da água subterrânea para consumo humano, o Governo português legislou em 22 de Setembro de 1999 no sentido de serem definidos Perímetros de Protecção para Captações de Águas Subterrâneas Destinadas ao Abastecimento Público (Decreto-Lei nº 382/99).

São abrangidas por este diploma todas as captações de água subterrânea destinadas ao abastecimento público de água para consumo humano de aglomerados populacionais com mais de 500 habitantes ou cujo caudal de exploração seja superior a 100 m³/dia.

A delimitação dos perímetros de protecção, são estabelecidos em função das características do aquífero, das condições da captação e dos caudais de exploração, mediante a realização de estudos hidrogeológicos efectuados por técnicos especializados em águas subterrâneas.

A protecção das águas subterrâneas para consumo público depende de medidas de ordenamento do território eficazes, de forma a impedir que as zonas de contribuição do aquífero para uma dada captação ou as próprias áreas de recarga do sistema, estejam

sujeitas a acções antrópicas que possam comprometer a qualidade físico-química e bacteriológica da água.

Os principais constrangimentos detectados na região ocidental de Beja estão relacionados com a utilização intensiva de fertilizantes azotados nas culturas de sequeiro, com reflexos na qualidade química da água nomeadamente no que concerne aos nitratos. Esta situação está sempre presente qualquer que seja a origem de água considerada, das 16 que actualmente constituem o sistema de abastecimento a partir de águas subterrâneas.

Aspectos pontuais susceptíveis de gerar contaminação ocorrem com a proximidade do perímetro urbano da cidade de Beja e com a ETAR de Beja, cujo bom funcionamento deve ser regularmente verificado.

Na globalidade não foram detectadas situações graves de contaminação pontual, urbana ou industrial susceptível de alterar a qualidade regional da água subterrânea com excepção do problema agro-ambiental herdado de décadas de práticas agrícolas intensivas já referido anteriormente.

O mapa da **figura 57** indica os perímetros de protecção intermédios (tempo de trânsito de 50 dias) de acordo com a metodologia de Jacobs & Bear (vidé documento técnico dos perímetros de protecção) e as áreas preferenciais de recarga da bacia de Pisões.

Dentro do sistema aquífero dos Gabros de Beja, a área de recarga da bacia hidrográfica de Pisões com cerca de 18 km², pelas suas particularidades hidrogeológicas pode ser considerada uma unidade de gestão aquífera e portanto objecto de uma atenção especial.

Acresce também a área contígua de cerca de 2 km² que constitui a área de recarga das duas captações da Meia Léguas, próximas do vértice geodésico do Cerejo.

Toda a área indicada como zona de recarga deveria estar sujeita a restrições de usos do solo, nomeadamente na aplicação de fertilizantes e fitofármacos na agricultura, em colaboração com as estruturas de locais do Ministério da Agricultura e do Ambiente.

