

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

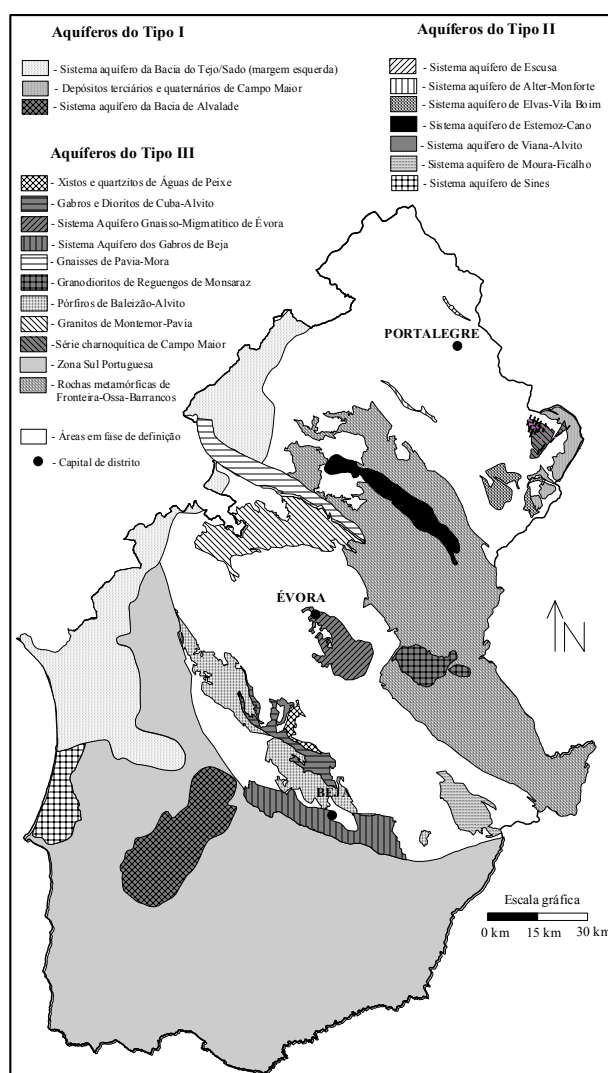
**Eduardo Paralta**

# SISTEMA AQUÍFERO DOS GABROS DE BEJA (Complexo gabro-diorítico de Serpa-Brinches)

## 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)

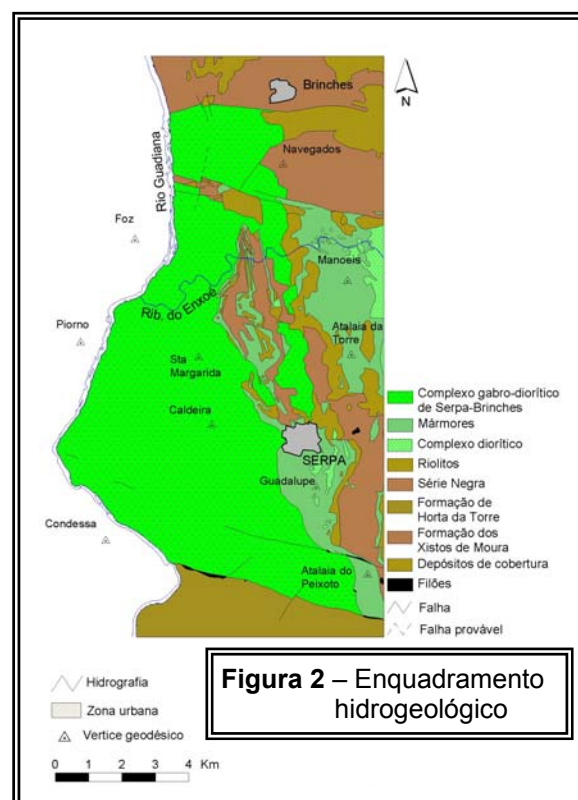
As formações gabro-dioríticas alteradas e fracturadas que constituem o sistema aquífero dos Gabros de Beja apresenta-se na região de Serpa com produtividades bastante irregulares, quando comparados com outros sectores, nomeadamente com a região de Beja.

O complexo gabro-diorítico de Serpa é limitado a sul pelos aquíferos (descontínuos) da Zona Sul Portuguesa, constituídos por rochas xistentas fracturadas susceptíveis de, em condições estruturais favoráveis, suportar origem de abastecimento a populações pouco numerosas. A transição para estas formações corresponde ao cavalgamento de Ferreira-Ficalho (5 km a sul de Serpa).

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

A este, o aquífero dos Gabros de Beja é limitado pelos calcários pré-câmbrios de Serpa (mármore) com comportamento de aquífero cársico fissurado em que ocorrem por vezes boas produtividades. Intercalados nesta formação existem também termos litológicos correspondentes a rochas ácidas e série negra sem potencial hidrológico assinalável (mal conhecido) e com comportamento de sistema cristalino fracturado.

O mapa da **figura 2** representa as principais unidades hidrogeológicas da área de estudo, sendo que os gabros, dioritos e outros termos de rochas eruptivas básicas 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 Serpa apresenta um clima mediterrâneo de características temperadas, por vezes com períodos plurianuais de seca, em tudo idêntico ao da região de Beja. A temperatura média anual ronda os 16°C e a precipitação média anual é de 497 mm/ano, o que representa praticamente menos 100 litros/m<sup>2</sup>/ano nesta região relativamente à área de Beja.

Os dados de precipitação para a região de Serpa foram obtidos do posto udométrico de Serpa (26L/01) e os dados de temperatura foram obtidos da média entre os valores mensais da estação metereológica de Beja e da estação metereológica do Pulo do Lobo (27L/01).

Posto Udométrico de Serpa (coordenadas militares):

- ▶ Meridiano – 246 522
- ▶ Paralelo – 108 566
- ▶ Altitude – 220 metros

Estação metereológica do Pulo do Lobo (coordenadas militares):

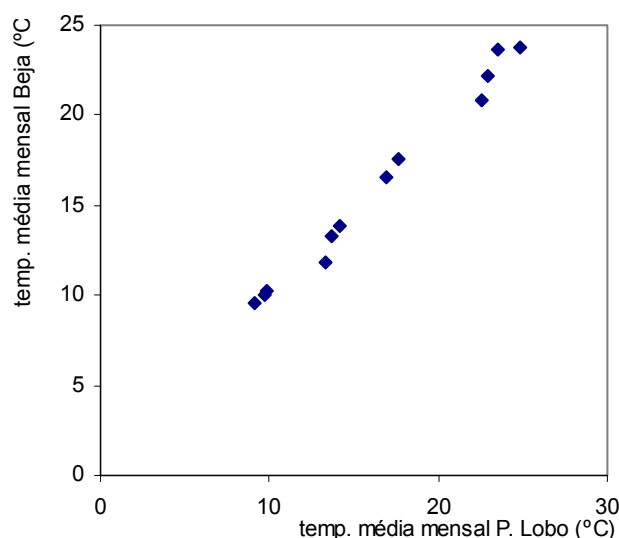
- ▶ Meridiano – 244 036
- ▶ Paralelo – 93 348

**Tabela 1** – Séries metereológicas (SNIRH)

Estação	Registos	Período	Origem dos dados
Serpa	Precipitação	1956 a 1996	SNIRH
Pulo do Lobo	Temperatura (°C) e	01/02/1980 a	SNIRH
	Evaporação (mm)	01/07/1983	

Para a determinação das série de temperatura média mensal para Serpa utilizaram-se os registos médios mensais das estações de Beja e Pulo do Lobo que são aproximadamente equidistantes da área de estudo.

A correlação entre elas é de 99.3% como está representado na **figura 3**.



**Figura 3** – Correlação entre as séries de temperatura média mensal das estações de Beja e Pulo do Lobo

Desta forma, através de uma média entre as duas estações determinaram-se os valores médios mensais de temperatura para Serpa e com as séries de precipitação do posto udométrico de Serpa aplicou-se o programa CEGEVAP (Almeida, 1979), para determinação do balanço hídrico sequencial mensal, considerando uma capacidade de campo de 100 mm (**figura 4**).

Obtiveram-se valores de evapotranspiração real (EVR) segundo os métodos de Thornwaite (EVR= 428.1 mm/ano), Turc (EVR=432 mm/ano) e Coutagne (EVR= 417.5 mm/ano).

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

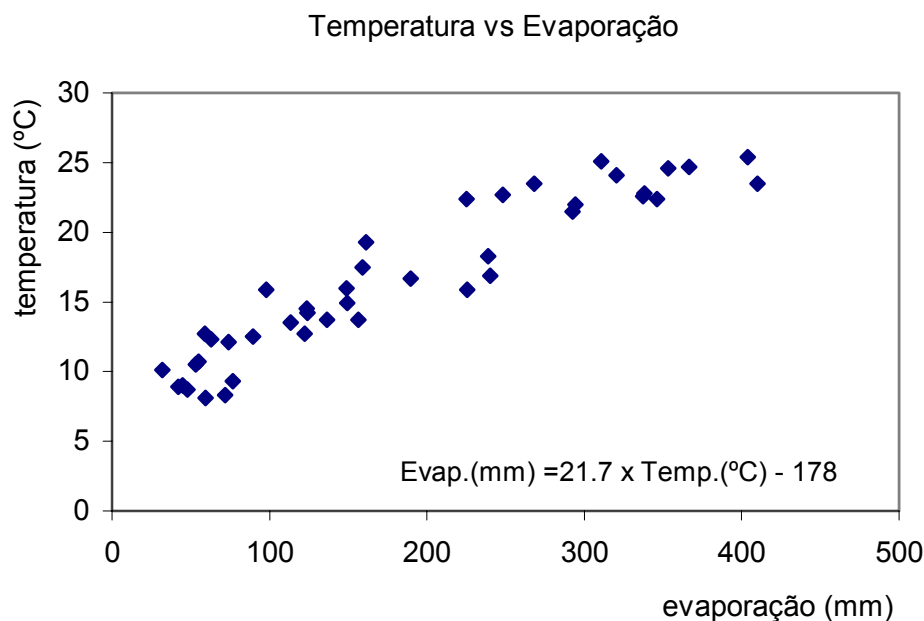
MES	T	P	EVP	EVR	R
OUT	17.6	58.4	67.5	58.4	0.0
NOV	13.5	66.3	36.4	36.4	0.0
DEZ	9.9	71.9	21.8	21.8	0.0
JAN	9.4	62.7	20.7	20.7	22.0
FEV	10.1	59.1	20.6	20.6	38.5
MAR	12.5	47.3	40.5	40.5	6.8
ABR	14.0	53.0	50.6	50.6	2.4
MAI	16.8	35.3	79.4	79.4	0.0
JUN	21.7	18.8	118.9	74.7	0.0
JUL	23.5	3.5	142.2	3.5	0.0
AGO	24.3	2.0	141.0	2.0	0.0
SET	22.5	19.5	106.0	19.5	0.0
	16.3	497.8	845.7	428.1	69.7
Capacidade de campo= 100      reserva inicial= 0      reserva final= 0					
ESC. TOTAL = 69.7					
EVR (THORNT.)= 428.1      EVR (TURC)= 432.0      EVR (COUTAGNE)= 417.5					

**Figura 4** – Balanço hídrico sequencial mensal para a estação metereológica de Serpa

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 semestre húmido de Outubro a Março que concentra 75% da precipitação anual (**figura 4**).

Com base em 42 registos de temperatura e evaporação da estação do Pulo do Lobo, entre Fevereiro de 1980 e Julho de 1983 (evaporímetro USWB-classe A) é possível avaliar a elevada correlação entre estes dois parâmetros, 94.3% e estabelecer uma equação linear que nos dá indicações das perdas de água superficial com o decorrer do ano hidrológico, especialmente importante quando se trata de prever as perdas por evaporação de albufeiras e barragens, como será a situação da barragem do Enxoé (**figura 5**).

Em termos médios a evaporação anual de uma superfície de água livre é de 148 l/m<sup>2</sup> e como a precipitação média anual é de 498 l/m<sup>2</sup>, o balanço de perdas por evaporação é de cerca de 350 l/m<sup>2</sup>, favorável à acumulação de reservas.



**Figura 5** – Relação entre a temperatura e a evaporação para a estação metereológica do Pulo do Lobo

### **2.1 – Avaliação da Recarga do Aquífero**

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

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

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

Dado tratar-se de um aquífero muito heterogéneo, a identificação de zonas potencialmente produtivas depende da aplicação sistemática de métodos geofísicos.

### **3– Caracterização da informação e inventário de pontos de água**

As actividades desenvolvidas na região de Serpa (carta 532) e Brinches (carta 522) beneficiaram de variada informação em arquivo no Departamento de Hidrogeologia do

Instituto Geológico e Mineiro, complementadas por inventário de campo entre Maio de 1997 e Dezembro de 1999.

O inventário de pontos de água nas 2 cartas totaliza 148 origens, de acordo com a **tabela 2**.

**Tabela 2** – Inventário hidrogeológico

Carta 522	Carta 532	Total
73	75	148

Particularizando para a área de estudo, representada pelo complexo gabro-diorítico que aflora desde o cavalcamento de Ferreira-Ficalho a sul de Serpa até Brinches, foram inventariados um total de 111 pontos de água, como se descremina na **tabela 3** e no mapa da **figura 6**.

**Tabela 3** - Inventário hidrogeológico na área dos gabro-dioritos e zonas limítrofes

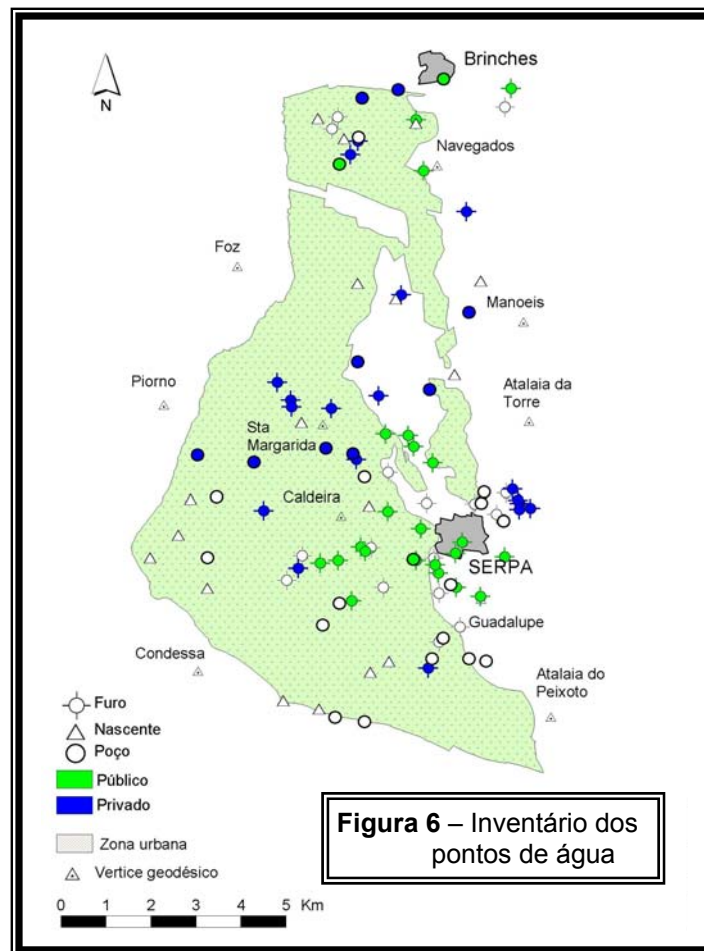
FUROS	POÇOS	NASCENTES	SONDAGENS *	TOTAL
51	28	18	14	111

\* Furo seco

Cerca de 23 captações pertencem ou foram mandadas executar pela autarquia, embora actualmente só um reduzido número se encontre em funcionamento.

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.



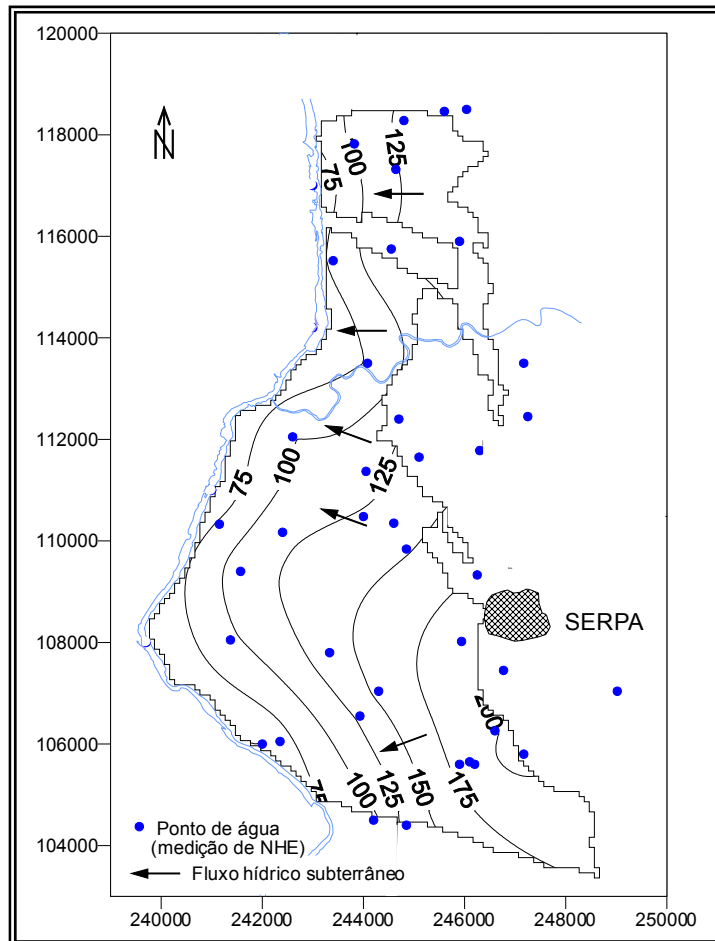


## 4 – Caracterização e descrição hidrogeológica – Hidrodinâmica

### 4.1 – Piezometria

À semelhança do que ocorre em Beja, também na região de Serpa os níveis hidroestáticos apresentam uma elevada dependência do modelado topográfico, como é normal em aquíferos livres pouco profundos.

A monitorização de níveis piezométricos em dezenas de pontos de água em Setembro de 1998, para definição dos sentidos de fluxo e gradientes hidráulicos do sistema está representada na carta de isopiezas da **figura 7**.

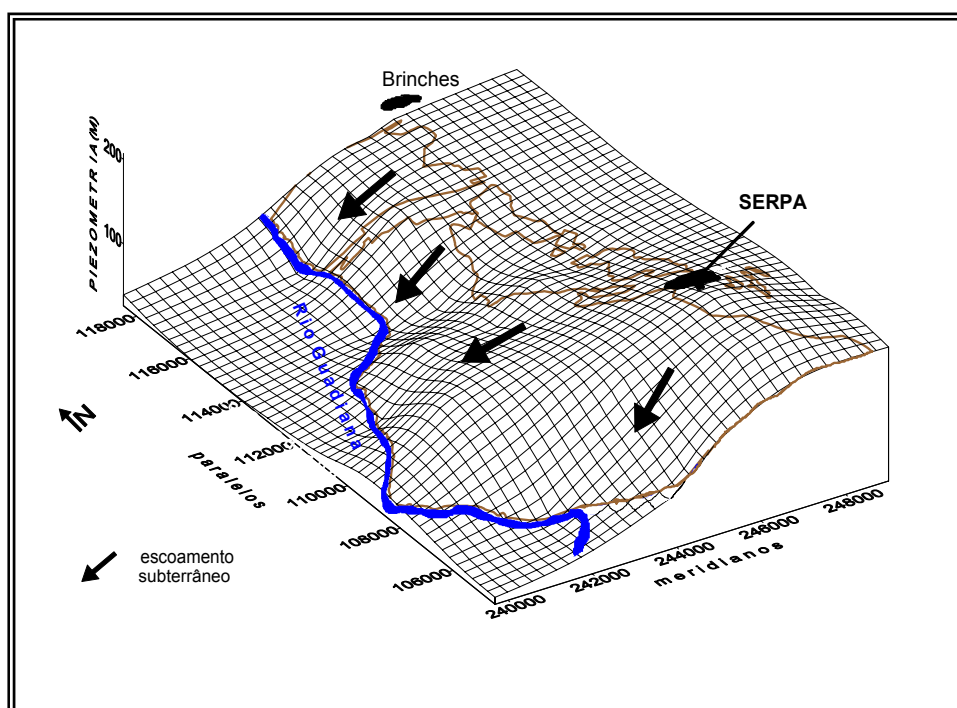


**Figura 7** – Carta de isopiezas e sentidos de fluxo para o aquífero gabróico de Serpa

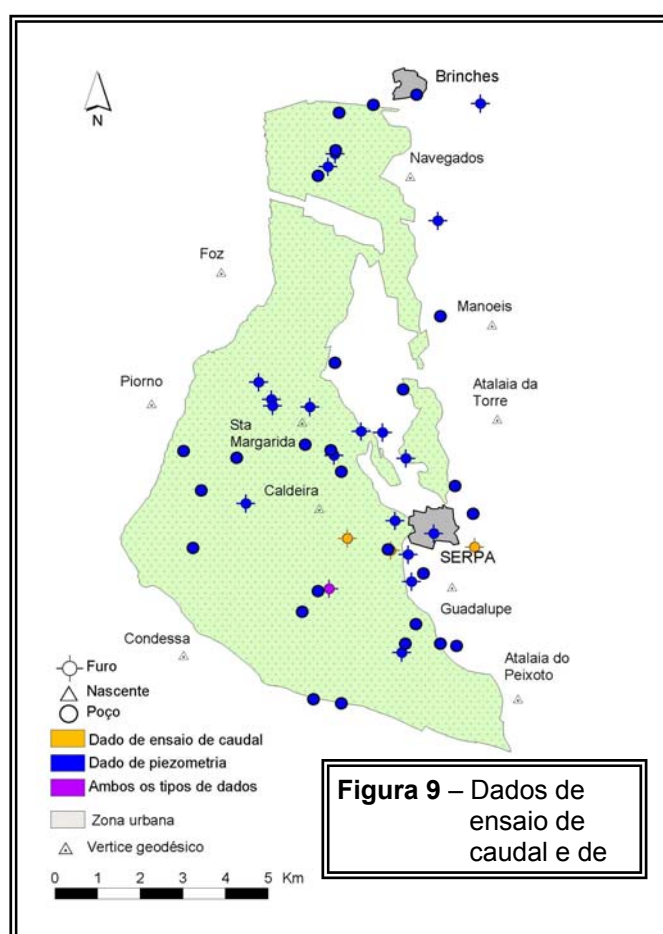
O sentido de escoamento subterrâneo acompanha a drenagem superficial, maioritariamente para oeste, com gradientes hidráulicos sucessivamente decrescentes, entre 2 e 4% (**figura 8**).

Esta unidade aquífera tem um comportamento efluente, com descarga para o rio Guadiana, que funciona como nível de base local á cota aproximada de 50 metros ou seja em termos hidráulicos para efeitos de modelação comporta-se como uma fronteira a potencial constante. Os pontos de medição piezométrica são representados na **figura 9**.

A cedência de água processa-se através de várias nascentes permanentes com dependência estrutural e também a partir de escoamentos difusos nas zonas de ruptura de pendor acentuado onde é normal surgirem charcas em época de águas altas.



**Figura 8** – Superfície piezométrica e sentidos de fluxo para o aquífero gabrício da margem esquerda do Guadiana, a partir de medições de Setembro de 1998



**Figura 9** – Dados de ensaio de caudal e de

A reduzida profundidade a que a água surge nestas formações alteradas, em especial nas zonas topograficamente mais deprimidas, permite o seu aproveitamento a partir de valas e charcas pouco profundas (**figura 10**), embora na época estival o nível piezométrico desca alguns metros, secando a maioria das charcas.



**Figura 10** – Charca com 2 metros de profundidade e nível da água a 0.5 metros da superfície do terreno, em época de águas altas (2 Km a SW de Serpa)

#### **4.2 – Prospeção geofísica**

No sentido de testar e aperfeiçoar novas técnicas de prospecção 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)
- ▶ Diagrfias eléctricas e nucleares em furos não revestidos

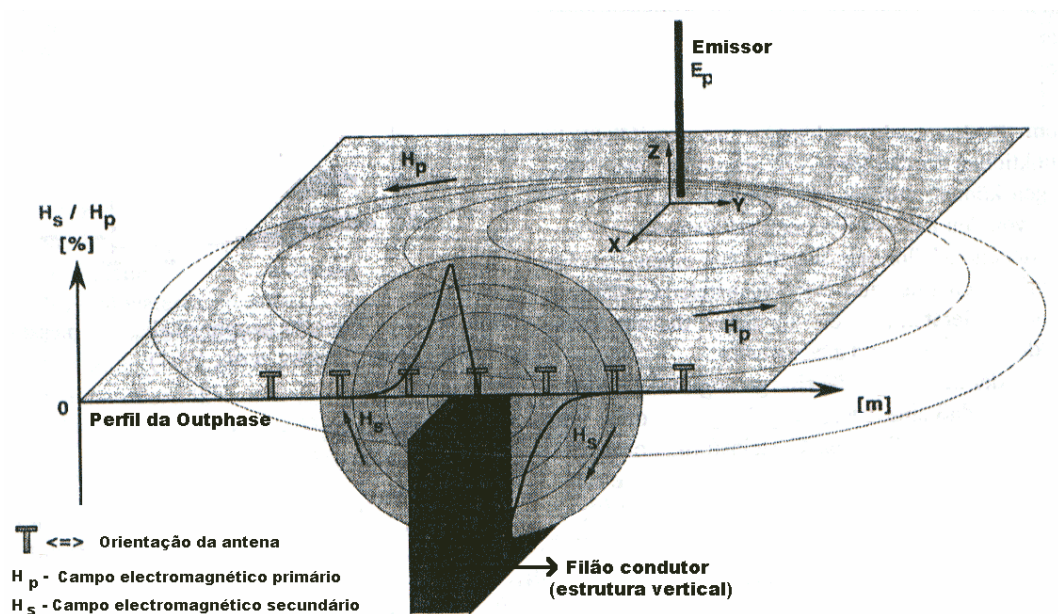
**Very Low Frequency – Electromagnetic**

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

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.

Apresentam-se seguidamente as figuras que definem os princípios teóricos do método de prospecção geofísica VLF/EM (**figura 11**) e o equipamento utilizado (**figuras 12 e 13**).



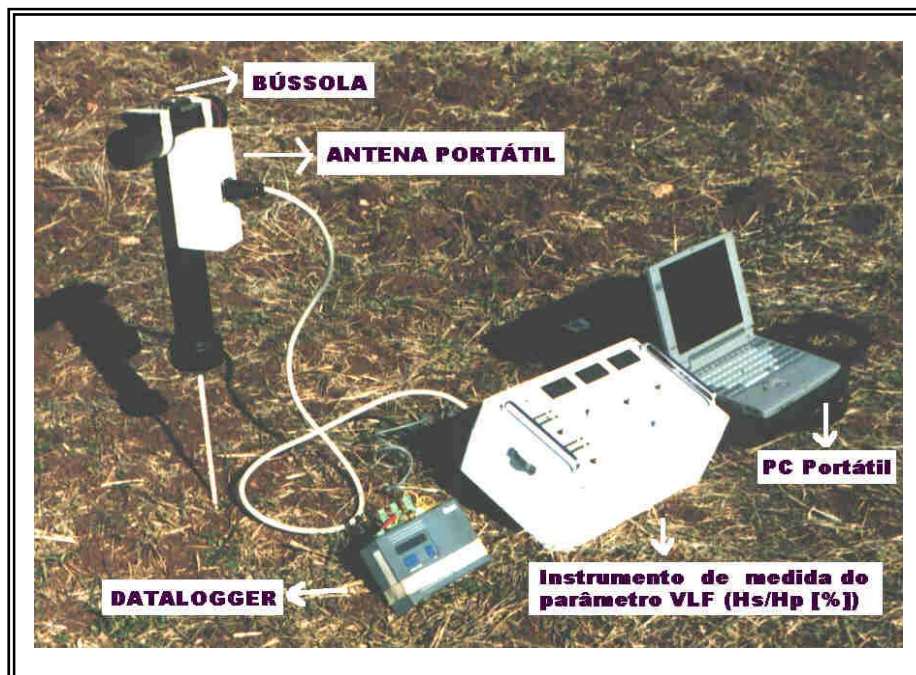
**Figura 11** - Princípio teórico do método de prospecção geofísica VLF/EM.

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





**Figura 12** - Equipamento de VLF/EM móvel utilizado



**Figura 13** - Equipamento de medição e registo do VLF/EM

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

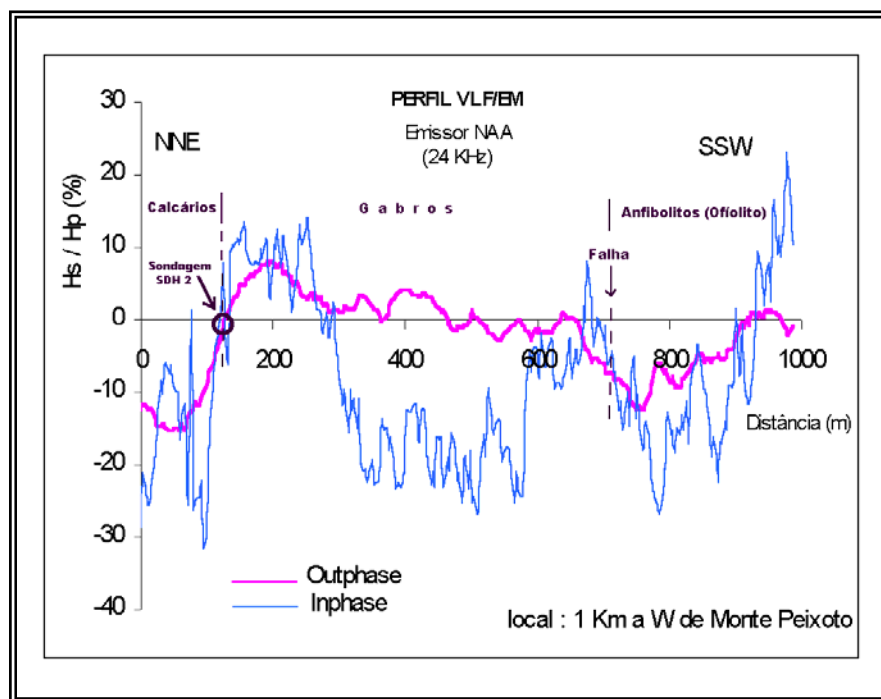
$$P = 503 \cdot \sqrt{\frac{\rho}{f}}$$

Para a frequência de 24 kHz (24000 Hz) utilizada e  $\rho$  entre 10 e 100 ohm.m obtêm-se uma profundidade máxima de investigação de 30 metros, suficiente para detectar estruturas ocultas sob o manto de alteração.

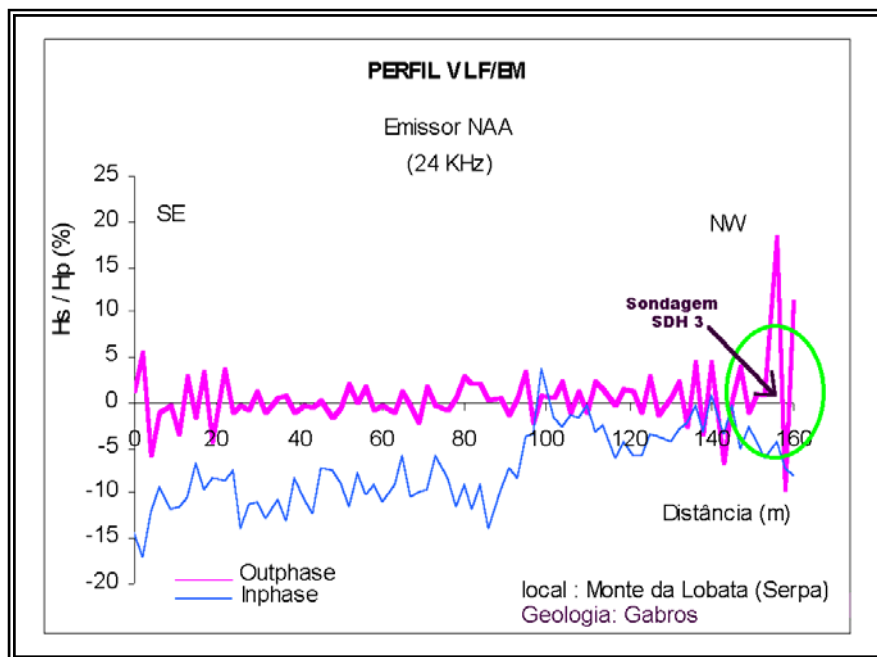
A utilização do VLF/EM na detecção de estruturas ocultas sob o manto de alteração tem conduzido a resultados interessantes, uma vez que as sondagens confirmam que os locais assinalados correspondem a zonas fracturadas.

Foram realizados até à data cerca de 5 km de perfis VLF/EM nos arredores de Serpa, em zonas suspeitas de ocorrerem estruturas do tipo falha.

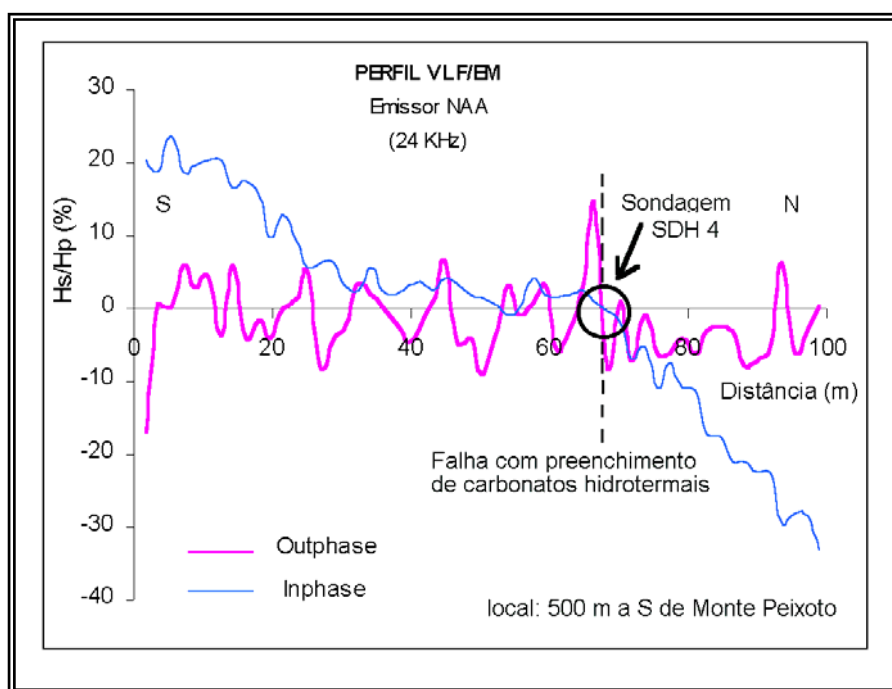
As **figuras 14 a 16** indica a variação de *Outphase* e de *Inphase* ao longo de 3 perfis, utilizando o emissor americano NAA de 24.00 KHz.



**Figura 14** – Perfil de VLF/EM realizado numa extensão de 1000 metros



**Figura 15** – Perfil de VLF/EM realizado numa extensão de 160 metros



**Figura 16** – Perfil de VLF/EM realizado numa extensão de 100 metros

#### **4.3 – Execução de sondagens verticais e diagrfias**

No sentido de caracterizar da melhor forma o complexo gabro-diorítico em estudo e as suas relações hidráulicas com as formações geológicas vizinhas, nomeadamente com os calcários câmbrios que constituem o limite oriental do sistema, estabeleceu-se um



programa de sondagens, do qual foram concluídas 3, com as características descritas nas **tabelas 4 e 5**.

**Tabela 4 – Localização das sondagens**

Designação	Local	Carta	Meridiano	Paralelo	Cota (m)
SDH 2	Monte do Peixoto	532	247 180	105 850	210
SDH 3	Monte da Lobata	532	242 500	109 130	160
SDH 4	Monte do Peixoto	533	248 630	105 000	220

**Tabela 5 – Características das sondagens**

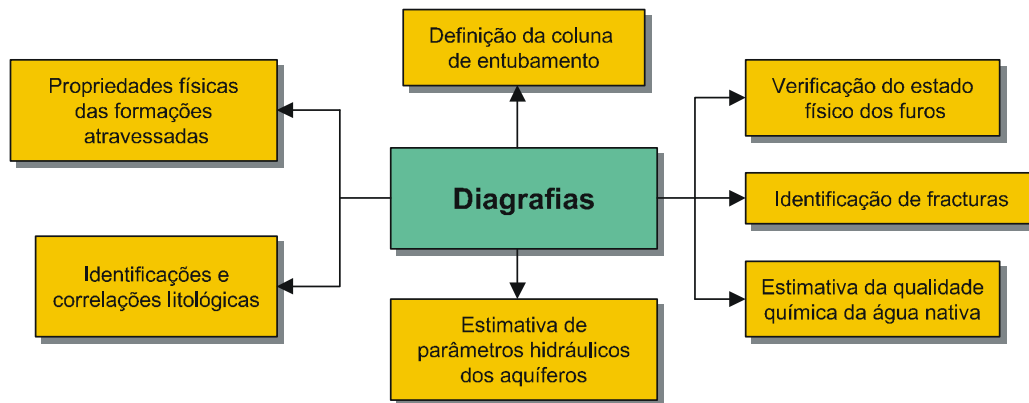
Designação	Local	Profundidade (m)	Formações Atravessadas	Observações
SDH 2	Monte do Peixoto	72.5	calcários / gabros	contacto litológico
SDH 3	Monte da Lobata	63.5	gabros	fracturas
SDH 4	Monte do Peixoto	49	calcários hidrotermais	falha

Nas sondagens realizadas seguiu-se a seguinte metodologia de trabalho no sentido de obter o máximo de informação geológica e hidrogeológica:

- ▶ Recolha e análise dos detritos da furação
- ▶ Ensaio de caudal (Air-Lift)
- ▶ Ensaio de recuperação
- ▶ Diagramas eléctricos, nucleares, de fluxo, de temperatura etc.
- ▶ Conversão em piezómetro (a equipar posteriormente com sondas automáticas)

Os resultados obtidos da análise no local dos detritos permitiram elaborar log's geológicos expeditos e que se apresentam seguidamente em conjunto com os resultados obtidos nas diagramas.

A utilização de Diagramas em sondagens pormenoriza e quantifica o comportamento eléctrico das formações atravessadas permitindo desta forma obter uma assinatura geofísica das formações estudadas, com aplicação na determinação de zonas produtivas e de fluxos indicadores de níveis aquíferos de diferentes potenciais (**figura 17**).



**Figura 17** – Informação de interesse hidrogeológico obtida da interpretação de diagramas

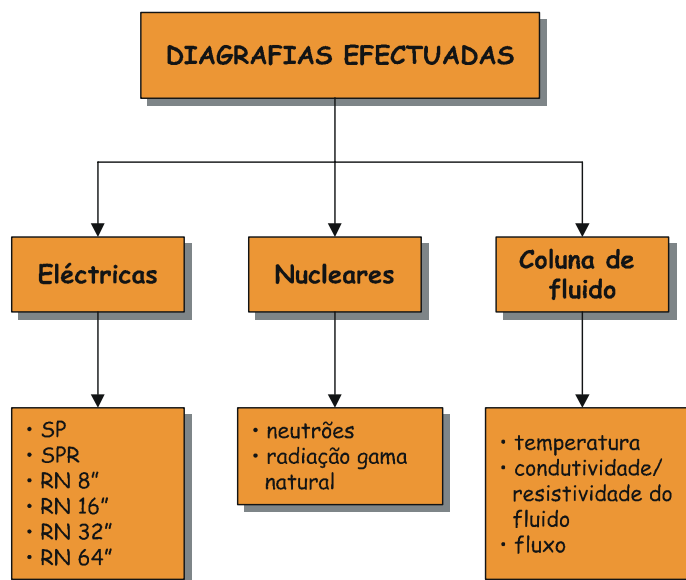
Como complemento à investigação hidrogeológica foram efectuadas um conjunto de diagramas medindo parâmetros distintos relacionados com as características intrínsecas das formações atravessadas e com a água captada, o que poderá ser de considerável utilidade para a compreensão dos mecanismos hidráulicos que afectam o sistema.

A realização e interpretação das diagramas esteve a cargo da Dr<sup>a</sup> Elsa Ramalho da Divisão de Geofísica do Instituto Geológico e Mineiro.

A realização de diagramas antes do entubamento é importante, uma vez que a sua interpretação, em especial em sondagens sem recuperação de testemunho, dá indicações que, de outra forma, não seriam possíveis de obter. Assim, de uma forma resumida, foi efectuado um conjunto de diagramas (**figura 18**) com os seguintes objectivos genéricos adaptados ao tipo de formações compactas atravessadas:

- ▶ diagramas eléctricas (Potencial Espontâneo (SP), Single Point Resistence (SPR), Resistividades Normais 8", 16", 32" e 64") - identificação de litologias e localização de potenciais zonas fracturadas, além de parâmetros físicos das formações;
- ▶ diagramas nucleares (radiação gama natural e neutrões) -identificação de litologias e localização de fracturas;
- ▶ diagramas de temperatura - identificação de fracturas produtivas;

- ▶ diagrfias de condutividade do fluido - indicações acerca da variação das características químicas da coluna de fluido;
- ▶ diagrfias de fluxo - movimentos da água no interior do furo.

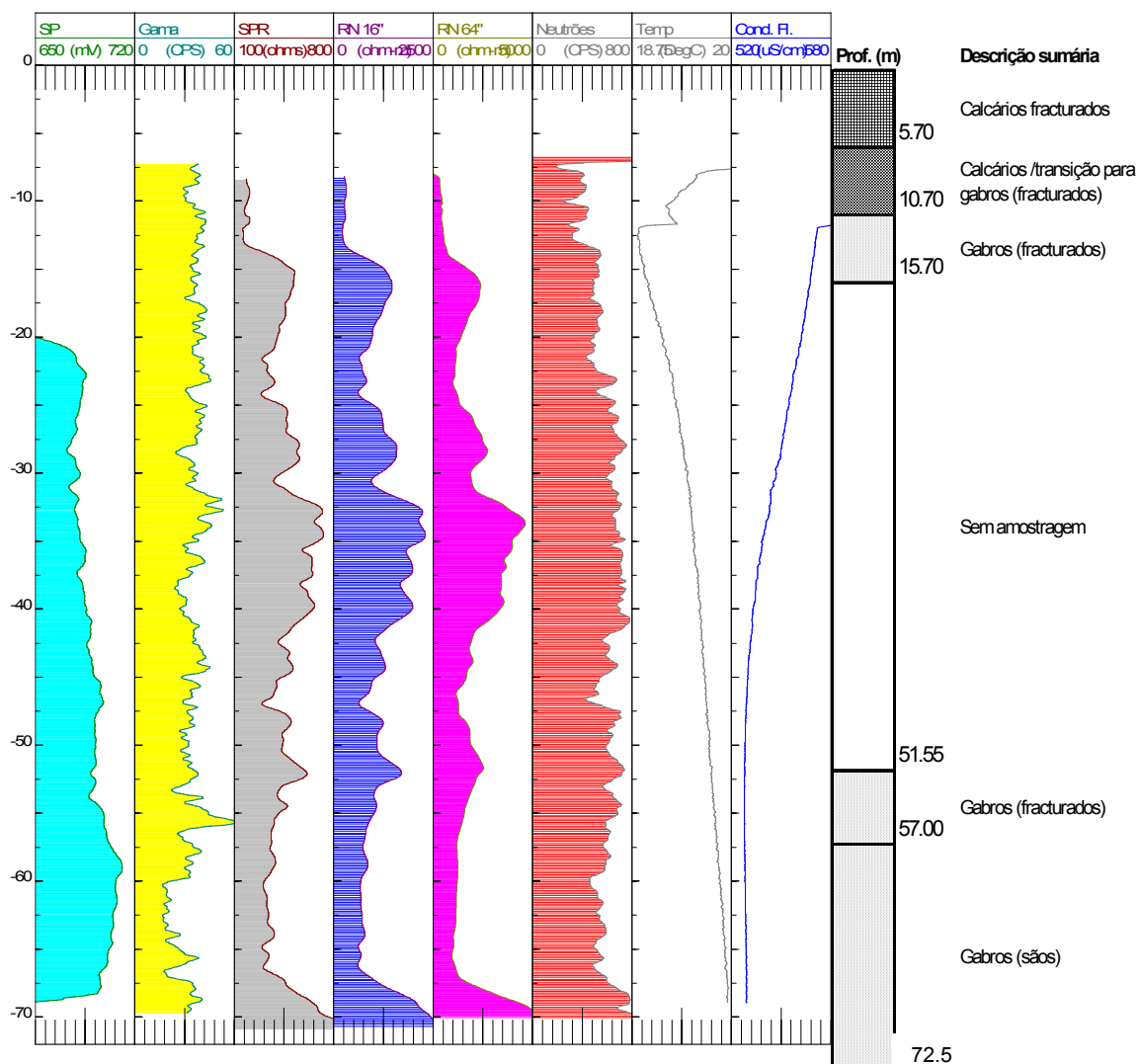


**Figura 18** – Diagrfias efectuadas na região de Serpa

As figuras seguintes apresentam as diagrfias efectuadas na Sondagem SDH2, SDH3 e SDH4.

O objectivo da sondagem SDH2 (**figura 19**), que se localiza no contacto entre os calcários metamórficos (mármoreos ?) de Serpa e os gabros, foi construir e equipar um piezómetro para monitorização das condições de fronteira da área em estudo, de forma a elaborar um modelo conceptual consistente do funcionamento hidráulico deste sector do aquífero.

2PEA-1000 - Vel. logger = 5 m/min  
 LLP-2676- Vel. logger = 5 m/min  
 2WQA-1000 = 5 m/min  
 HFP-2293 - Medidas a cada 5 m



**Figura 19** – Diagramas efectuadas na sondagem SDH2

Genericamente, e de acordo com a descrição sumária efectuada no local, com o recurso à observação dos “cuttings”, o furo SDH2-Monte Peixoto atravessa calcários fracturados (0-5 m), zona de transição entre calcários e gabros (5-9 m) e gabros fracturados (9-16 m).

Entre os 16 m e os 51.5 m não foi possível obter amostragem, muito provavelmente devido ao contacto dos calcários com o gabro criar uma zona desagregada e sem sustentação que originou problemas durante a furação.

Aos 51.5 m surge novamente amostragem de gabros fracturados (51.5 -57 m) e gabros sãos (57 –72.5 m).

Aquando das diagrfias efectuadas e a partir da observação da diagrfia de Neutrões, o nível hidroestático encontrava-se a cerca de 2.5 m.

De todos os resultados obtidos, destacam-se, ao longo de todo o furo, os baixos valores de radiação gama natural característicos de rochas básicas (Chappelier, 1992; Keys, 1990), indicando a quase ausência de isótopos radioactivos de Urânio, Tório e Potássio e a inexistência de argilas de alteração potássicas. No entanto, é de salientar que a interpretação deste furo em termos litológicos não é muito clara, uma vez que a resposta das diagrfias de radiação gama natural é semelhante em ambas as litologias que o furo atravessa, i.e., calcários e gabros.

A constância destes valores de radiação gama natural, que não ultrapassa, em geral, os 40 cps, parece no entanto, descer ligeiramente nas formações atribuídas a gabros, e ser um pouco mais elevado quando em presença dos calcário câmbricos (mármore).

Hidrogeologicamente, o furo apresenta fluxos internos praticamente nulos, no entanto, tendo em conta a observação das diagrfias de temperatura (cujas pequenas alterações indiciam a existência de água mais fria ou mais quente no interior do furo, feita através de falhas, tendo em conta as características destas formações), as diagrfias de condutividade do furo (cujas pequenas alterações indiciam a entrada de água no furo com características ligeiramente diferentes da água na coluna) e ainda os dados da sonda de Fluxo é possível a individualização de algumas zonas eventualmente produtivas:

Assim, a zona mais superficial, regista, não só um pico na sonda de Fluxo, mas também de temperatura, o que poderá propiciar a captação de água mais superficial.

No entanto, é nesta zona que aumenta consideravelmente o valor da condutividade do fluido (desaparecendo, inclusivé, nesta escala, mas atingindo cerca de 620  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), o que poderá levantar suspeitas acerca da sua qualidade química.

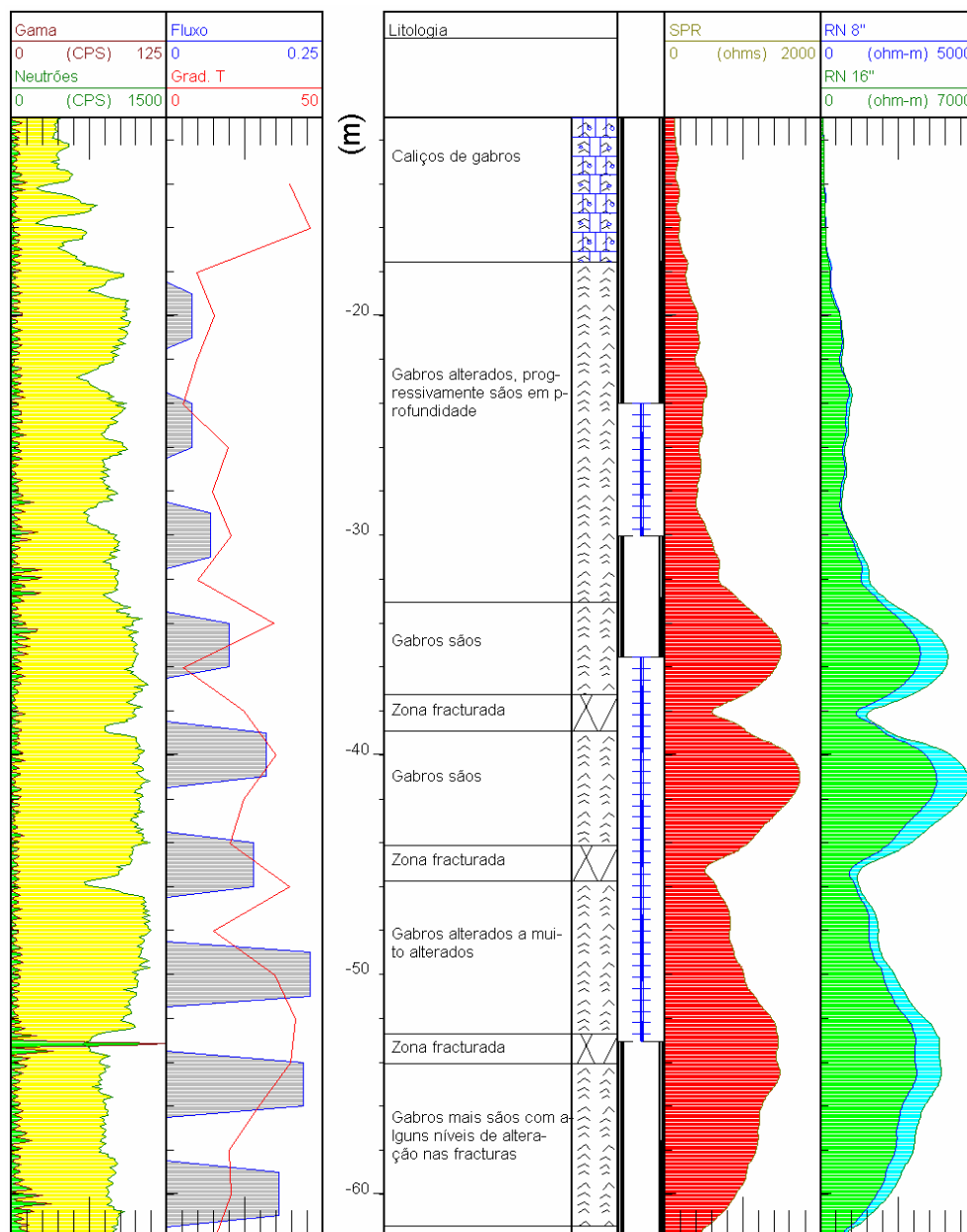
A Zona 2, localizada mais em profundidade, apresenta, igualmente, oscilações na diagrfia de temperatura simultâneas à diagrfia de condutividade de fluido. As fortes deflexões negativas que se verificam na diagrfia de neutrões e radiação gama natural, parecem apontar para a presença de uma zona falhada, que poderá ser produtiva. É de salientar a deflexão da curva de SP (potencial espontâneo) nesta zona, indicadora, igualmente da possível presença de uma fractura produtiva.

A Zona 3, constituirá provavelmente uma zona de calcários, com um ligeiro aumento da diagrfia de Fluxo, associada, em especial, a oscilações na diagrfia de temperatura, neutrões e radiação gama natural.

A Zona 4, situada em profundidade, constitui uma zona com uma forte deflexão negativa de neutrões e gama natural e, um aumento significativo do fluxo no interior do furo, o que faz presumir que se está em presença de uma zona com entrada de água.

O aumento do fluxo verificado em profundidade, poderá ser resultado da convecção interna no interior do furo, uma vez que não aparenta ser o resultado de uma grande quantidade de fracturas produtivas.

Na sondagem SDH3 pretendeu-se construir um piezómetro numa zona não perturbada por extracções de forma a monitorizar a evolução do nível de água do aquífero e também proceder à colheita periódica de amostras para controle do teor em nitratos numa área agrícola no seio do complexo gabróico (**figura 20**).



**Figura 20 - Diagramas efectuadas na sondagem SDH3**

Alguns aspectos hidrogeológicos são igualmente passíveis de inferência a partir da observação deste conjunto de diagrfias. Para auxiliar a interpretação hidrogeológica, calculou-se a diagrfia do gradiente geotérmico a cada 2 metros a partir da diagrfia de temperatura. Esta diagrfia, mais sensível a perturbações térmicas na coluna de fluido do que a própria diagrfia de temperatura (Beck e Balling, 1988), é por vezes uma importante ajuda na identificação de entradas e saídas de água, na medida em que estas provocam pequenas perturbações pontuais, positivas ou negativas, no gradiente geotérmico regional.

Destaca-se nesta diagrfia a zona superficial, com grandes variações na diagrfia do gradiente geotérmico com intensa circulação de água e representativa das características não confinadas do aquífero (Ramalho *et al*, 1999 ).

A partir da figura, é possível observar que as zonas não alteradas têm valores de gradiente geotérmico de cerca de 20 mK/m (o que é característico desta região), enquanto que os valores anómalos são causados por circulação de água na zona alterada ou por influência da temperatura superficial (Ramalho *et al.*, 1999). A fractura registada aos 39 m indica uma zona produtiva. Por outro lado, identifica-se também uma zona fracturada sob a zona de gabro são, com eventual saída de água, aos 45 m.

É de registar igualmente a presença de uma zona fracturada aos 53 m que, possivelmente, será a responsável por grande parte da água extraída pelo furo. Esta fractura, com a presença de minerais de alteração depositados (possivelmente minerais de urânio ou argilas), devido à circulação de fluidos, é igualmente registada simultaneamente pelo aumento da velocidade de fluxo ascendente e pela zona anómala do gradiente geotérmico. A esta profundidade, este último atinge valores de cerca de 35 mK/m, consideravelmente superiores aos cerca de 20 mK/m característicos desta região.

Esta zona é também marcada por um decréscimo da condutividade de fluido na coluna em cerca de 150  $\mu$ S/cm. Este decréscimo será devido ao facto de que, a esta profundidade, o furo encontra-se sob a zona de gabro são, abaixo da zona superficial, e, como tal, isolado de águas superficiais mais condutivas, pelo que a circulação de água se faz, fundamentalmente, através de porosidade secundária.

A condutividade eléctrica desta água medida em laboratório (613  $\mu$ mhos/cm) indica que, possivelmente, a maior parte da água captada provém de zonas mais superficiais, nomeadamente da zona fracturada que ocorre aos 39 m. A partir da observação da **figura 20**, é possível verificar que os maiores fluxos verticais registados correspondem às zonas

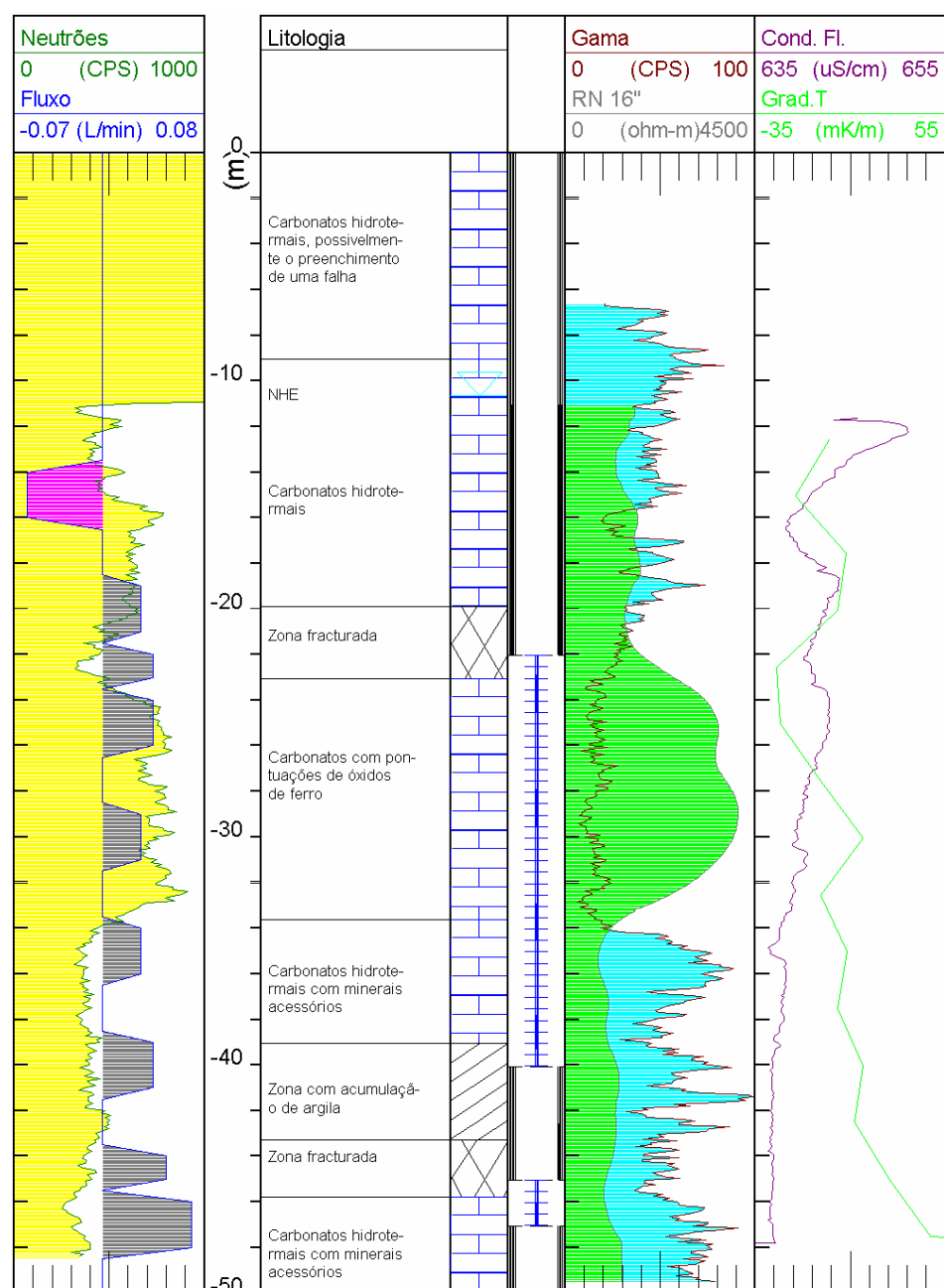
com menor condutividade eléctrica, o que corrobora as observações anteriores. Por outro lado, verifica-se também que zonas com baixos fluxos correspondem a zonas de menor temperatura, o que significa que a zona superficial possui fluxos bastante baixos.

Este facto é facilmente explicável, uma vez que a zona superficial da coluna de fluido apresenta temperaturas muito baixas devido ao facto desta campanha se ter realizado em pleno inverno, não existindo diferença apreciável entre as temperaturas de profundidade (o furo é pouco profundo) e a temperatura ambiente.

É de salientar também, a partir da observação da mesma figura, que a zonas com menores gradientes geotérmicos e temperatura correspondem zonas de menor fluxo, pelo que é de admitir que a maior parte da água que entra no furo será efectivamente proveniente de fracturas com alguma profundidade.

A sondagem SDH4 (**figura 21**) teve por objectivo avaliar o potencial hidrogeológico dos filões de carbonatos hidrotermais que preenchem as falhas E-W associadas ao cavalgamento de Moura-Ficalho.





**Figura 21** - Diagramas efectuadas na região de SDH4

De acordo com a interpretação dos resultados obtidos a partir do conjunto de diagramas efectuado, o furo SDH4-Monte Peixoto atravessa várias zonas distintas.

Em primeiro lugar, uma zona superficial até cerca dos 20 m, que, por sua vez que divide em 3 sub-zonas distintas (sub-divisão feita recorrendo à porosidade/fracturação, indicadas pela diagrama de neutrão-neutrão). Em toda esta zona superficial, os valores de radiação gama natural não ultrapassam, em média, os 50 cps.

Seguidamente entra-se numa zona fracturada em que os valores de radiação gama natural decrescem de uma forma gradual a partir dos 20m até cerca de 20 cps. As

resistividades aparentes desta zona superficial não ultrapassam os 2200  $\Omega$ .m, sendo este valor retirado a partir da diagrafia de Resistividade Normal 16", que, para este diâmetro, atinge uma penetração suficiente para a determinação aproximada da resistividade da formação ( $R_f$ ).

A segunda zona identifica-se claramente entre os 23-33m de profundidade, em especial a partir das diagrfias eléctricas (SPR, RN 8" e RN 16") e neutrão-neutrão. Com uma assinatura completamente diferente da anterior, a resistividade aparente da formação a atinge cerca de 4500  $\Omega$ .m e valores da diagrafia de neutrões de cerca de 750 cps.

Esta segunda zona, atribuída a formações carbonatadas com óxidos de ferro a partir da análise dos "cuttings", em conjunto com as diagrfias tem porosidade muito menor do que a anterior, à parte de algumas zonas atribuídas a fracturas, em especial entre os 26-28 metros.

A terceira zona identificada situa-se abaixo dos 33 m de profundidade, em que a assinatura de todas as diagrfias eléctricas e nucleares representadas na figura diferem significativamente; por um lado, a diagrafia de radiação gama natural relativa a esta zona mostra, em particular, características muito distintas das outras zonas, podendo a partir desta traçar-se com bastante exactidão o contacto entre as formações carbonatadas e possíveis filões de quartzo com minerais acessórios. Esta diagrafia indica que esta zona se encontra bastante enriquecida minerais acessórios, traduzida pela presença de isótopos radioactivos de Urânio, Tório e Potássio (Keys, 1990; Chappelier, 1992). Apresenta ainda algumas zonas fracturadas, identificadas nas diagrfias eléctricas como pequenos troços com resistividade/resistência inferior à média desta zona. Por outro lado, os picos negativos que a diagrafia de radiação gama natural apresenta, nomeadamente entre os 43-46 m, indicam a presença de fracturas sem argilas de alteração ou presença marcante de deposição de fluidos ricos em urânio.

Em termos hidrogeológicos destaca-se a existência de uma zona fracturada entre os 20 e os 23 m, onde é visível a entrada de água com condutividade eléctrica de cerca de 643  $\mu$ S/cm e um caudal de 0.075 L/min.

Entre os 43 e os 46 m regista-se também uma zona produtiva (0.079 L/min), com a água apresentando valores de condutividade do fluido inferiores aos da zona alterada (cerca de 637  $\mu$ S/cm). No entanto, a variação vertical da condutividade da água no furo é bastante pequena, atingindo um máximo de 20  $\mu$ S/cm.

Esta sondagem foi objecto de um pequeno ensaio de air-lift e de recuperação e, em face da sua produtividade, na ordem dos 12 m<sup>3</sup>/h foi cedida ao proprietário do terreno, a título de compensação, uma vez que nesta propriedade se localiza também o piezómetro da sondagem SDH2.

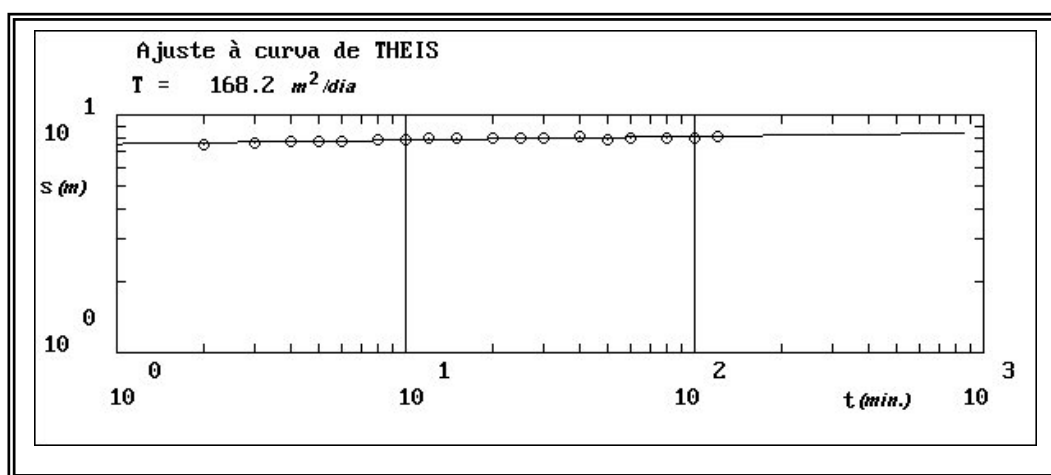
#### 4.4 – Ensaio de caudal

Na área de trabalho existem poucas captações públicas susceptíveis de serem ensaiadas, devido à forma como as ligações às condutas se encontram construídas. Desta forma, optou-se por testar a produtividade das estruturas geológicas de orientação geral E-W correspondentes a falhas preenchidas por carbonatos hidrotermais, com inclusões metálicas que constituem em si mesmo um aspecto geológico pouco estudado.

Na sondagem SDH4 do Monte Peixoto realizou-se um ensaio de air-lift com a duração de 2 horas e caudal da ordem dos 12 m<sup>3</sup>/h.

A sondagem tem 49 metros de profundidade e os ralos situam-se entre os 22 e 40 m e entre os 45 e 47 metros.

Nas **figuras 22 e 23** estão representados a análise gráfica do ensaio e da recuperação.



**Figura 22** – Ensaio de caudal “air lift” com duração de 2 horas e caudal constante de 12 m<sup>3</sup>/h na sondagem SDH4 Monte do Peixoto

Os parâmetros hidráulicos relativos à transmissividade foram calculados pelo método das sensibilidades, recorrendo ao programa de interpretação automática SENTHEIS (Almeida, C., 1990), considerando válidas as condições de Theis (1935). O resultado obtido é de 168 m<sup>2</sup>/dia.

Pelo método de Jacob, por aplicação da equação simplificada,

$$T = 0.183 Q / \Delta s \quad [\text{m}^2/\text{dia}]$$

em que:

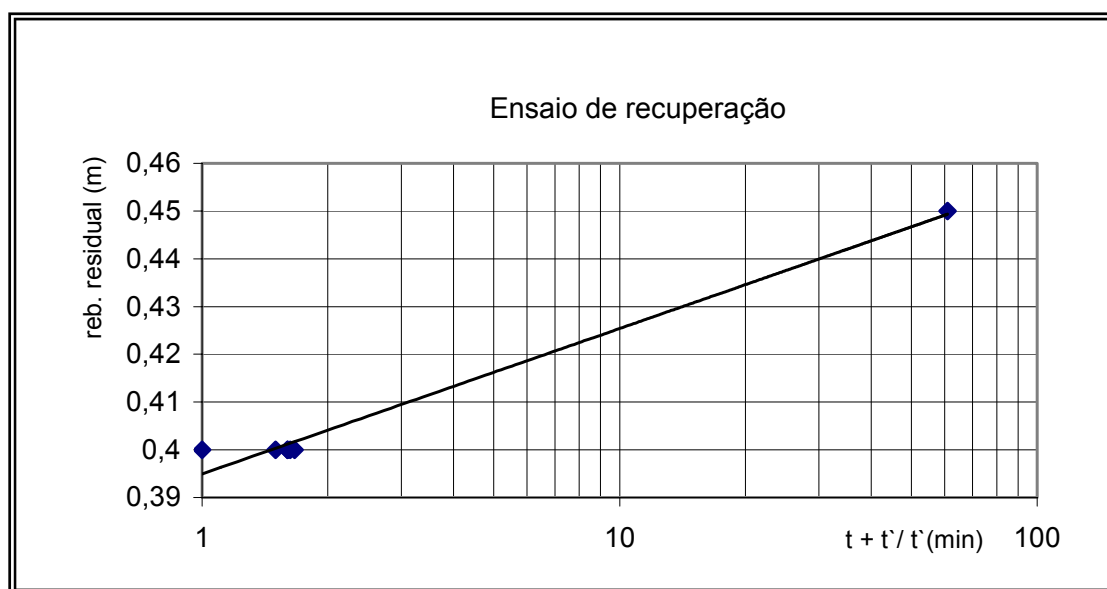
**T** - transmissividade ( $\text{m}^2/\text{dia}$ )

**Q** - caudal de bombeamento ( $\text{m}^3/\text{dia}$ )

**$\Delta s$**  - rebaixamento na captação correspondente a 1 ciclo logarítmico (m), obtido da projecção de  $\log t$  vs  $s$

Obteve-se um valor de transmissividade de  $190 \text{ m}^2/\text{dia}$ .

O rebaixamento observado no final do ensaio era de 8.14 m e após paragem recuperou em 2 minutos cerca de 7.63 m, mantendo-se um rebaixamento residual de 40 cm ao fim de 10 minutos, o que indica muito provavelmente um ligeiro efeito de esvaziamento.



**Figura 23** – Ensaio de recuperação com a duração de 10 minutos após 2 horas de extracção com caudal constante de  $12 \text{ m}^3/\text{h}$  na sondagem SDH4 Monte do Peixoto

Apesar de não se poder generalizar as condições hidrogeológicas dos filões carbonatados hidrotermais instalados em falhas de orientação geral E-W, o ensaio revelou que estas estruturas geológicas podem apresentar permeabilidades bastante mais elevadas que as das rochas básicas enquadantes e que em locais topograficamente e geologicamente favoráveis podem apresentar produtividades interessantes para abastecimento doméstico e eventualmente mesmo para abastecimento público.

A avaliação correcta do potencial hidrogeológico das estruturas geológicas assinaladas, com recurso à prospecção geofísica de superfície sistemática, poderia resultar em novas captações para reforço do abastecimento público em freguesias isoladas.

#### **4.5 – Distribuição espacial dos caudais**

Os dados disponíveis para a área de Serpa-Brinches apontam para cerca de 40 sondagens (confirmadas) de pesquisa hidrogeológica realizadas entre 1972 e 1995 para a Câmara Municipal de Serpa, em diferentes formações geológicas, com uma taxa de insucessos de 40%.

Na formação dos gabro-dioritos estão confirmados cerca de 20 sondagens de pesquisa para a autarquia, com profundidades médias inferiores a 50 metros, das quais 50% foram aproveitadas para abastecimento público.

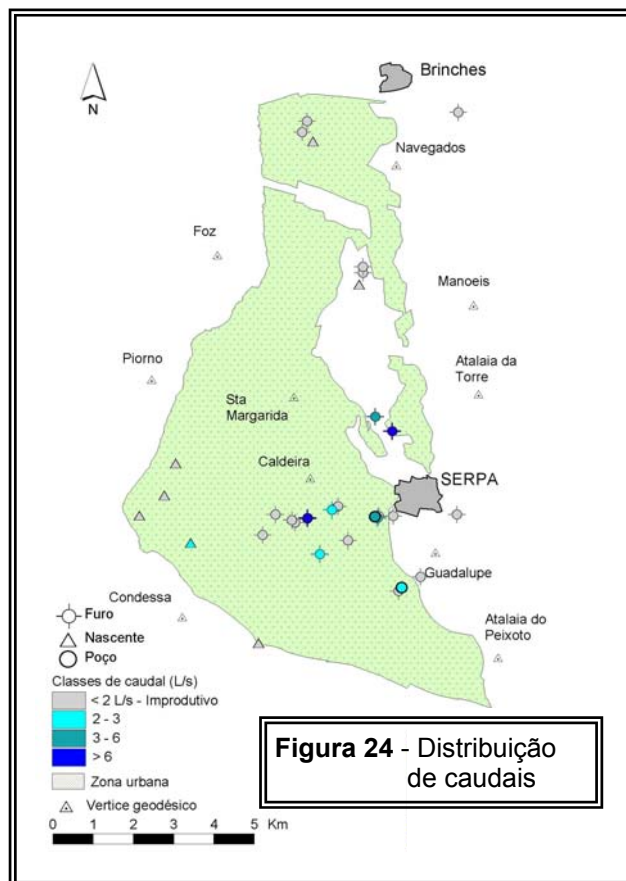
Nesta formação os caudais obtidos oscilam entre 1 e 10 l/s, embora na maioria dos casos a produtividade seja inferior a 3 l/s. Normalmente as pesquisas com caudais inferiores a 2 l/s foram abandonadas (classificadas como sondagens improdutivas) e em muitos casos não estão correctamente referenciadas com coordenadas, mas apenas com a designação do local.

Embora com algumas reservas, indica-se no mapa da **figura 24** a distribuição dos caudais que foi possível confirmar e indicam-se simultaneamente as sondagens abandonadas por fraca produtividade ( $< 2$  l/s).

Sabe-se que as pesquisas realizadas por particulares para fins agrícolas na maioria das vezes resultam improdutivas ou secas pelo que a taxa de insucessos neste sector do aquífero será na ordem dos 50%.

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

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



**Figura 24 - Distribuição de caudais**

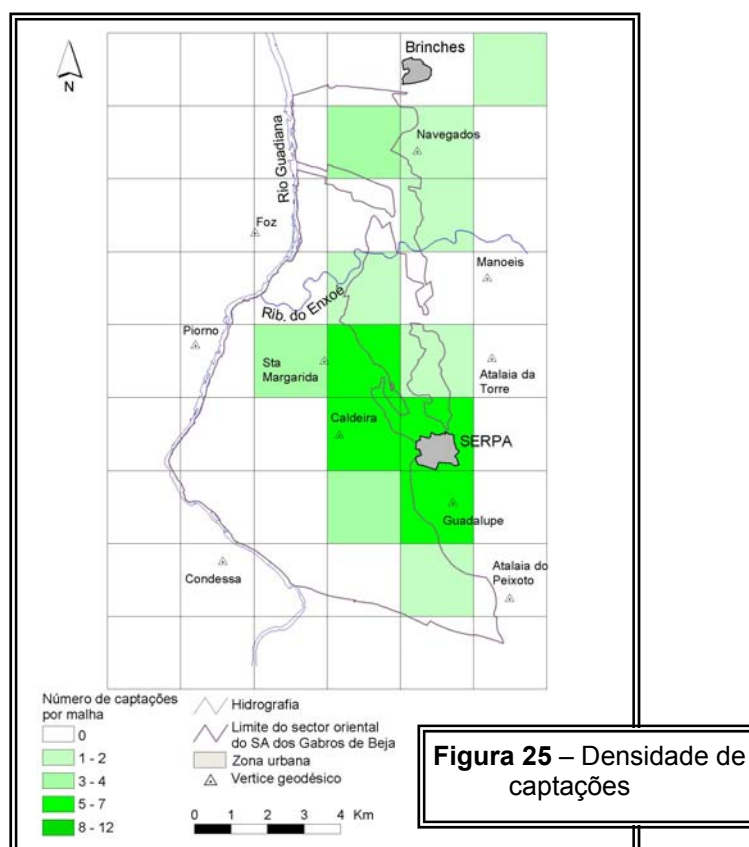
#### 4.6 – Densidade de captações

Das cerca de 50 captações inventariadas, e em condições de funcionamento, identificaram-se 40 furos com profundidades entre 12 e 90 metros distribuídas pela área de trabalho.

A profundidade média situa-se nos 30 metros e são na sua maioria captações para abastecimento doméstico a montes ou pequenas explorações, portanto com capacidades de extracção pouco significativas.

Existem igualmente muitos abastecimentos particulares por poços pouco profundos (inferior a 10 metros), que não são considerados neste item.

O mapa de densidade de captações adoptando uma malha de 2x2 km<sup>2</sup> está representado na **figura 25**.



#### 4.7 – Caracterização e quantificação dos usos

A quantificação dos usos para esta região carece de dados precisos que só a instalação de contadores pode proporcionar, de qualquer forma a grande utilização dos recursos subterrâneos do complexo gabro-diorítico é para abastecimento público e particular.

Nesta área não é usual fazer regadio de girassol ou milho, como acontece na área de Beja, devido à fraca produtividade aquífera destas formações.

A quantificação dos consumos públicos a partir do aquífero também é difícil de obter uma vez que os sistemas instalados funcionam sem contadores e cada vez mais de forma intermitente, apenas como recurso em caso de quebra no abastecimento a partir da albufeira do Enxoé.

No entanto sabe-se que antes da entrada em funcionamento do sistema adutor do Enxoé, em 1999, o abastecimento a Serpa, com uma população aproximada de 10 000 habitantes dependia exclusivamente das captações subterrâneas que sustentavam cerca de 1 500 m<sup>3</sup>/dia ou seja 0.5 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> /ano.

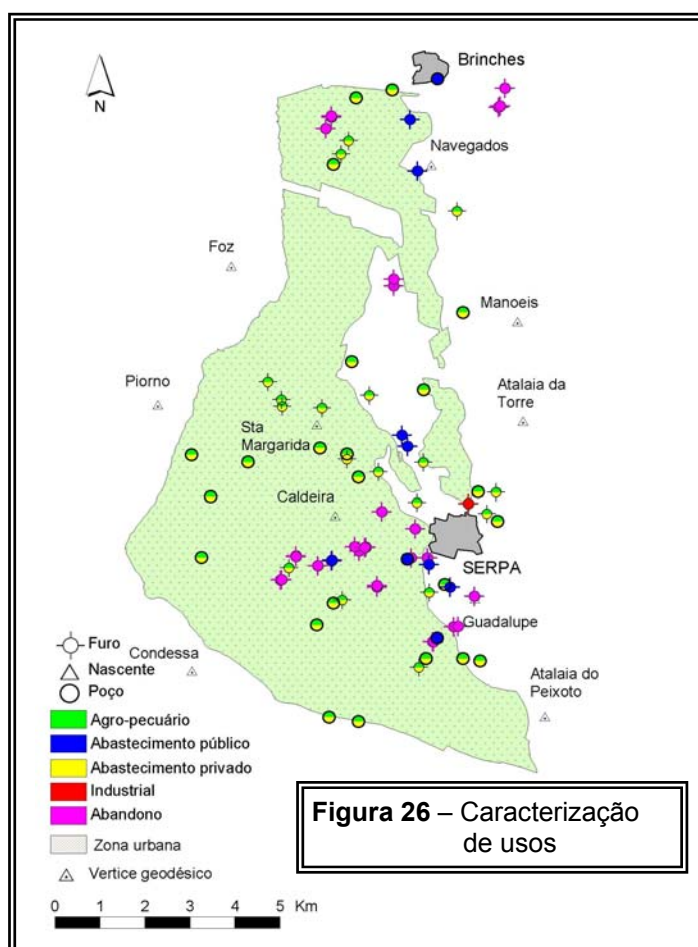
Cerca de metade das necessidades diárias eram supridas por 3 captações situadas na área dos gabros a sul e sudoeste de Serpa e o restante a partir de 4 captações em formações dos calcários pré-câmbrios e da série negra dos arredores da Vila.

A principal utilização dos recursos subterrâneos do aquífero gabro-diorítico é para abastecimento privado, a partir de furos e uso agrícola e pecuária, a partir essencialmente de poços.

Utilização para fins industriais limita-se a área a NE de Serpa onde se localiza o parque industrial.

O abastecimento público à vila de Serpa depende actualmente de 7 captações em situação de reserva, face à utilização preferencial de água da albufeira do Enxoé e o abastecimento a Brinches depende de 2 captações nos arredores da aldeia

O mapa da **figura 26** indica os principais usos das captações inventariadas na área entre Serpa e Brinches.





#### **4.8 – Caracterização e funcionamento hidráulico**

O complexo gabro-diorítico alterado que constitui o suporte geológico do sistema aquífero dos “Gabros de Beja” na margem esquerda do rio Guadiana considera-se, no seu conjunto, como tendo um comportamento hidráulico semelhante.

Em termos hidrogeológicos a área de estudo apresenta um comportamento de aquífero livre com circulação em meio poroso, constituído pelas formações alteradas. A camada de alteração comporta-se como um reservatório que alimenta as diaclases subjacentes, características de meio fissurado, que serão objecto de pesquisa hidrogeológica (Pais Quina, 1983).

A espessura de alteração varia localmente, podendo atingir até 30 metros de espessura. O gabro-diorito são têm-se revelado improdutivo. As zonas mais favoráveis à pesquisa hidrogeológica correspondem a falhas e ao horizonte de fracturação, embora a sua permeabilidade dependa da abertura e lavagem das fissuras situadas entre o manto de alteração e o “bed-rock”.

Este sistema aquífero, apresenta-se muito heterogéneo, podendo fornecer bons caudais a par de pesquisas praticamente secas. A taxa de insucessos, incluindo os furos secos particulares, dificilmente quantificáveis, rondará os 50%.

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

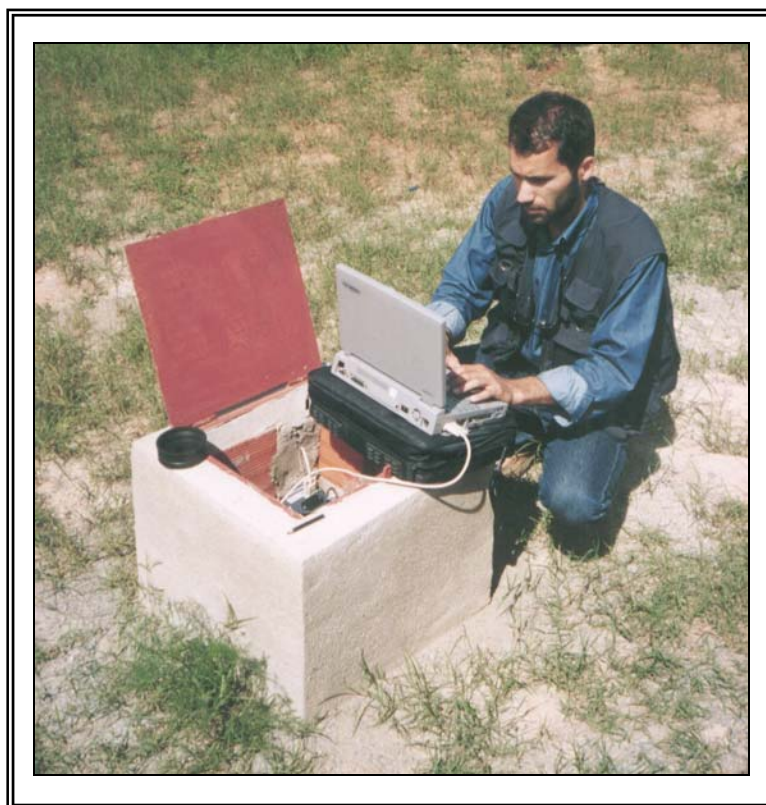
Normalmente as permeabilidades são reduzidas, o que, associado ao fraco índice pluviométrico (em média 500 mm/ano) compromete o volume de recursos disponíveis em épocas de estio prolongado.

À semelhança do que se conhece noutras zonas do aquífero dos “Gabros de Beja” a aptidão hidrogeológica é muito variável. As zonas mais produtivas estão associadas a locais estruturalmente favoráveis como falhas, fracturas e diaclasamentos não preenchidos, contactos litológicos e filões (Paralta, 1997).

Tratando-se de um aquífero livre, a superfície piezométrica acompanha aproximadamente o modelado topográfico e encontra-se normalmente a poucos metros de profundidade, o que facilita grandemente a sua exploração por poços ou charcas pouco profundas (4 a 5 metros). Na época estival os níveis de água no terreno podem descer mais de 1 dezena

de metros nos locais de cota mais elevada. Nas áreas mais deprimidas a oscilação do nível freático é menos acentuada.

No sentido de monitorizar o comportamento piezométrico deste sector do aquífero dos “Gabros de Beja” instalaram-se em Abril e Maio de 1999 sondas de registo automático (**figura 27**) nos piezómetros SDH2 (Monte do Peixoto) e SDH3 (Monte da Lobata) respectivamente. Os dados obtidos estão actualmente a ser processados, mas confirmam as conclusões apontadas.



**Figura 27** – Programação das sondas automáticas de registo piezométrico

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

#### **4.9 - Previsão de necessidades futuras**

Para a totalidade do concelho de Serpa, estima-se que o consumo nas freguesias seja em média de 100 litros/hab.dia ou inferior e na sede de concelho cerca de 150 litros/hab.dia.

Actualmente o consumo de água na vila de Serpa, com cerca de 10 000 habitantes, situa-se na ordem dos 1 500 m<sup>3</sup>/dia e para a totalidade do concelho (1100 km<sup>2</sup>), com uma população residente de 18 000 habitantes rondará os 2 000 m<sup>3</sup>/dia.

Durante o último período de seca prolongada (1991-1995) o abastecimento público sofreu falhas frequentes, o que levaria as autoridades a construir novas captações, sem grande sucesso, em virtude da falta de estudos hidrogeológicos e escassez de recursos subterrâneos no final do estio prolongado.

No sentido de evitar situações idênticas e criar uma reserva estratégica de água, a autarquia e o Instituto da Água decidiram construir a barragem do Enxoé, que ficou concluída e em condições de funcionamento no final de 1999 (**figura 28**).



**Figura 28** – Vista da barragem do Enxoé.

O abastecimento de água a partir da barragem contempla a totalidade do concelho de Serpa e 70% do concelho de Mértola (7 000 habitantes).

A albufeira tem também como objectivos a manutenção do caudal ecológico, a manutenção da actual área de regadio no vale a jusante e a criação de uma reserva estratégica de água (Afonso, J. *et al.*, 1998).

As afluências anuais em ano médio estão estimadas em 8.6 hm<sup>3</sup>. A bacia hidrográfica respeitante à barragem do Enxoé tem uma superfície de 60 km<sup>2</sup>.

A albufeira da barragem tem uma capacidade total de 10 hm<sup>3</sup>, à cota de 175 metros e a área inundada correspondente é de 2 km<sup>2</sup>. A altura da barragem é de 20 metros.

A evolução previsível dos consumos de água para abastecimento urbano depende essencialmente da evolução demográfica e económica do concelho de Serpa.

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.

A projecção dos consumos para abastecimento público do concelho de Serpa apontam para valores de 200 l/hab.dia na sede do município e 120 l/hab.dia nas aldeias das freguesias.

Assim, estima-se que as necessidades de água para abastecimento público da vila de Serpa venham a ser na ordem dos 2 000 m<sup>3</sup>/dia e no restante concelho de cerca de 1 000 m<sup>3</sup>/dia, o que totaliza cerca de 1 milhão m<sup>3</sup>/ano.

Nas condições de consumo actual, os recursos hídricos subterrâneos do complexo gabro-diorítico dos arredores de Serpa podem assegurar facilmente 50% do abastecimento diário à Vila, 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 margem esquerda do rio Guadiana baseiam-se em 11 análises físico-químicas realizadas no período de águas altas (Novembro de 1998 e Janeiro de 1999) e em 30 análises realizadas no período de águas baixas, maioritariamente em julho de 1998 e Abril de 1999.

As 41 análises correspondem a 37 pontos de água, sendo 4 registos comuns às 2 épocas de colheitas.

Dos pontos monitorizados 22 pertencem ao aquífero do complexo gabro-diorítico de Serpa-Brinches (26 análises). Foram ainda realizadas 15 colheitas provenientes das formações enquadantes, nomeadamente dos calcários pre-câmbrios e do complexo das rochas ácidas, a NE de Serpa.

A totalidade dos 41 registos obtidos encontram-se disponíveis nas bases de dados da DRA Alentejo e no SNIRH do INAG.

**Tabela 6** – Caracterização das análises efectuadas

Época	Furo	Poço	Nascente	Geologia
Águas altas	4	4	3	Gabro-dioritos
Águas baixas	14	13	3	Gabro-dioritos Calcários e rochas ácidas

O mapa da **figura 29** indica a localização das análises consideradas para este trabalho.

## **5.2 - Distribuição de parâmetros físico-químicos (elementos maiores)**

### ◆ Metodologias

O estudo das características hidroquímicas da região de Serpa baseou-se em 41 análises realizadas em 37 pontos de água.

Na **tabela 7** apresentam-se os valores obtidos nas campanhas de águas baixas para os elementos maiores.

**Tabela 7 – Análises físico-químicas em águas baixas**

Carta	Ref.	Data	CE	pH	AlcT (mg/l)	DT (mg/l)	RS (mg/l)	CO2 (mg/l)	HCO3 (mg/l)	SiO2 (mg/l)	Ca (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Mg (mg/l)	NO3 (mg/l)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)
522	F-31	Jun-98	916.0	7.4	329.5	369.0	581.4	25.6	402.0	31.5	70.1	61.5	1.5	47.2	35.7	61.3	70.4
522	F-37	Jun-98	737.0	7.4	322.5	341.3	488.8	27.8	393.5	32.1	80.5	41.5	1.0	34.2	30.7	34.4	44.1
522	F-38	Jun-98	582.0	7.4	187.0	273.0	407.6	18.6	228.1	36.2	66.6	19.8	2.2	26.0	111.8	18.2	38.2
522	F-39	Jun-98	1749.0	7.2	338.5	754.2	1077.4	47.4	413.0	26.8	179.2	74.0	3.5	74.8	120.3	328.1	62.8
522	P-4	Jun-98	734.0	7.6	279.5	326.0	482.8	16.2	341.0	24.9	79.9	40.5	0.1	30.8	41.3	38.3	57.6
522	P-21	Jun-98	1022.0	6.9	348.0	544.0	767.8	86.9	424.6	22.7	104.2	60.0	3.0	69.1	163.4	99.5	75.5
522	P-19	Jun-98	733.0	7.5	316.0	342.2	466.2	24.9	385.5	20.5	79.7	34.0	2.0	32.6	33.9	39.0	36.5
532	PTD1	Jun-98	420.0	7.7	169.0	176.4	266.4	136.8	206.2	13.4	48.3	18.8	4.0	13.6	14.9	26.2	23.0
532	F-28	Jun-98	624.0	7.5	221.0	285.5	424.4	15.5	269.6	32.7	76.4	23.1	0.6	27.0	75.5	18.6	52.5
532	F-34	Jun-98	1205.0	6.9	296.5	492.0	758.4	85.7	361.7	42.0	107.5	66.0	2.0	54.5	77.6	147.1	54.7
532	N-2	Jun-98	699.0	7.5	290.5	373.0	448.8	22.9	354.4	31.1	76.5	27.0	0.6	33.8	56.8	25.2	37.3
532	N-5	Jun-98	643.0	7.4	249.0	307.4	437.8	20.7	303.8	28.0	77.0	23.0	0.1	28.1	58.4	21.1	49.3
532	N-6	Jun-98	734.0	7.6	291.0	347.8	498.4	15.6	355.0	34.2	86.2	29.5	0.5	32.6	82.4	22.1	40.7
532	P-2	Jun-98	685.0	7.4	299.5	330.3	456.0	27.0	365.4	33.4	84.2	26.0	0.5	29.3	34.4	31.2	37.9
522	P-22	Set-98	702.0	7.3	273.0	308.0	486.8	33.7	333.7	12.5	73.8	55.0	0.6	30.2	76.4	36.7	45.9
532	F-41	Apr-99	603.0	7.6	245.0		485.0		245.0	18.5	47.5	30.3	1.4	36.0	85.2	16.0	104.0
532	F-42	Apr-99	816.0	7.2	325.0		488.5		325.0	29.7	78.3	30.8	0.9	35.3	125.0	68.0	54.0
532	F-43	Apr-99	1256.0	7.2	430.0		812.0		430.0	28.7	77.8	72.8	3.3	49.8	164.2	121.0	97.0
532	P-9	Apr-99	751.0	7.6	298.0		498.0		298.0	37.2	45.0	26.5	1.4	44.3	65.0	64.0	60.0
532	P-16	Apr-99	1820.0	7.4	479.0		1313.0		479.0	25.8	107.0	127.0	6.0	58.3	242.3	245.0	158.0
532	P- 17	Apr-99	712.0	7.9	217.0		443.0		217.0	21.5	52.8	36.8	1.4	31.0	126.4	33.0	60.0
532	P -18	Apr-99	925.0	7.5	360.0		756.0		360.0	31.7	92.3	60.8	5.0	49.0	154.6	123.0	91.0
532	F-2	Apr-99	622.0	7.5	275.0		435.0		336.0	33.5	75.1	37.5	0.4	27.7	53.3	22.0	44.0
532	F-44	Apr-99	697.0	7.5	320.0		437.0		320.0	26.0	76.8	41.0	1.9	38.3	55.0	41.0	41.0
532	P-12	Apr-99	622.0	7.5	277.0		435.0		337.0	33.3	68.6	37.0	0.4	32.2	54.0	22.0	44.0
533	F-11	Apr-99	856.0	7.3	353.0		506.0		353.0	24.9	70.8	38.3	2.1	37.0	61.7	62.0	59.0
533	F-12	Apr-99	894.0	7.3	370.0		646.0		370.0	25.6	50.5	42.3	2.6	33.8	58.4	69.0	64.0
533	F-13	Apr-99	785.0	7.3	367.0		515.0		367.0	21.0	32.3	43.5	4.2	35.0	46.4	50.0	64.0
533	P-3	Apr-99	875.0	7.4	367.0		518.0		367.0	27.0	53.8	39.8	1.4	39.0	86.0	63.0	67.0
533	P-4	Apr-99	799.0	7.5	366.0		530.0		366.0	27.3	53.5	42.8	1.9	31.3	58.6	54.0	57.0

Na **tabela 8** apresentam-se os valores obtidos das campanhas de águas altas para os elementos maiores.

**Tabela 8 – análises físico-químicas em águas altas**

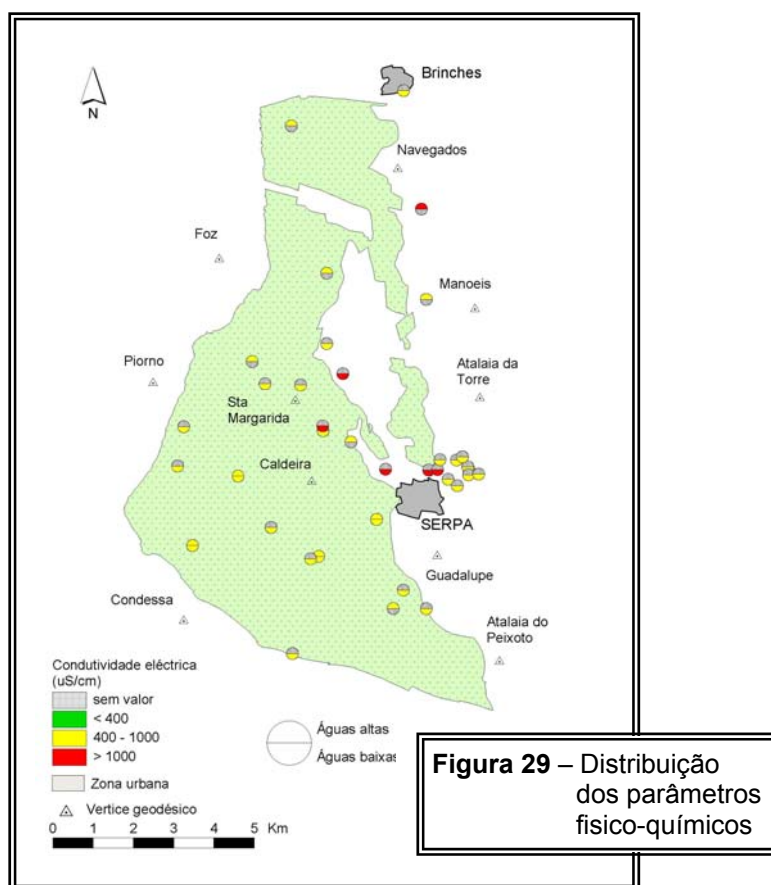
Carta	Ref.	Data	CE	pH	AlcT (mg/l)	DT (mg/l)	RS (mg/l)	HCO3 (mg/l)	SiO2 (mg/l)	Ca (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Mg (mg/l)	NO3 (mg/l)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)
522	F-36	Nov-98	686.0	7.3	306.0	354.0	496.5	306.0	40.7	88.8	29.5	1.2	33.5	29.1	39.0	49.0
522	N-5	Nov-98	664.0	7.4	284.0	313.0	479.0	284.0	32.4	74.8	38.0	1.3	31.8	55.5	41.0	41.0
522	N-12	Nov-98	639.0	7.4	260.0	290.0	467.0	260.0	45.2	74.8	42.8	0.8	26.5	50.4	38.0	53.0
522	P-12	Nov-98	1139.0	7.3	344.0	546.0	791.0	344.0	24.0	102.8	55.0	2.4	57.5	178.0	106.0	83.0
522	P-16	Nov-98	638.0	7.4	296.0	338.0	470.0	296.0	41.4	71.5	22.8	0.5	27.3	42.8	26.0	35.0
532	F-2	Nov-98	694.0	7.6	269.0	340.0	501.0	269.0	32.6	83.0	31.0	1.1	36.3	62.6	44.0	52.0
532	PTD1	Nov-98	892.0	7.5	284.0	422.0	623.0	284.0	37.9	106.8	37.8	1.0	41.0	99.6	86.0	76.0
532	F-35	Nov-98	821.0	7.3	300.0	408.0	557.0	300.0	26.6	105.0	32.5	1.0	37.8	58.7	82.0	64.0
532	N-6	Nov-98	717.0	7.4	294.0	350.0	527.5	294.0	40.5	83.3	30.5	0.5	38.5	101.1	17.0	57.0
532	P-15	Nov-98	579.0	7.6	244.0	278.0	408.0	244.0	36.8	68.0	26.3	0.5	31.0	43.3	27.0	47.0
532	F-41	Dec-98	613.0	7.4	195.5	324.2	451.0	238.5	34.2	71.7	22.8	1.2	35.3	88.1	20.1	78.5

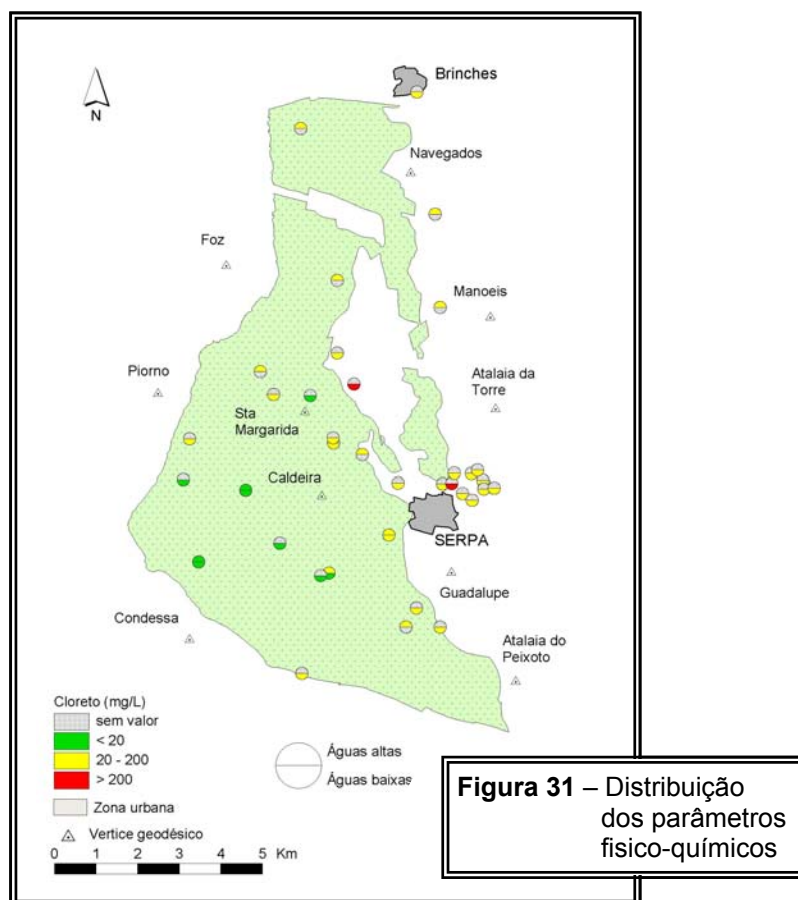
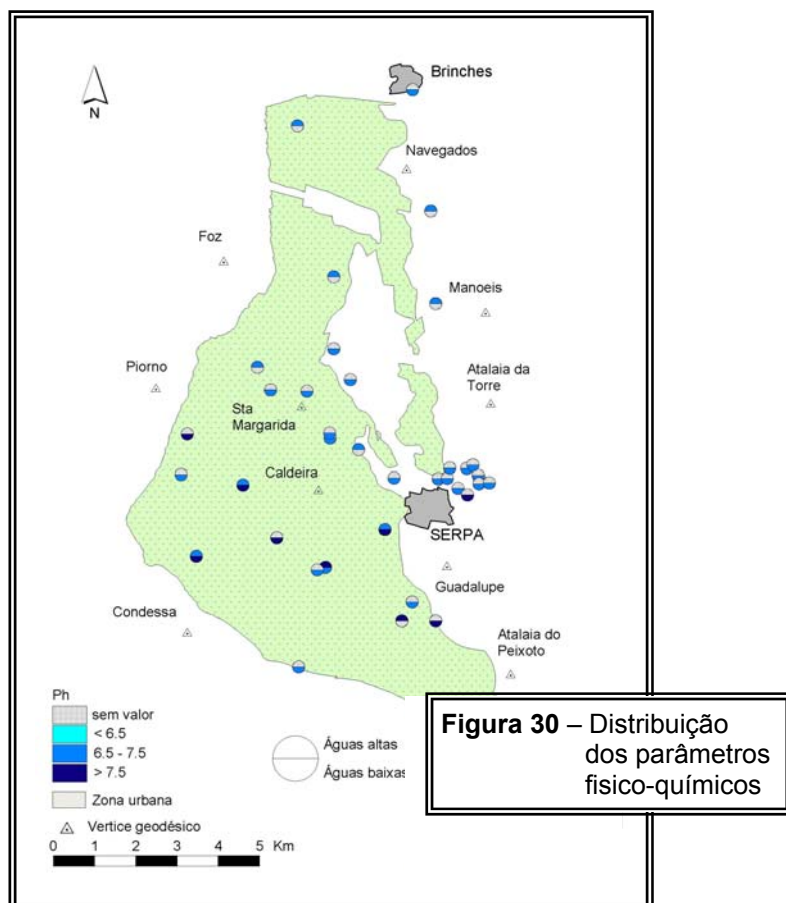
## Resultados

Os resultados pontuais referentes aos 37 pontos de água analisados, dos quais 4 são comuns às colheitas de águas altas e águas baixas (41 análises) apresentam-se em 9 mapas de distribuição de parâmetros físico-químicos maiores:

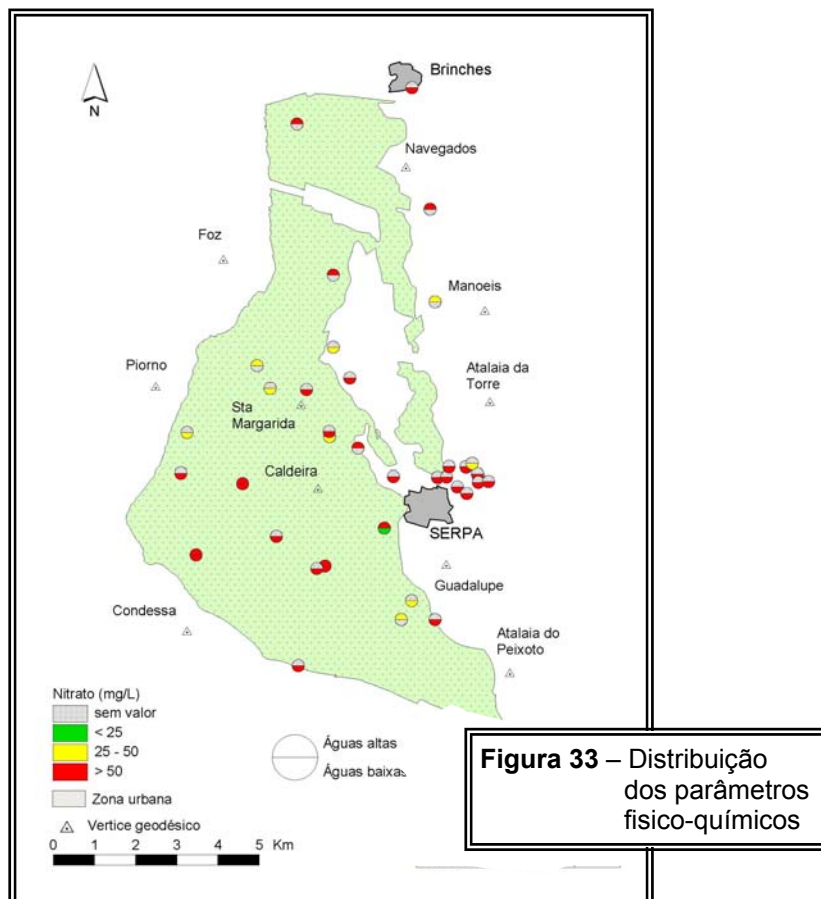
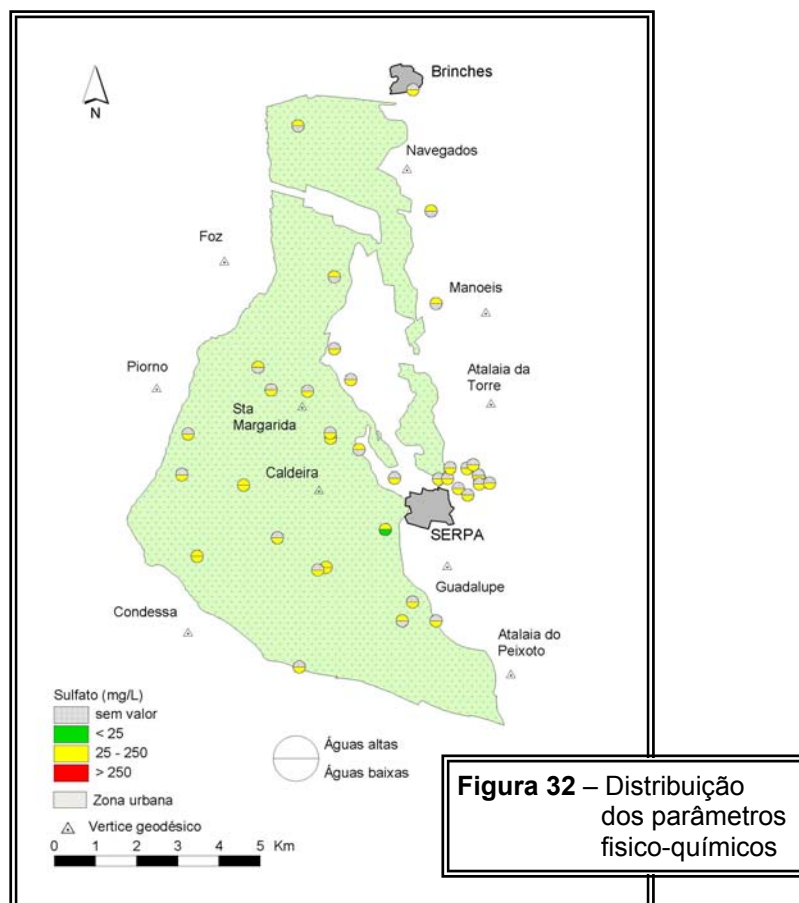
- ▶ Condutividade eléctrica (uS/cm)
- ▶ pH
- ▶ Cloreto (mg/l)
- ▶ Sulfato (mg/l)
- ▶ Nitrato (mg/l)
- ▶ Cálcio (mg/l)
- ▶ Magnésio (mg/l)
- ▶ Sódio (mg/l)
- ▶ Dureza Total (mg/l CaCO<sub>3</sub>)

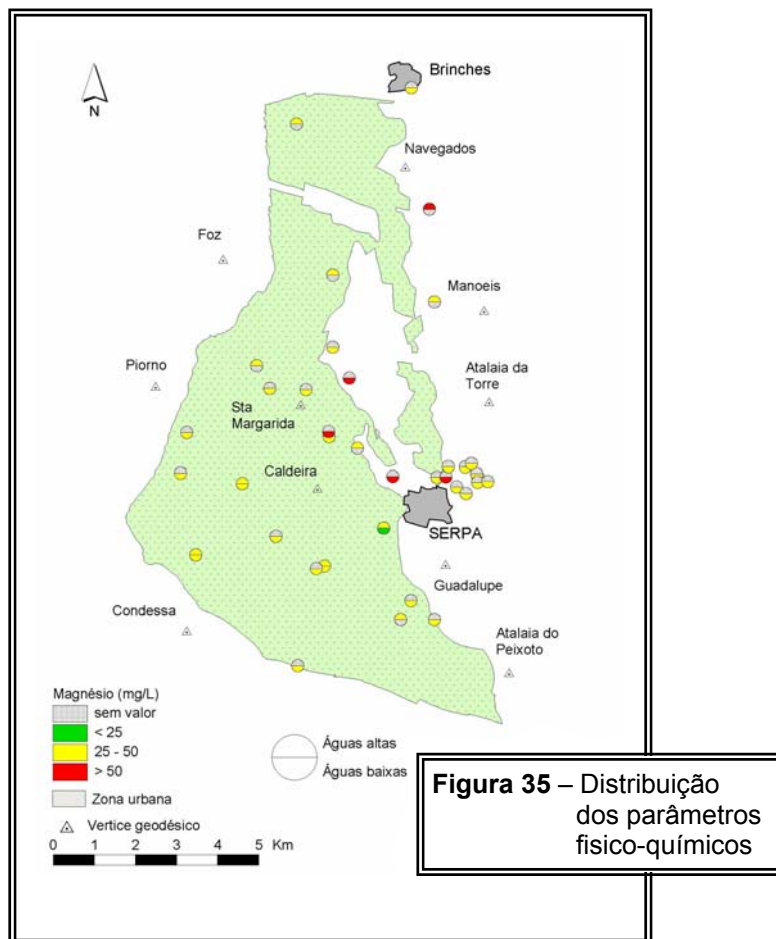
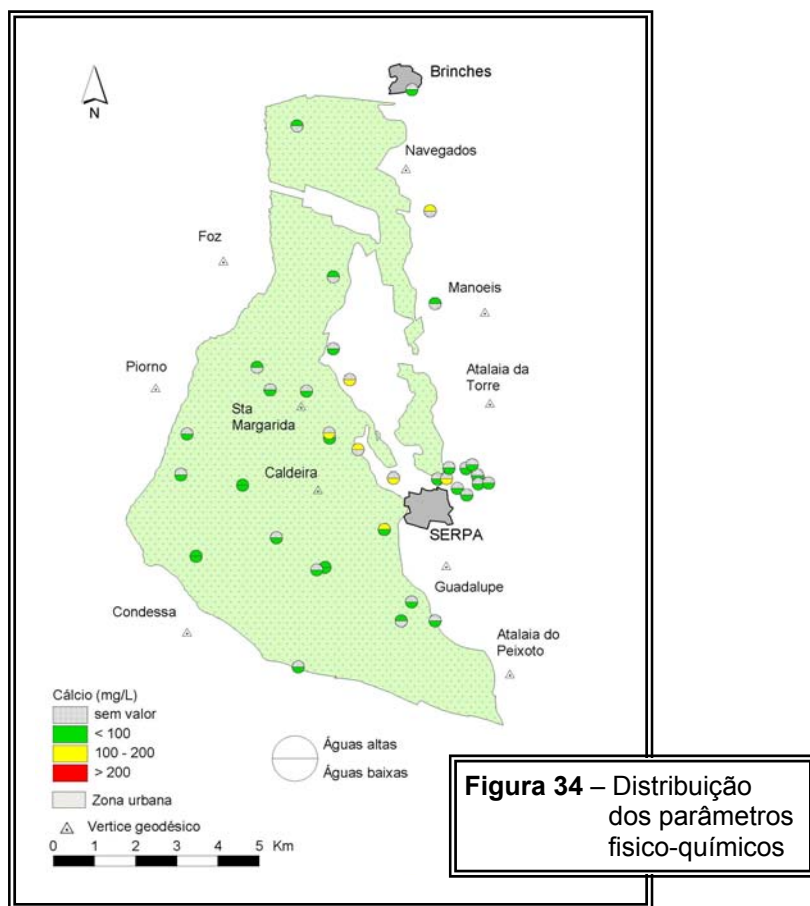
Os mapas temáticos encontram-se representados nas **figuras 29 a 37**. Os limites de classes considerados são normalmente os referidos na legislação, para o VMR e VMA (Dec. Lei 236/98).

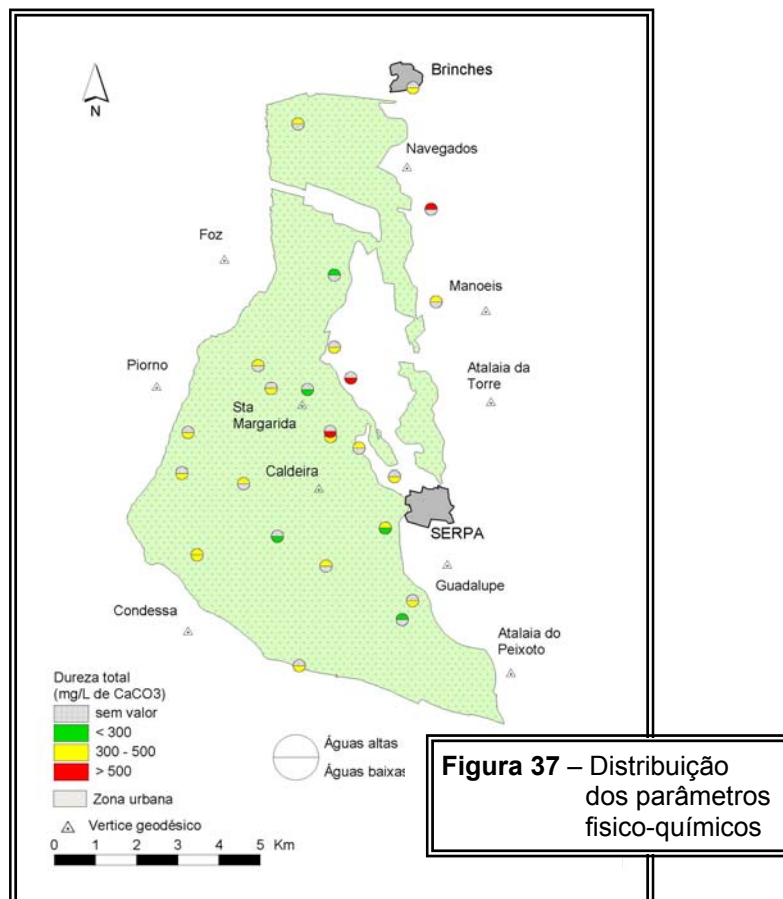
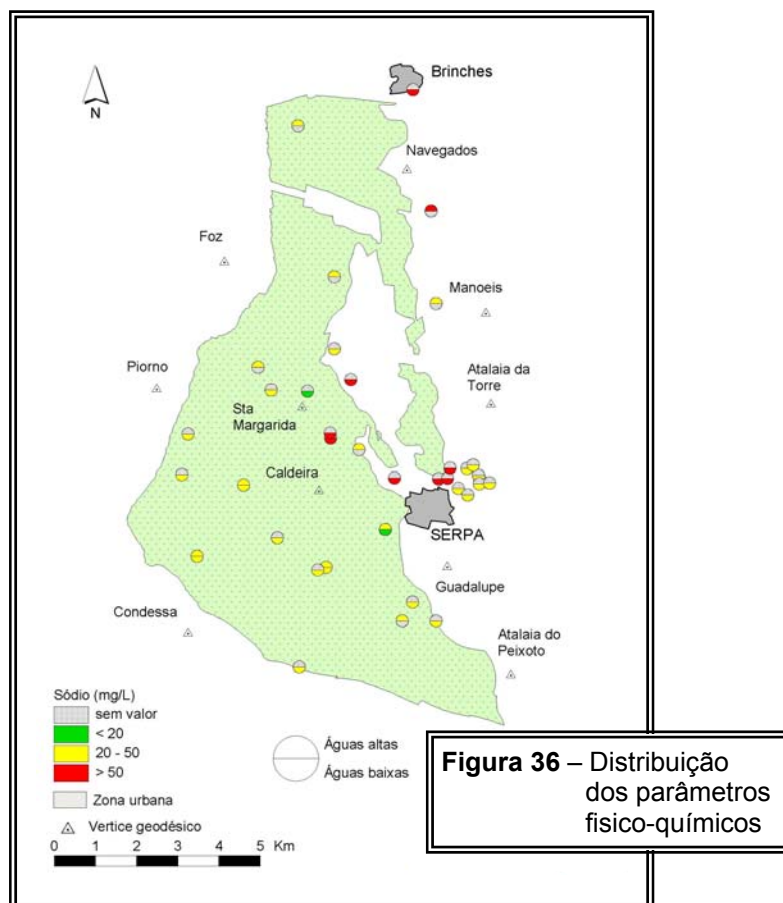












Com base nos mapas anteriores podemos afirmar que as águas provenientes das formações gabro-dioríticas apresentam-se na maioria águas com uma mineralização média e algo duras, de características incrustantes e reacção ligeiramente alcalina.

Os valores de condutividade eléctrica anormalmente elevados não são característicos desta formação e resultam de contaminações pontuais.

Todas as análises indicam um problema persistente de contaminação difusa por nitratos de origem agrícola. Os valores máximos admissíveis (VMA=50 mg/l) 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 e sódio, embora estes últimos sejam valores anómalos, dependentes do local de colheita.

A **tabela 9** indica os valores extremos e a mediana dos parâmetros maiores analisados.

**Tabela 9** - Principais estatísticos das análises provenientes da formação dos gabro-dioritos

Parâmetros		Minímo	Mediana	Máximo	n
pH Lab.		6.9	7.4	7.9	26
Condutividade eléctrica	(uS/cm)	420.0	685.5	1139.0	26
Alcalinidade Total	(mg CaCO <sub>3</sub> )	169.0	284.0	348.0	26
Dureza Total	(mg CaCO <sub>3</sub> )	176.4	334.2	546.0	22
Resíduo Seco	(mg/l)	266.4	480.9	791.0	26
Bicarbonato	(mg CaCO <sub>3</sub> )	206.2	297.0	424.6	26
Sílica	(mg/l)	13.4	32.5	45.2	26
Cálcio	(mg/l)	45.0	76.5	106.8	26
Sódio	(mg/l)	18.8	29.9	61.5	26
Potássio	(mg/l)	0.1	1.0	26.0	26
Magnésio	(mg/l)	13.6	33.0	69.1	26
Nitrato	(mg/l)	14.9	57.6	178.0	26
Cloreto	(mg/l)	16.0	29.1	106.0	26
Sulfato	(mg/l)	23.0	50.6	104.0	26
CO <sub>2</sub>	(mg/l)	15.5	19.7	136.8	12

### **5.3 - Distribuição de parâmetros físico-químicos (metais pesados)**

Para além da cartografia de parâmetros físico-químicos maiores, com base nos colheitas indicadas nas tabelas anteriores realizou-se também um vasto estudo de avaliação de metais pesados em poços e furos dos arredores de Serpa, só possível pela excelente colaboração do laboratório da DRA Alentejo em Santo André.

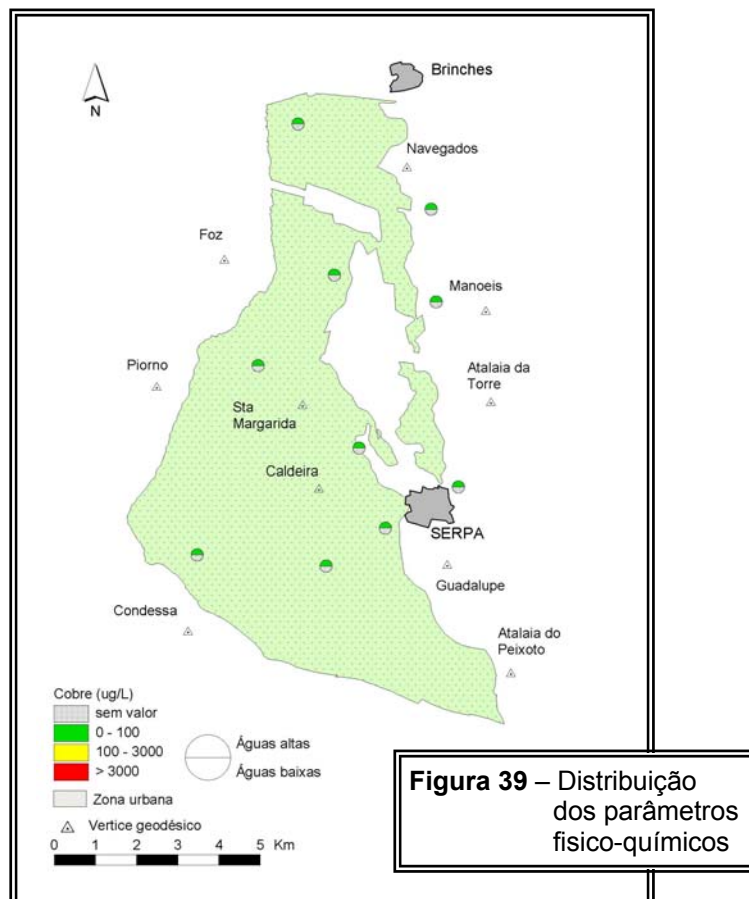
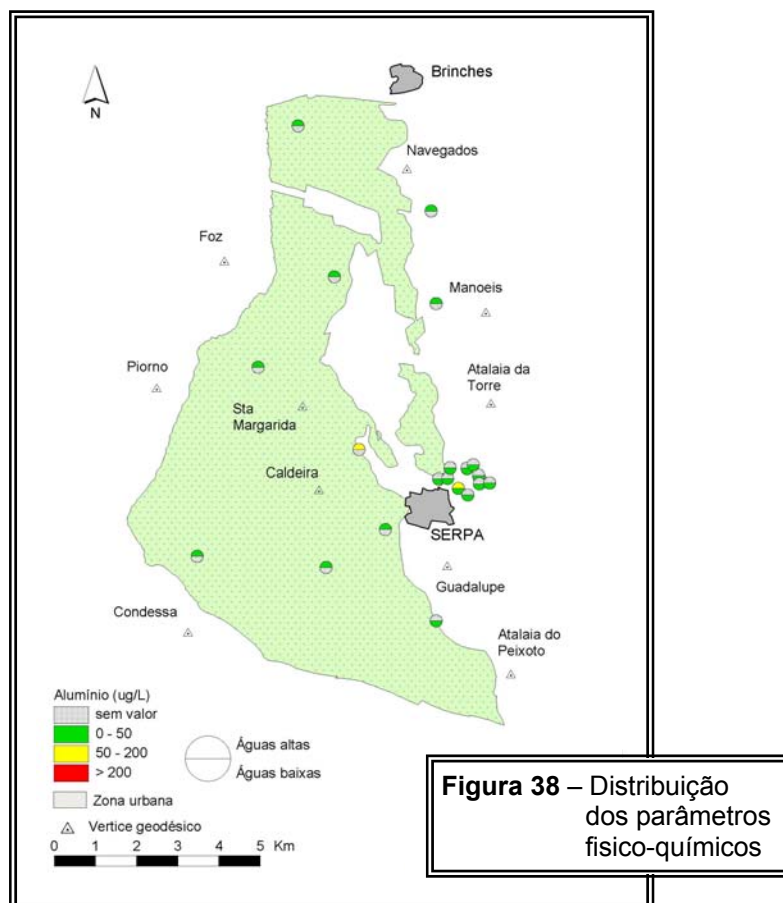
À excepção do crómio que se situa sistematicamente abaixo dos limites de detecção, apresenta-se a cartografia da distribuição do conteúdo em elementos metálicos das 21 amostras que constam da **tabela 10** nos mapas das **figuras 38 a 44**.

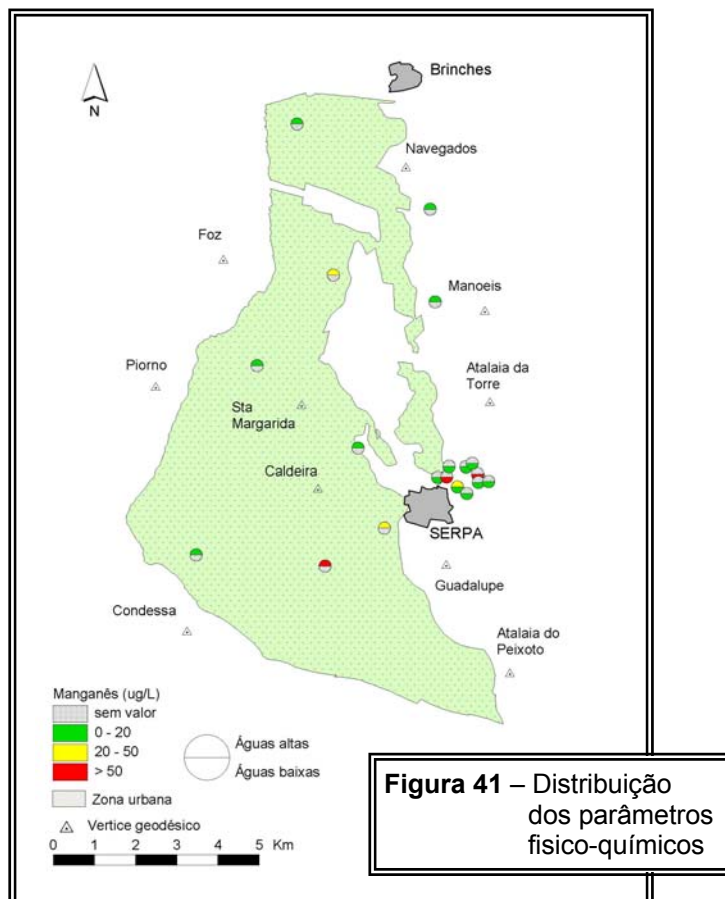
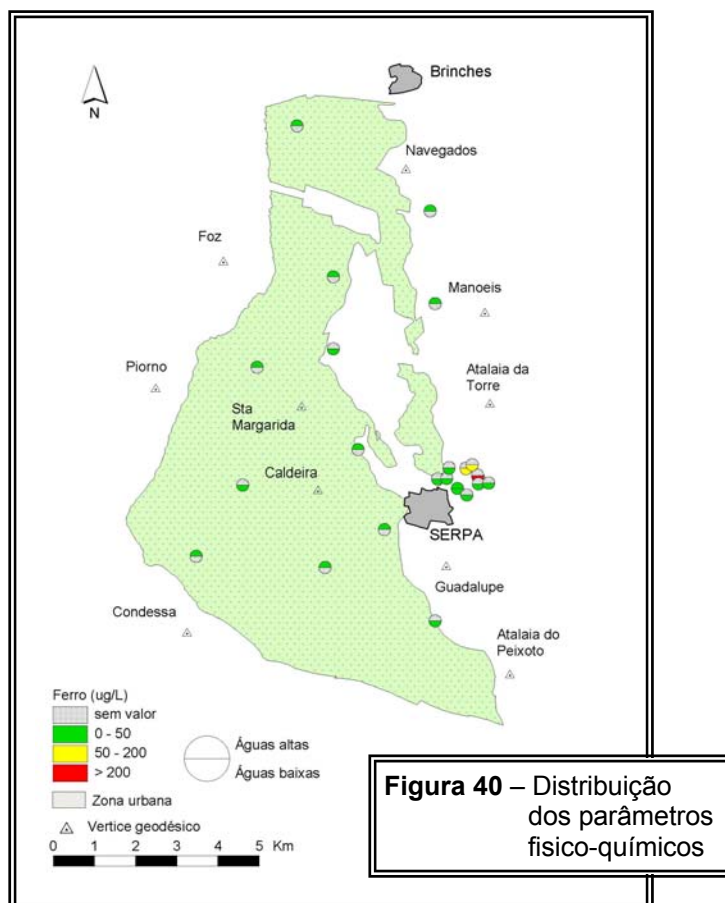
Os elementos analisados foram os seguintes:

- ▶ Alumínio (ug/l)                      ▶ Níquel (ug/l)
- ▶ Cobre (ug/l)                        ▶ Chumbo (ug/l)
- ▶ Ferro (ug/l)                        ▶ Zinco (ug/l)
- ▶ Manganês (ug/l)                  ▶ Crómio (ug/l)

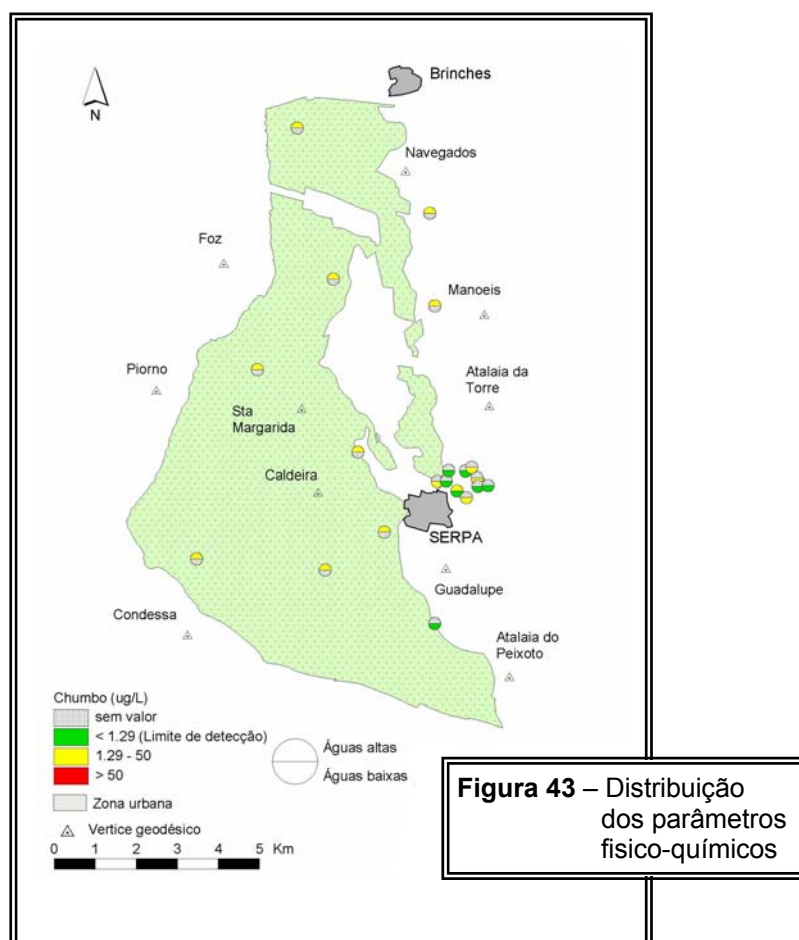
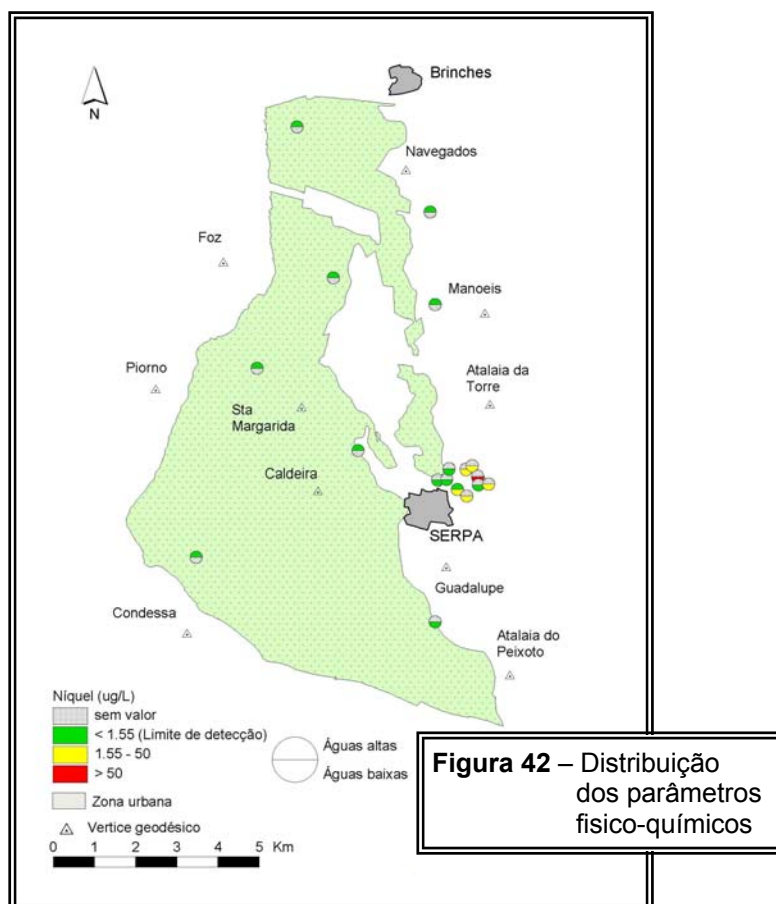
**Tabela 10 – Análises de metais pesados**

Carta	Ref.	Data	Fe (ug/l)	Cu (ug/l)	Mn (ug/l)	Pb (ug/l)	Al (ug/l)	Zn (ug/l)	Ni (ug/l)	Cr (ug/l)	Epoca
522	F-36	Nov-98		14.36	17.1	1.60	38.8	220	< 1.55	< 0.55	aguas altas
522	N-5	Nov-98		0.60	4.7	1.20	41.2	60	< 1.55	< 0.55	aguas altas
522	N-12	Nov-98		1.82	20.2	1.87	26.2	190	< 1.55	< 0.55	aguas altas
522	P-12	Nov-98		5.00	17.8	1.20	43.5	200	< 1.55	< 0.55	aguas altas
522	P-16	Nov-98		1.43	13.7	1.40	48.6	340	< 1.55	< 0.55	aguas altas
532	PTD1	Nov-98		5.07	27.9	1.20	35.5	490	< 1.55	< 0.55	aguas altas
532	N-6	Nov-98		4.52	2.0	1.20	39.8	330	< 1.55	< 0.55	aguas altas
532	F-35	Nov-98	0.1	1.89	16.2	1.20	64.3	90	< 1.55	< 0.55	aguas altas
532	F-2	Nov-98	10.0	8.82	61.9	43.41	41.7	300	< 1.55	< 0.55	aguas altas
532	P-15	Nov-98	10.0	8.79	20.2	1.51	50.3	150	< 1.55	< 0.55	aguas altas
532	F-42	Abr-98	20.0		14.88	< 1.29	26.1		1.87	< 0.55	águas baixas
532	F-43	Abr-98	40.0		13.98	2.22	15.7		< 1.55	< 0.55	águas baixas
532	P-9	Abr-98	50.0		0.01	< 1.29	23.8		< 1.55	< 0.55	águas baixas
532	P-16	Abr-98	30.0		53.87	<1,29	11.4		< 1.55	< 0.55	águas baixas
532	P- 17	Abr-98	30.0		10.02	1.69	21.4		2.11	< 0.55	águas baixas
532	P -18	Abr-98	20.0		17.43	<1,29	10.2		< 1.55	< 0.55	águas baixas
532	F-44	Abr-98	130.0		13.53	<1,29	17.6		11.5	< 0.55	águas baixas
533	F-11	Abr-98	40.0		10.58	2.57	19.2		2.14	< 0.55	águas baixas
533	F-12	Abr-98	210.0		52.60	4.77	15.0		77.4	< 0.55	águas baixas
533	F-13	Abr-98	70.0		12.65	5.90	24.8		8.6	< 0.55	águas baixas
533	P-3	Abr-98	20.0		< 2.15	<1,29	7.9		< 1.55	< 0.55	águas baixas
533	P-4	Abr-98	20.0		3.57	<1,29	11.0		33.2	< 0.55	águas baixas
532	F-41	Abr-98	50.0								águas baixas
522	P-19	Jun-98	34.9								águas baixas

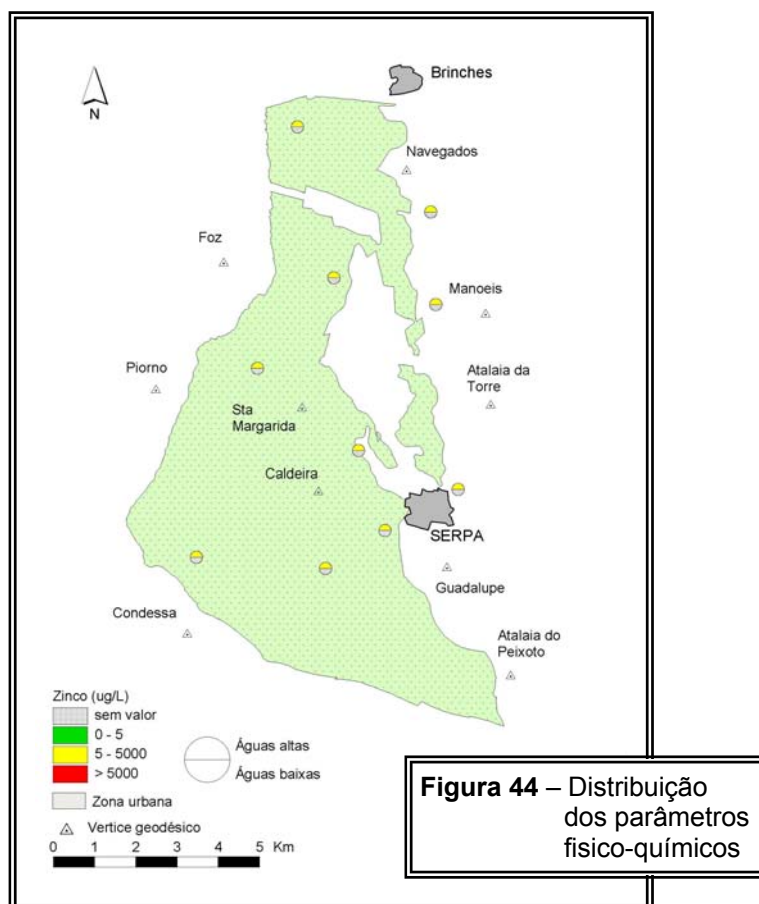












Em termos globais não foram detectados concentrações perigosas de metais pesados nas áreas do aquífero a oeste de Serpa, à excepção de um caso pontual de 1 amostra com valor superior ao VMA para o ião manganês.

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

Os valores extremos das análises efectuadas aos metais pesados nos arredores de Serpa estão representados na **tabela 11**.

**Tabela 11** - Limites máximos e mínimo dos teores em metais na região de Serpa

Metais	Minimo	Máximo
Chumbo (ug/l)	< 1.29	43.4
Aluminio (ug/l)	7.9	64.3
Zinco (ug/l)	60.0	490.0
Níquel (ug/l)	< 1.55	77.4
Crómio (ug/l)	0.0	< 0.55
Ferro total (ug/l)	10.0	210.0
Cobre (ug/l)	0.6	14.4
Manganês (ug/l)	0.0	61.9

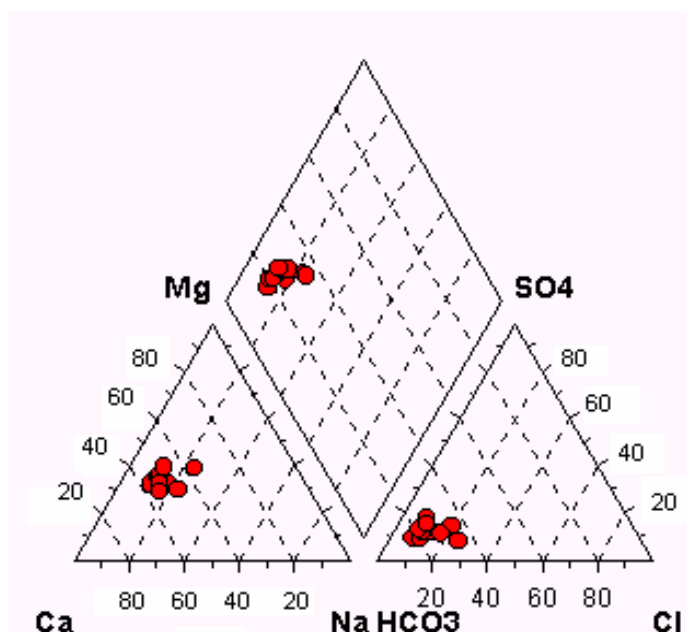
#### **5.4 - Fácies Hidrogeoquímicas**

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.

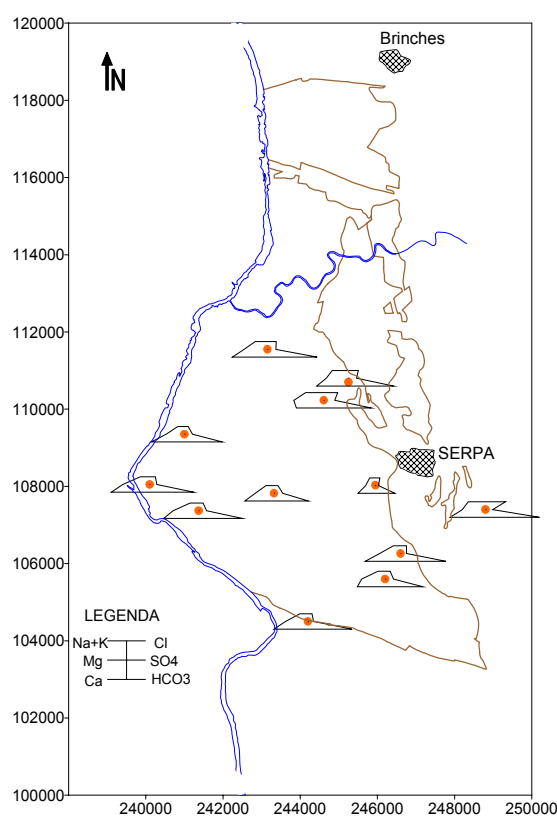
Os processos hidrogeoquímicos de que depende a actual composição da água subterrânea do complexo gabro-diorítico relacionam-se com a alteração química dos silicatos presentes nas rochas básicas, de que resulta a formação de minerais de argila, nomeadamente illite, caulinite e montmorilonite.

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

A fácies hidroquímica predominante é bicarbonatada calco-magnesiana, como se pode observar da projecção em diagrama de Piper de 12 amostras colhidas em Outubro de 1997 (**figura 45**).



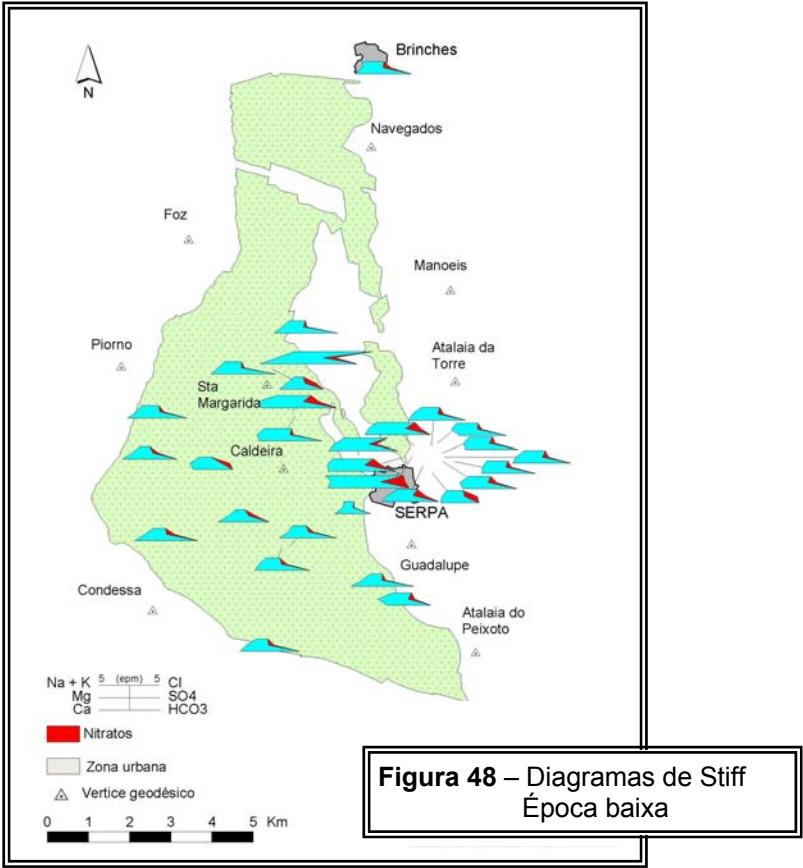
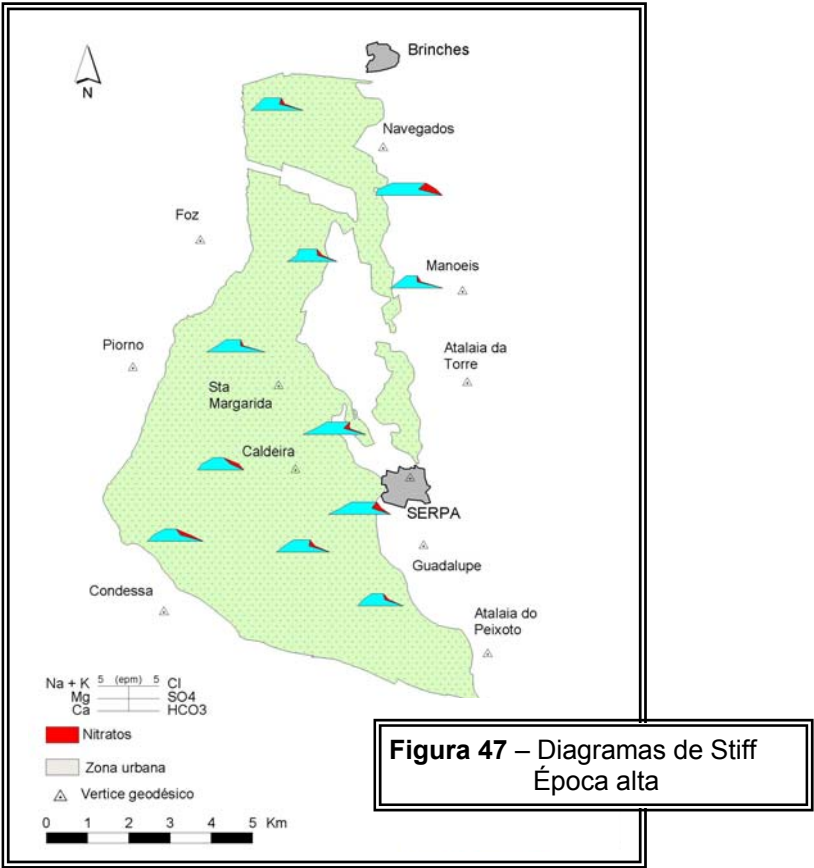
**Figura 45** – Diagrama de Piper para 12 amostras de Outubro de 1997



**Figura 46** – Diagrama de Stiff para 12 amostras de Outubro de 1997

A distribuição espacial dos diagramas de Stiff para as colheitas de águas altas e águas baixas nos 37 pontos analisados evidência a predominância do anião bicarbonato e do ião cálcio (**figuras 47 e 48**).

Algumas amostras apresentam uma forte presença do ião nitrato.



## 5.5 - Equilíbrios químicos

O estado de equilíbrio hidroquímico representado pelo índice de saturação dos minerais do sistema carbonatado (calcite e dolomite), obtido a partir do programa HIDSPEC2 (Carvalho & Almeida, 1989) está representado na **tabela 12**.

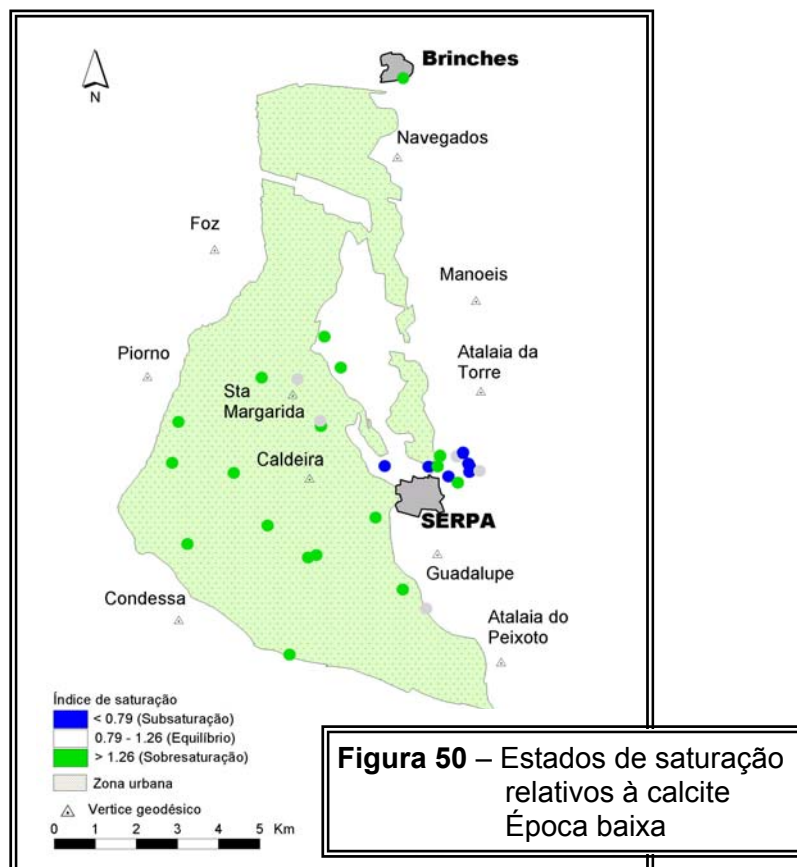
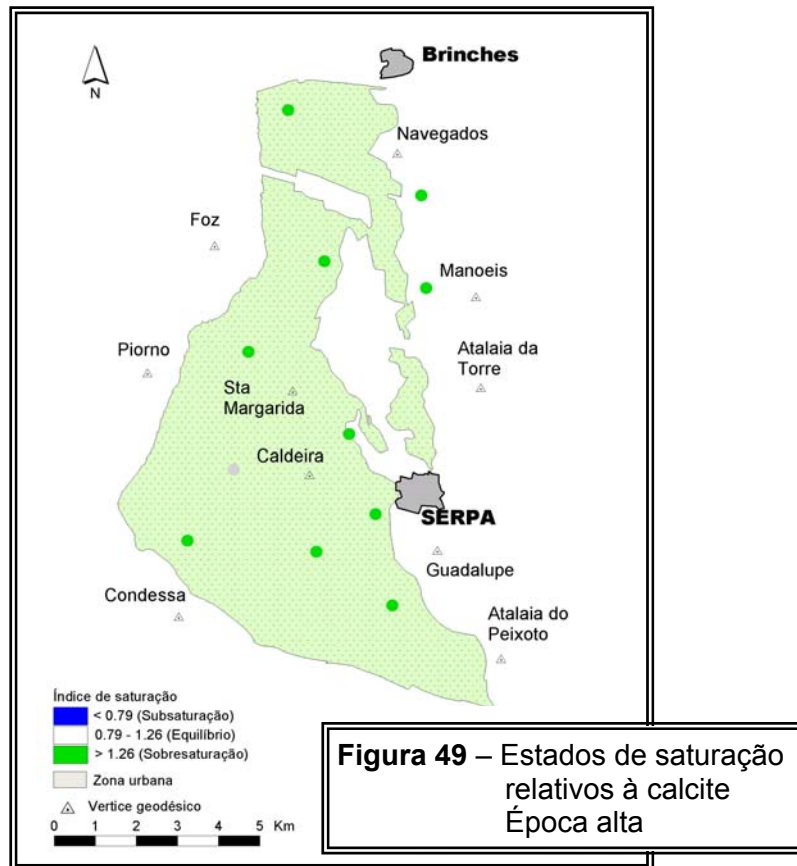
Constata-se que cerca de 75% das amostras provenientes do aquífero dos gabros de Beja estão sobresaturadas relativamente à calcite e á dolomite (**figuras 49 a 52**)

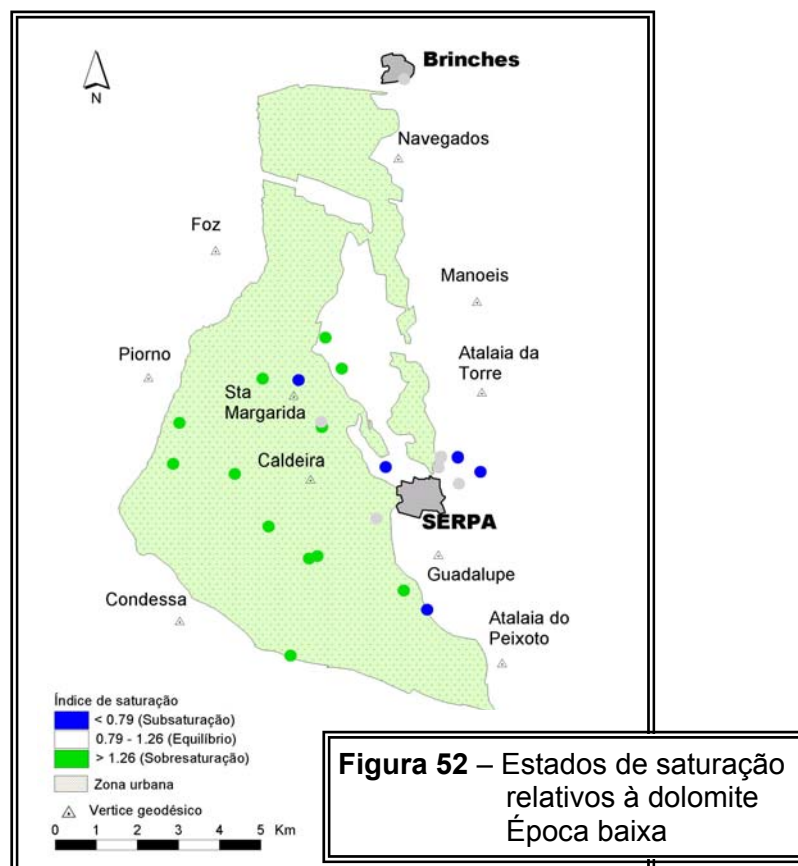
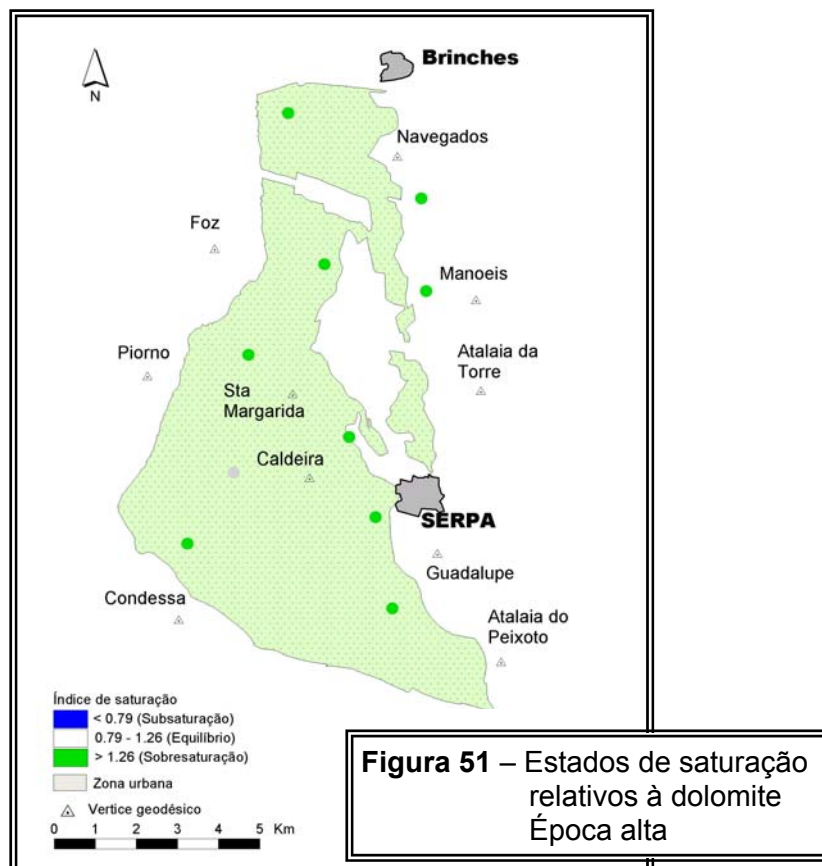
Em situações de clima árido e seco, como acontece no Alentejo, produzem-se depósitos carbonatados de origem química, conhecidos como “caliços” em resultado da deposição da calcite e outros carbonatos associados às oscilações do nível freático em clima árido, na presença de águas sobresaturadas em carbonato de cálcio.

A **tabela 12** apresenta os índices hidrogeoquímicos das 26 amostras colhidas em Junho e Novembro de 1998 e Abril de 1999 em águas do complexo gabo-diorítico.

**Tabela 12 – Índices hidrogeoquímicos**

Carta	Ref.	Data	IS calcite	IS dolomite
522	F-31	Jun-98	1.95	3.98
522	F-37	Jun-98	2.14	3.16
522	F-38	Jun-98	0.98	0.59
522	P-4	Jun-98	2.82	4.79
522	P-21	Jun-98	0.89	0.83
532	PTD1	Jun-98	1.38	0.85
532	F-28	Jun-98	1.86	1.91
532	N-2	Jun-98	2.09	3.02
532	N-5	Jun-98	1.74	1.74
532	N-6	Jun-98	3.47	7.24
532	P-2	Jun-98	2.04	2.29
532	F-41	Abr-99	1.48	2.63
532	F-42	Abr-99	0.63	0.13
532	F-2	Abr-99	2.14	2.63
532	P-9	Abr-99	0.83	0.51
522	F-36	Nov-98	1.70	1.78
522	N-5	Nov-98	1.74	2.00
522	N-12	Nov-98	1.58	1.41
522	P-12	Nov-98	2.00	3.55
522	P-16	Nov-98	1.74	1.86
532	F-2	Nov-98	2.82	5.50
532	PTD1	Nov-98	2.82	4.90
532	F-35	Nov-98	1.91	2.09
532	N-6	Nov-98	1.95	2.69
532	P-15	Nov-98	2.19	3.39
532	F-41	Dez-98	1.15	1.00





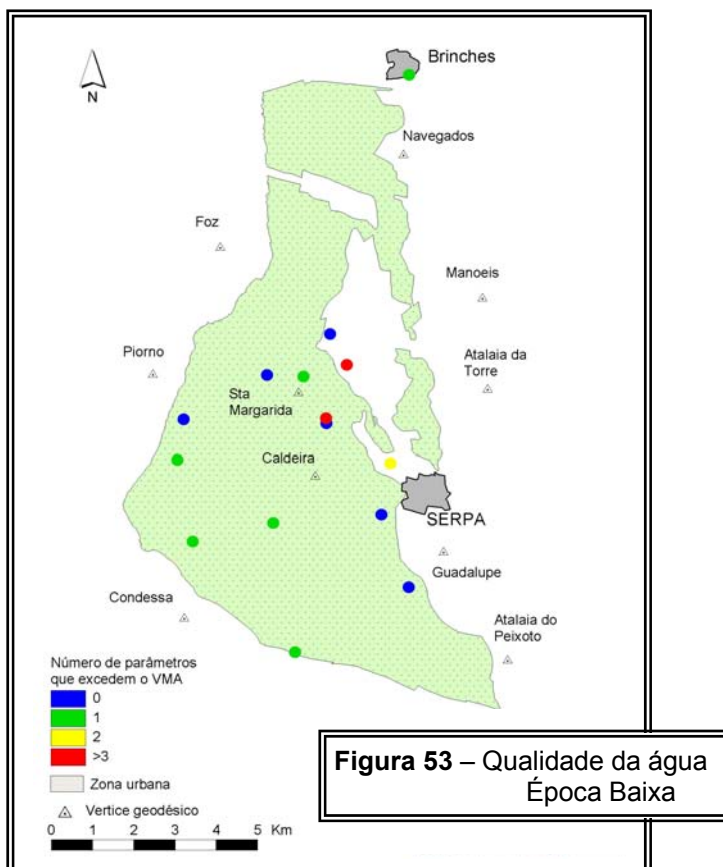
## 5.6 - Qualidade da Água

### ◈ Qualidade da água para diversos usos

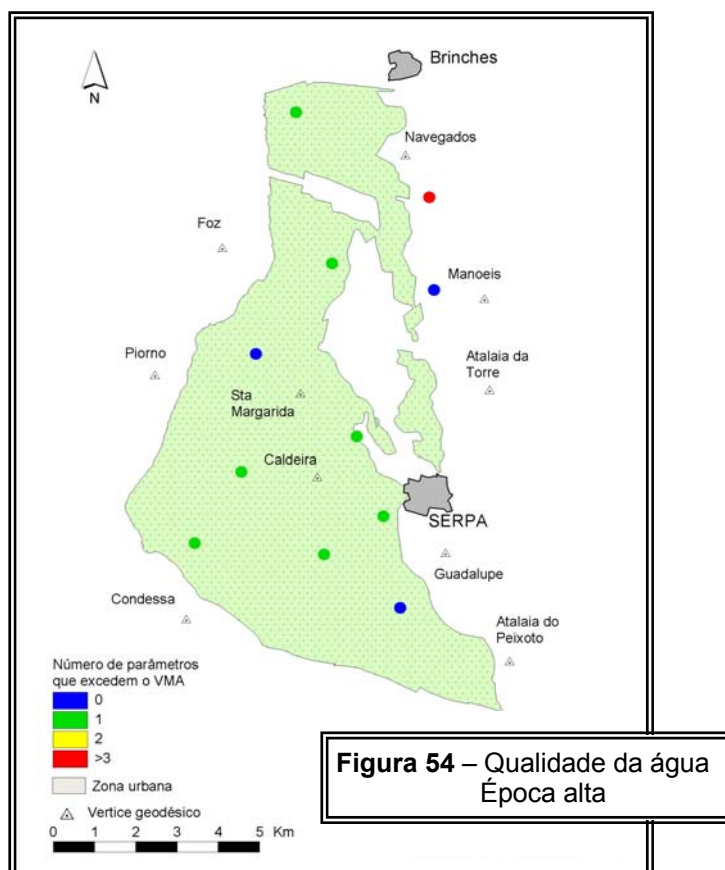
A qualidade da água para os vários usos depende do número de parâmetros que excedem o VMA em cada origem de água.

Os mapas das **figuras 53 e 54** mostram claramente que a maioria dos pontos possui um elemento superior ao consignado, que é o ião nitrato.

Pontualmente outros parâmetros como o magnésio e a dureza podem exceder os valores legais, mas não são de forma nenhuma representativos do sistema aquífero neste sector de Serpa.







**Figura 54 – Qualidade da água  
Época alta**

### ◈ Qualidade da água para consumo humano

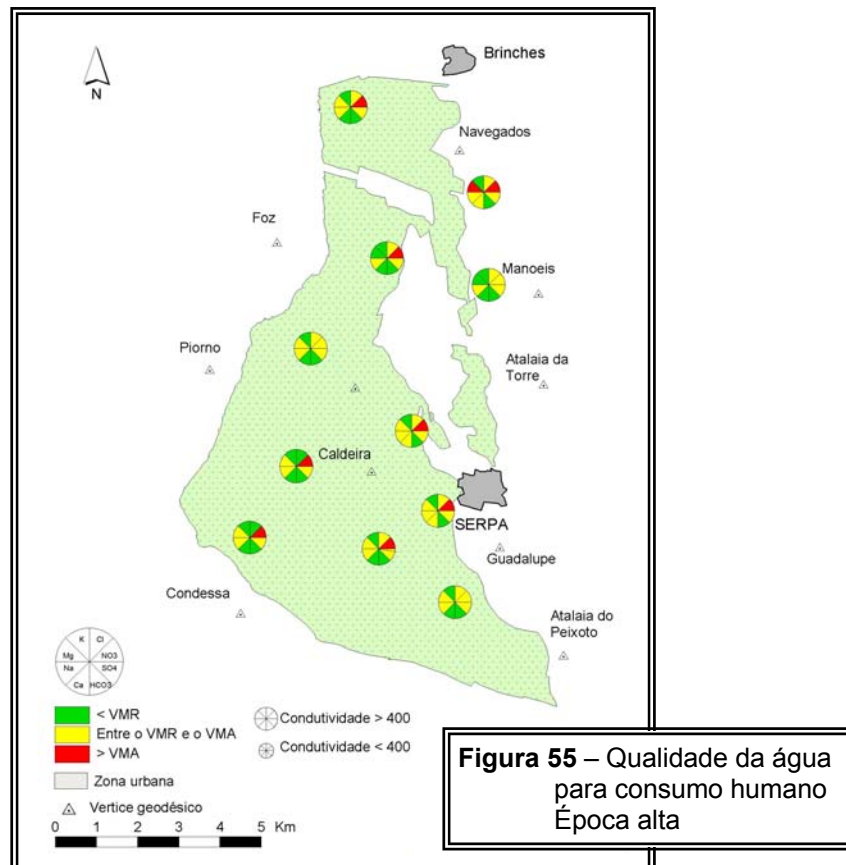
Com base nas análises físico-químicas realizadas entre 1998 e 1999 é possível definir o campo de variação hidroquímico adaptado ao diagrama de qualidade da água para consumo humano de acordo com o Dec. Lei 236/98.

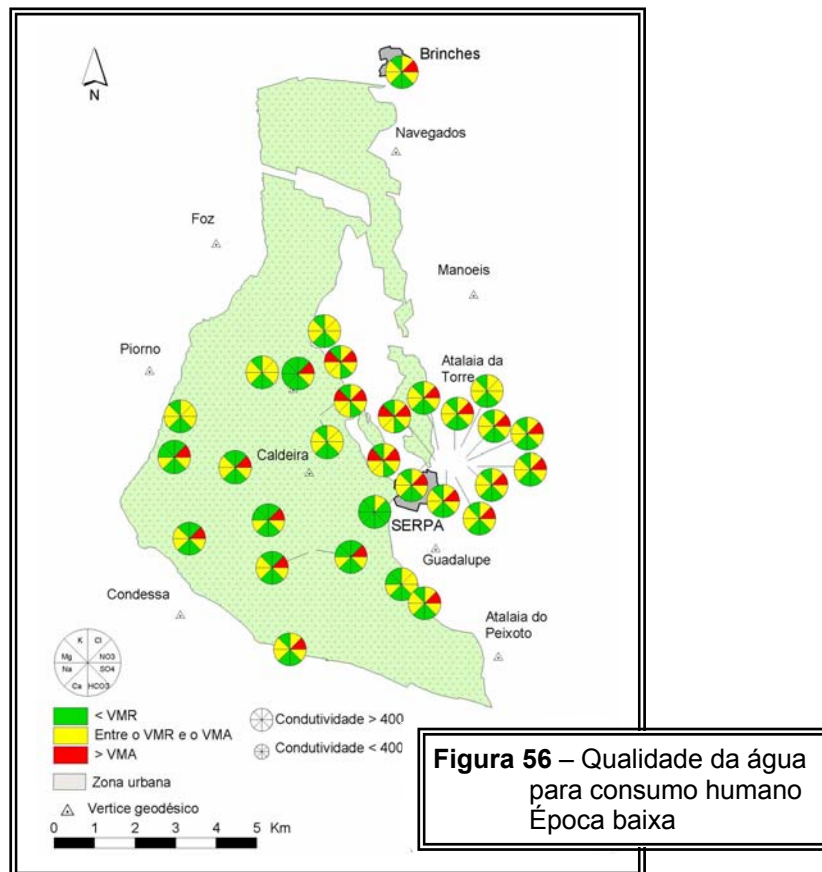
Os valores máximos admissíveis (VMA) pelo D.L. 236/98, que regulamenta a qualidade da água para consumo humano, são frequentemente excedidos no que respeita aos nitratos e em algumas amostras para o ião magnésio. Relativamente ao sulfato e ao sódio situam-se entre o VMR e o VMA (**Figuras 55 e 56**).

Constata-se uma situação de contaminação persistente por nitratos de origem agrícola que importa inverter com a adopção de novos códigos de conduta e sensibilização ambiental dos intervenientes e dos poderes públicos.

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 do aquífero dos “Gabros de Beja” 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).



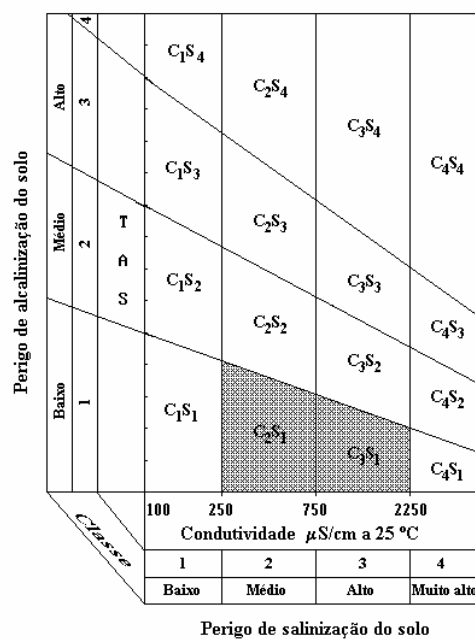


### ◆ Qualidade da água para rega

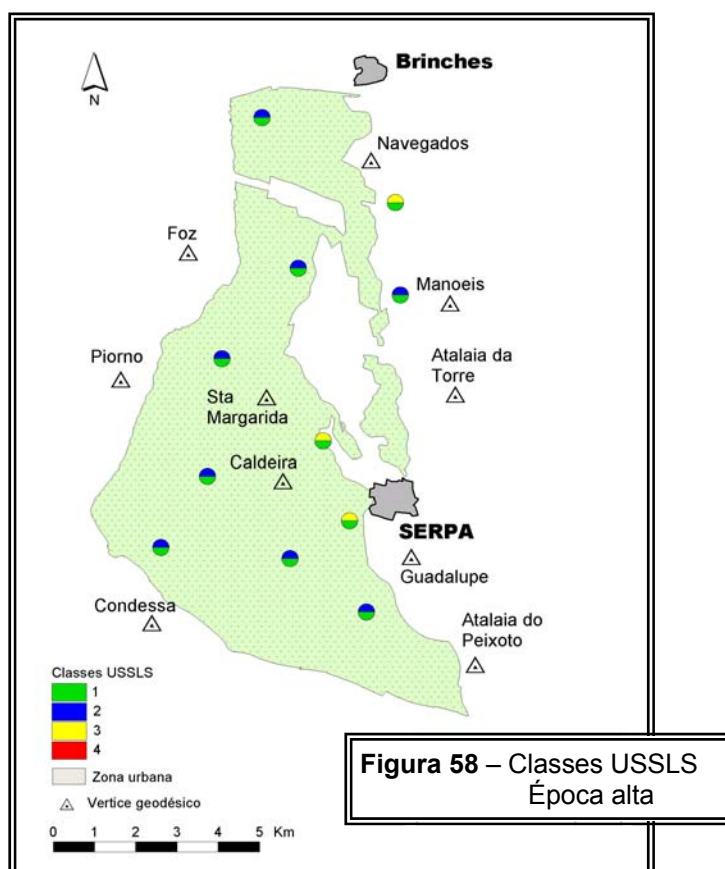
Na região ocidental de Serpa, a aptidão da água para uso agrícola corresponde maioritariamente (70%) à classes  $C_2S_1$  (**figura 57**). A classe  $C_3S_1$  também está representada (**figuras 58 e 59**).

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.

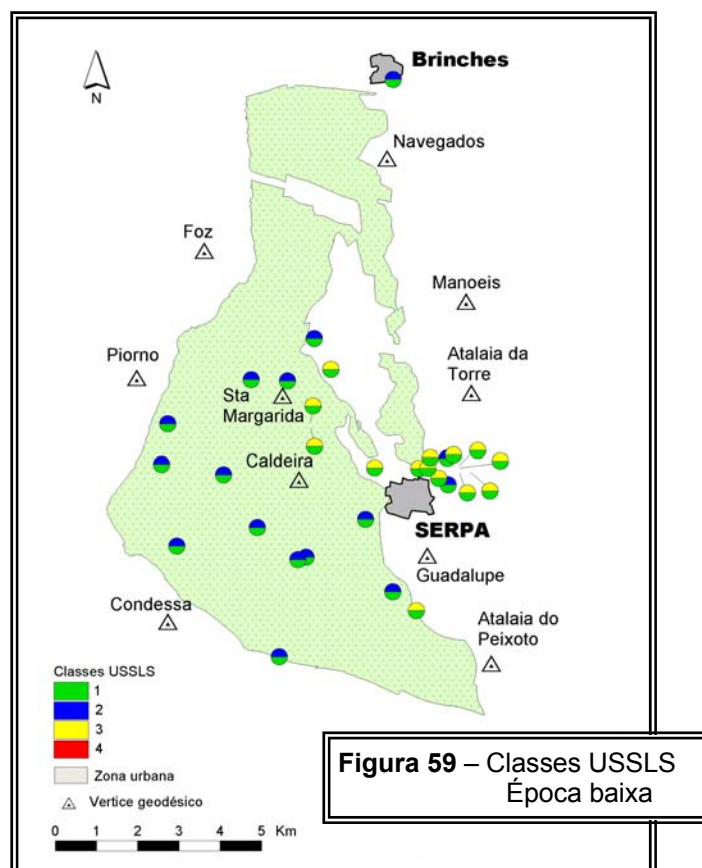
A **figura 57** indica as classes obtidas.



**Figura 57** – Diagrama USSLS com indicação das classes das águas analisadas



**Figura 58** – Classes USSLS  
Época alta



### 5.7 - Risco de contaminação

Os terrenos da mancha gabro-diorítica da margem esquerda do Guadiana são dos mais férteis do Alentejo e portanto estão sujeitos a grande intensidade agrícola, com o 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 azoto amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ), Ureia e outros compostos azotados usados nos fertilizantes, que não é absorvido durante o ciclo vegetativo, acabando por ser transportado para a zona saturada e disseminado por extensas áreas.

### ◈ **Ocupação Agrícola**

O uso do solo na área de estudo caracteriza-se pela monocultura de sequeiro, nomeadamente trigo e extensos olivais. O sistema de rotação inclui normalmente o girassol e o milho, em áreas limitadas.

Nas culturas de sequeiro, segundo dados colhidos no local aplicam-se entre 120 a 180 kg/ha de adubo de fundo, entre Novembro e Dezembro e mais 180 kg/ha de adubo de cobertura em Fevereiro/Março, se necessário. As restantes culturas, como o girassol e o milho não são normalmente adubadas.

A **figura 60** ilustra a ocupação do solo na área dos gabro-dioritos de Serpa.



**Figura 60** – Ocupação do solo na área de estudo

### **5.8 - 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 m<sup>3</sup>/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 de Serpa 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.

Aspectos pontuais susceptíveis de gerar contaminação ocorrem com a proximidade do perímetro urbano da vila de Serpa e na área do parque industrial.

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 61** 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 para as 3 captações a que a autarquia recorre frequentemente e que estão instaladas no aquífero dos gabros a oeste e a sul de Serpa

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.



