

EXCERTO DO RELATÓRIO TÉCNICO

Sistema Aquífero Estremoz - Cano

Parte 1 - Enquadramento Hidrogeológico

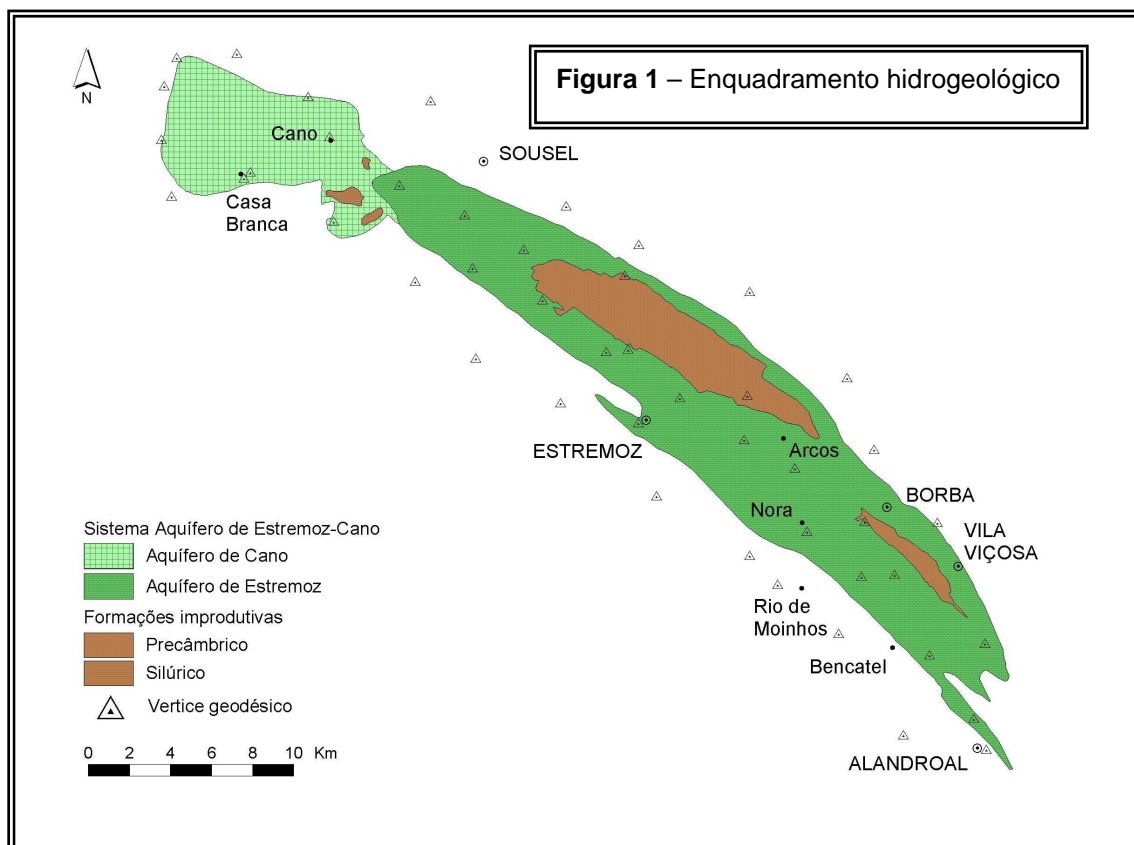
Carla Pinto Midões

SISTEMA AQUÍFERO ESTREMOZ -CANO

1 - Enquadramento Hidrogeológico

O sistema aquífero Estremoz-Cano é composto por dois aquíferos distintos. Um aquífero associado às formações dolomíticas e ao complexo vulcano sedimentar de Estremoz e outro que tem por base os calcários lacustres do Cano.

O primeiro trata-se de um aquífero livre com um comportamento cársico-fissurado. Verifica-se por vezes a existência de níveis confinados devido à presença de metavulcanitos intercalados. Este aquífero é limitado por formações de baixa produtividade e com comportamento impermeável, os xistos do Silúrico e os xistos do Pré-câmbrico que ocupam o núcleo da estrutura em anticlinal. O aquífero de Estremoz apresenta-se bastante compartimentado devido à intensa rede de fracturas (NE-SW) que atravessa transversalmente esta estrutura e que em alguns casos devido ao seu preenchimento de carácter argiloso constituem barreiras impermeáveis. Esta compartimentação está particularmente desenvolvida na metade SE do anticlinal, entre Estremoz e Alandroal. Neste aquífero existem bastantes descargas naturais com regime temporário associadas à intercepção entre a fracturação que se comporta como condutas de circulação e o contacto com as formações xistentas. A carsificação que se verifica nestas formações carbonatadas, principalmente nos mármore, dá lugar à ocorrência de algares e sumidouros.



Na terminação NW do aquífero de Estremoz desenvolve-se uma cobertura de calcários lacustres plistocénicos que apresenta um comportamento de aquífero poroso, livre. Este aquífero apresenta uma espessura média de 20 m sendo envolvido por rochas impermeáveis do complexo arcósico e argiloso de Brotas. Na base deste aquífero podemos ter ainda a terminação dos calcários paleozóicos do anticlinal de Estremoz que tal como já foi sugerido por vários autores teria aqui um importante ponto de descarga que terá dado origem aos calcários do Cano. A recarga deste aquífero poderá ser feita pela base através do aquífero paleozóico por diferença de potencial e através da precipitação e escoamento superficial. Existem igualmente várias nascentes sendo a mais importante e com carácter permanente a de Vale do Freixo (a NW do aquífero).

A fácies hidroquímica do sistema aquífero caracteriza-se por uma fácies bicarbonatada cálcica e calco-magnésiana.

2 – Caracterização Climatológica

2.1 - Classificação Climática

A região do Alentejo onde se insere o estudo como tendo um clima temperado, moderadamente chuvoso (500-1000 mm/ano), constituindo o inverno a estação onde cai praticamente toda a precipitação anual. No verão de um modo geral não chove.

A temperatura diurna e anual no Alentejo apresenta grandes amplitudes, consequência da influência muito forte da massa continental Ibérica, da reduzida altitude e da forte insolação estival. Origina-se assim clima seco, sujeito a fortes geadas, sendo o inverno frio e o verão muito quente.

2.2 - Interpretação de Dados Climatológicos

O ciclo hidrológico é composto por vários parâmetros climáticos como: precipitação, temperatura, evapotranspiração, etc, cuja sua análise e interpretação permite quantificar a recarga de um sistema aquífero ou seja determinar a renovação dos recursos hídricos subterrâneos. Neste trabalho foram utilizados os parâmetros climáticos fundamentais: precipitação e temperatura na caracterização climática da região.

2.3 - Precipitação

No presente trabalho foram utilizadas 10 estações, que se situam na área em estudo ou nas suas proximidades.

Segundo Costa Almeida (1985), quando são utilizadas séries de dados longas, (>30 anos) o cálculo do balanço hidrológico apoia-se nos dados relativos, à precipitação e evapotranspiração, podendo-se desprezar todos os outros termos.

Nas estações utilizadas foi possível considerar séries de 40 anos (1956/57 - 1995/96), uma vez que todas as estações eram suficientemente antigas, apresentando leituras anteriores a 1956.

Tabela 1 – Características das estações udométricas e climatológicas utilizadas

Designação	Coordenadas Gauss		Altitude (m)	Bacia Hidrográfica	Tipo
	M	P			
B. Maranhão	213792	226576	175	Tejo/Sorraia	Climatológica
Fronteira	241943	231425	245	Tejo/Avis	Udométrica
Pavia	210416	214405	192	Tejo/Sorraia	Udométrica
Sousel	239812	219942	265	Tejo/Avis	Udométrica
Estremoz	247204	208171	430	Tejo/Tera	Udométrica
Vimieiro	225840	206685	235	Tejo/Tera	Udométrica
Vila Viçosa	261915	202197	370	Guadiana/Assica	Udométrica
Alandroal	263421	191939	350	Guadiana	Udométrica
Juromenha	277509	197214	206	Guadiana	Udométrica
Redondo	250838	186792	315	Guadiana/Degebe	Udométrica

Os dados de precipitação foram sujeitos a tratamento estatístico, para serem detectados e corrigidos, possíveis erros e ainda para completar séries incompletas (Heras, 1976; Almeida, 1985 & Silva, 1988).

Algumas das estações consideradas apresentavam-se incompletas, faltando 3 ou menos dados mensais. Estes dados foram estimados através da aplicação de técnicas de regressão múltipla com transferência de informação de dados de precipitação ocorridos em estações próximas e com séries completas.

As técnicas de regressão para além de preencherem valores em falta, permitem melhorar a estimativa da distribuição de probabilidades da variável em estudo e ampliar amostras.

As estações cujos dados de precipitação estavam incompletos eram: Barragem do Maranhão, Fronteira, Estremoz, Vimieiro e Alandroal. Com o objectivo de determinar quais as estações com séries completas que eram mais correlacionáveis com as estações de séries incompletas foi elaborada uma matriz de correlação das 10 estações.

Com base na matriz de correlação foram seleccionadas as seguintes estações cujas séries estavam completas:

Estação a completar	Estações mais correlacionáveis
B. Maranhão	Pavia, Redondo e Sousel
Fronteira	Redondo, Pavia e Juromenha
Estremoz	Redondo, Sousel e Juromenha
Vimieiro	Juromenha e Pavia
Alandroal	Redondo, Sousel e Juromenha

O método de regressão múltipla descrito foi então aplicado de modo automatizado recorrendo ao programa COMPLET.BAS de Costa Almeida.

De seguida todas as séries foram testadas pelo método de dupla acumulação, através do programa DOBLMASS.BAS de Costa Almeida com o objectivo de detectar possíveis erros sistemáticos ou acidentais que tenham ocorrido.

Com a excepção da estação de Sousel onde foi identificado um erro sistemático nos primeiros 7 anos de registo, todas as outras estações apresentavam consistência de dados com a estação tipo.

◇ Cálculo da precipitação média

Em qualquer estudo hidrogeológico, nomeadamente na determinação do balanço hidrológico, o cálculo da precipitação média caída numa dada bacia hidrográfica ou região é muito importante.

Existem vários métodos para estimar a precipitação média, sendo a sua utilização função das características físicas e climáticas da área em estudo. Os métodos que geralmente são utilizados são: média aritmética, polígonos de Thiessen, curvas isoietas.

O método utilizado para calcular a precipitação média será o método dos polígonos de Thiessen que é comparativamente com o método da média aritmética mais fiável, no entanto os bons resultados estão dependentes da aplicação a zonas, planas e com homogeneidade no que se refere à distribuição pluviométrica (Custódio e Llamas, 1983). Segundo este método a precipitação média anual numa determinada região é dada pela expressão:

$$P = \sum_{i=1}^n \left(P_i \cdot \frac{S_i}{S} \right)$$

em que : P_i - precipitação de cada polígono

S_i - área do polígono

S - área total da região considerada

Usando os polígonos de Thiessen (**figura 2**), a precipitação obtida para uma série de 40 anos e para uma área total média de 1929 km² é de 636,8 mm.

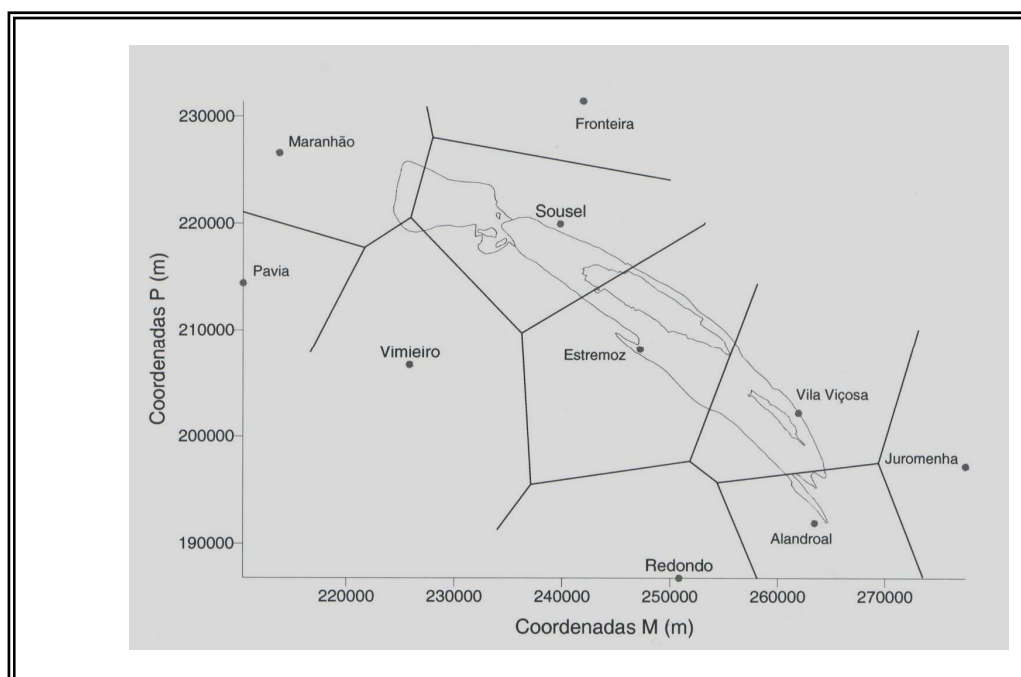


Figura 2 - Polígonos de Thiessen

Tabela 2 – Estimativa da precipitação média anual. Método dos polígonos de Thiessen

Estação	Pi (mm)	Si (km ²)	Si/S	Pi (Si/S)
B. Maranhão	644,6	147	0,075	48,4
Pavia	607,9	76	0,039	23,7
Vimieiro	575,6	267	0,136	78,3
Sousel	633,8	357	0,182	115,3
Fronteira	563,6	94	0,048	27,1
Estremoz	638,2	462	0,235	150,0
Redondo	579,2	157	0,081	47,0
V.Viçosa	761,3	259	0,132	100,5
Alandroal	647,3	105	0,053	34,3
Juromenha	538,8	41	0,021	11,3
TOTAL	-	1929	-	636,8

A observação da distribuição mensal de precipitação nas várias estações consideradas permite verificar que mais de 50% da precipitação total anual ocorre nos meses de Dezembro, Janeiro, Fevereiro e Março. Sendo de um modo geral os meses de Dezembro e Janeiro os mais chuvosos e os meses de Julho e Agosto aqueles onde ocorre menor precipitação.

2.4 - Temperatura

A distribuição da temperatura do ar, numa região, é principalmente condicionada pelos factores fisiográficos, tais como, o relevo (altitude e exposição), a natureza do solo e do seu revestimento e a proximidade de grandes massas de ar (Atlas do Ambiente, 1984). A análise dos valores médios da temperatura do ar, baseou-se nos dados obtidos na estação climatológica da Barragem do Maranhão (única estação com dados de temperatura).

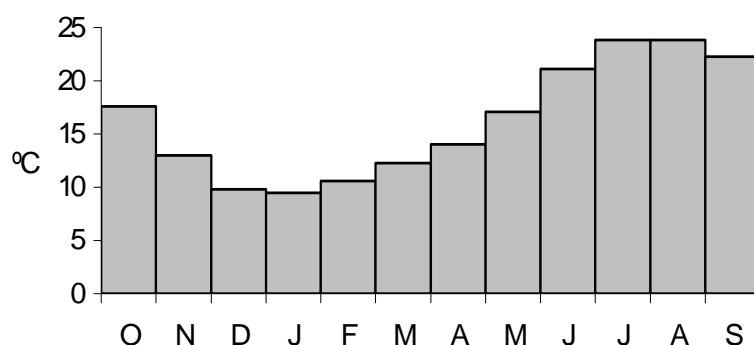


Figura 3 – Distribuição da temperatura média mensal na Barragem do Maranhão

A distribuição da temperatura média mensal representada demonstra que os meses com temperaturas mais elevadas são Julho e Agosto e com temperaturas mais baixas são, Dezembro e Janeiro. A temperatura média anual é de 16,2°C.

2.5 - Evapotranspiração

A evapotranspiração é um parâmetro hidrológico que depende de muitos e complexos factores que influenciam a evaporação e a transpiração. Este parâmetro pode ser estimado através dos métodos desenvolvidos por: Thornthwaite (1948), Turc e Coutagne (1955).

O calculo da evapotranspiração da área em estudo foi feito pelos métodos descritos cujos fundamentos teóricos podem ser consultados em Custódio & Llamas (1983) utilizando para tal o programa CEGEVAP de Almeida (1979).

Tabela 3 - Evapotranspiração real calculada segundo os métodos de Thornthwaite, Turc e Coutagne

Barragem do Maranhão	THORNTHWAITTE			TURC	COUTAGNE
	c.c. 100	c.c. 125	c.c. 150		
	465.6	490.6	515.6		
				503.4	506.3

Os resultados de EVR obtidos pelos métodos de Turc e Coutagne são muito semelhantes. Sendo também semelhantes os resultados obtidos pelo método de Thornthwaite quando

se considera uma capacidade de campo de 150. A escurrência total para esta capacidade de campo é de 123.6 mm. Para valores de c.c. de 100 e 125 é respectivamente de 173.6 e 148.5 mm.

Tendo por base as características geológicas e pedológicas das formações carbonatadas da área em estudo como seja a existência de carsificação e a reduzida espessura do solo, o valor de capacidade de campo onde existe mais uniformidade nos resultados (125) é talvez excessivo. O mais correcto possivelmente é considerar valores de capacidade de campo entre 75 e 100 mm com excedentes (Exc) da ordem dos 200 mm.

2.6 - Curvas de esgotamento de nascentes

Perante um meio cársico / fissurado como é o caso do sistema aquífero de Estremoz – Cano onde ocorrem imensas estruturas em algar e sumidouros, a espessura de solo de alteração é reduzida e por vezes inexistente e onde a industria extractiva promove a abertura de grandes crateras nos níveis de mármore, a determinação de um valor de infiltração eficaz é complexa e imprecisa.

Com o objectivo de chegar a um valor de infiltração eficaz que traduzisse melhor a realidade procedeu-se à determinação de curvas de esgotamento de 4 nascentes que se localizam entre Estremoz e Borba.

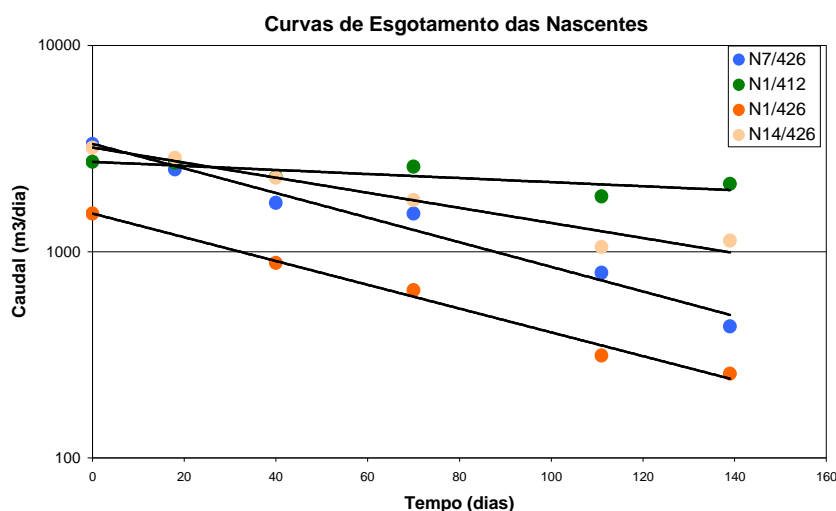


Figura 4 – Gráfico representativo das medições de caudal efectuadas

O método consiste no acompanhamento da medição do caudal das nascentes no período de estiagem ou seja a partir do momento em que deixou de chover.

A diminuição do caudal das nascentes parece seguir uma lei exponencial da forma:

$$Q=Q_0.e^{-\alpha t}$$

onde **Q** representa o caudal num dado instante, **Q₀** o caudal que se escoia no início da vazão, **t** o tempo decorrido desde essa altura e **α** é uma constante designada de coeficiente de esgotamento (Costa, 1985).

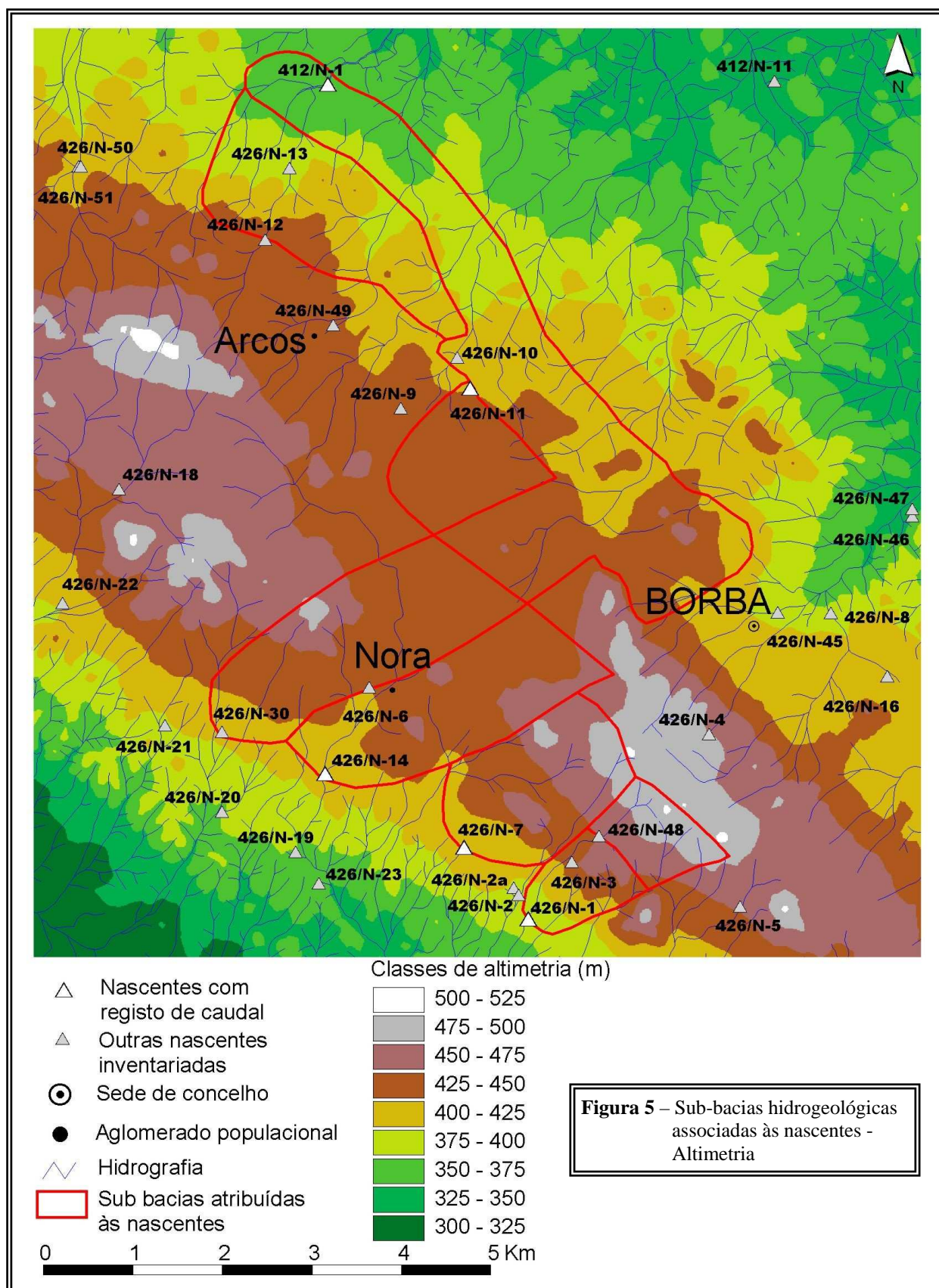
Foi possível determinar os volumes armazenados (**tabela 4**) correspondentes às descargas controladas, utilizando a expressão que relaciona os caudais de descarga com os respectivos volumes armazenados, num dado instante:

$$V_0= Q_0 / \alpha$$

esta expressão não é mais do que a integração da equação de Maillet para um valor inicial do caudal (**Q₀**), sendo **α** o coeficiente de armazenamento (Oliveira, M. 1997).

O somatório destes volumes corresponde a cerca de 4 hm³ para as 4 nascentes consideradas.

A determinação da área da sub-bacia hidrogeológica associada a cada nascente obedeceu a vários critérios, topografia, litologia, estrutural e hidrografia (**figuras 5 e 6**).



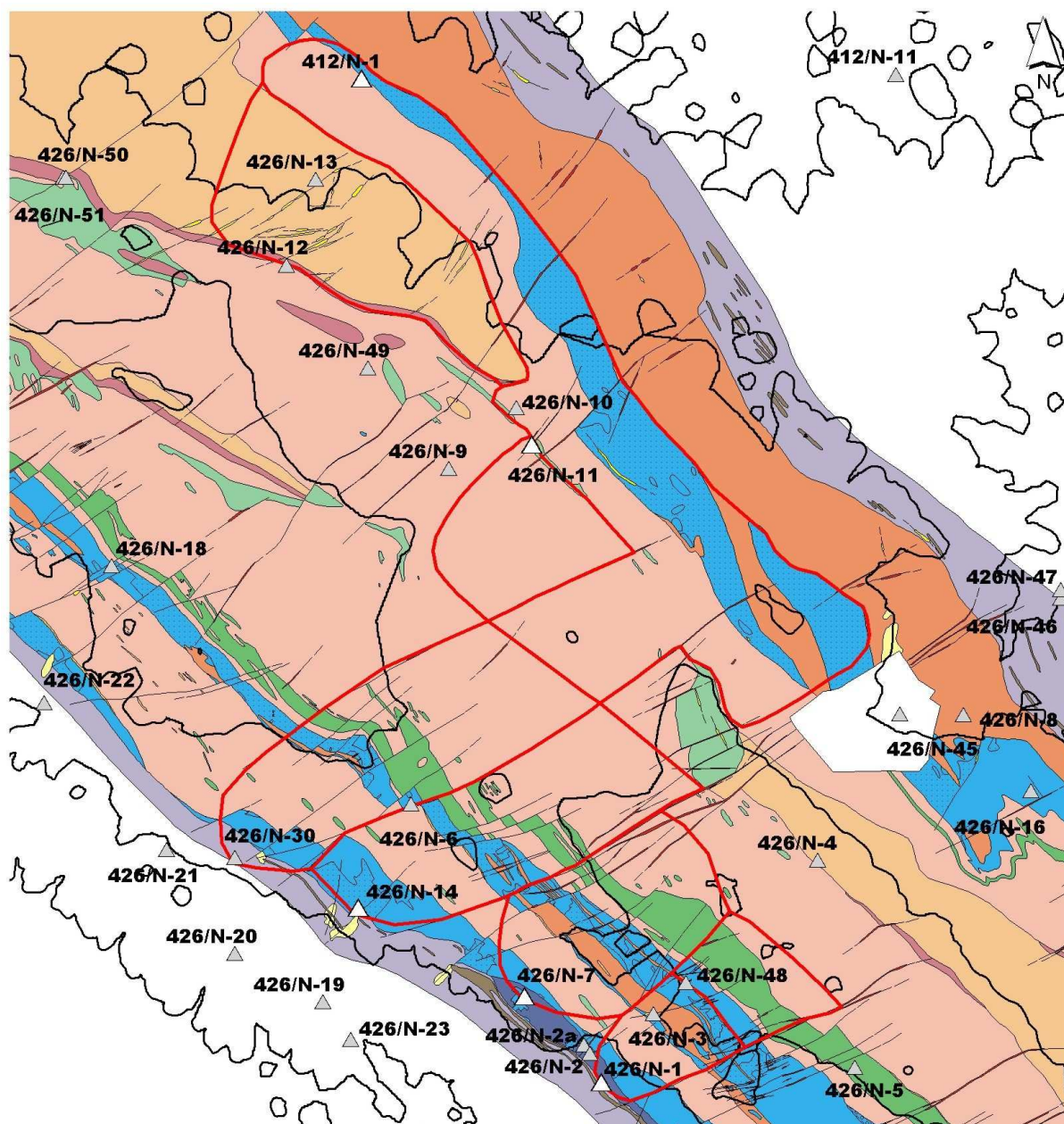


Figura 6 – Sub-bacias hidrogeológicas associadas às nascentes - Geologia

- △ Nascentes com registo de caudal
- ▲ Outras nascentes inventariadas
- Curvas de nível (equidistância de 50 metros)
- Sub bacias atribuídas às nascentes

0 1 2 3 4 5 Km

Na determinação da área de recarga associada à nascente N1/412–Techocas foram consideradas duas situações: uma em que a mancha dos xistos do Pré-câmbrico foi excluída por esta não contribuir com escoamento subterrâneo e outra onde esta formação xistenta foi incluída, uma vez que esta constitui uma área de recarga, por captura de linhas de água tendo-se obtido como consequência uma menor taxa de infiltração.

Perante estes dois cenários parece que o segundo traduz melhor a realidade uma vez que não se poderá desprezar o escoamento superficial que ocorre nesta zona e que se infiltrará na formação carbonatada que se encontra a jusante.

Na determinação da sub-bacia hidrogeológica associada à nascente das Techocas foi ainda possível determinar o comprimento da respectiva bacia utilizando a expressão:

$$\alpha = (2/L^2) \cdot (T/S) \quad \Leftrightarrow \quad L^2 = 2T/\alpha S$$

em que **T** (m²/dia) é a transmissividade, **S** o coeficiente de armazenamento do aquífero e **L** é o comprimento do aquífero (m) (Costa, 1985).

Os valores de **T** e **S** obtidos a partir de um ensaio de bombagem efectuado nos furos das Techocas (T= 3134 m²/dia e S= 0.084) permitiram obter um valor de L=7.1 Km.

Na tabela seguinte estão representados as áreas determinadas bem como a precipitação caída dentro de cada área, o volume debitado por cada nascente e o valor de recarga obtido.

Tabela 4 - Parâmetros utilizados na determinação da recarga

<i>Referencia da nascente</i>	<i>Área da bacia (Km²)</i>	<i>Volume de precipitação (mm)</i>	<i>Volume debitado pela nascente (m³)</i>	<i>Recarga (%)</i>
N1/412 s/ Pré-câmbrico	8.6	7043566.3	2739045.0	38.9
N1/412 c/ Pré-câmbrico	12.1	9629404.8	2739045.0	28.4
N1/426	1.0	802820.8	265687.0	33.1
N14/426	3.5	2939399.8	874520.1	29.8
N7/426	2.7	2249746.2	558796.7	24.8
Total s/ Pré-câmbrico	15.7	30119521.0	9004962.0	31.6
Total c/Pré-câmbrico	19.1	15621371.0	4438048.8	29.0

Com base nestes dados podemos admitir um valor de 30 % para a taxa de infiltração associada às formações carbonatadas do anticlinal de Estremoz.

2.7 - Avaliação dos recursos hídricos subterrâneos renováveis

A avaliação do volume médio anual escoado no aquífero efectuou-se com base no valor de precipitação média anual obtido com base nos polígonos de Thiessen e num valor de infiltração eficaz de 30%. Temos então um valor de 636.8 mm que para uma área de aproximadamente 202,1 Km² que corresponde ao sistema aquífero um volume anual dos recursos hídricos subterrâneos renováveis da ordem dos 38.6×10^6 m³/ano.

2.8 – Quantificação dos usos

A quase totalidade da água consumida na região para os diversos fins, agro-pecuária, indústria, abastecimento privado e abastecimento público tem origem subterrânea. Sendo o sector da agro-pecuária aquele, que tendo em conta o inventário realizado para o uso dos pontos de água o que mais gasta. Dos usos considerados apenas foi possível estimar um valor de água subterrânea extraída para o abastecimento público, informação cedida pelas várias câmaras municipais da região.

O valor total de extracção estimado para os furos camarários que se localizam na área que corresponde ao sistema aquífero foi de 10 750 m³/dia o que corresponde a 3.9×10^6 m³/ano.

Este valor é apenas uma aproximação possivelmente subvalorizada uma vez que se baseia em deduções tendo em conta o tipo de bomba instalada e não um sistema de contagem.

Uma vez que este uso corresponde apenas a 16 % da água extraída ao sistema de acordo com o inventário efectuado, temos que o total de água extraída para os diferentes usos será da ordem dos 28×10^6 m³/ano. Convém referir que este valor será inferior ao valor real visto o inventário ter sido insuficiente na zona de pedreiras.

Tendo em conta que o volume de recursos hídricos subterrâneos renováveis anualmente é da ordem dos 38.6×10^6 m³/ano e que o valor estimado de consumos de água subterrânea é de 28×10^6 m³/ano, podemos dizer que estamos numa situação em que os recursos hídricos subterrâneos renováveis são suficientes para as necessidades, mas não vão contribuir grandemente para um aumento das reservas. Numa situação de seca prolongada e de consumos nesta ordem as reservas subterrâneas poderão ser atingidas.

3 - Prospeccção Geofísica

3.1 – Métodos electromagnéticos

No sistema aquífero Estremoz-Cano apenas na região dos calcários de Cano foi efectuada prospecção geofísica através do método VLF-EM (Very Low Frequency - Electromagnetic), com o objectivo de definir descontinuidades na camada mais superficial do terreno e assim definir o local mais propício à construção de uma sondagem de investigação hidrogeológica.

Resumidamente, o VLF-EM é um método que se baseia na interpretação das interferências provocadas pelas estruturas naturais (fracturas, 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 (***H_p***) e o campo electromagnético secundário (***H_s***), em percentagem, dá-nos indicações sobre as heterogeneidades do meio.

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

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

Foram efectuados 11 perfis que cobriram cerca de 30 ha e que permitiram tirar algumas conclusões sobre a heterogeneidade da área de estudo em termos geométricos.

A tabela seguinte resume as principais características dos perfis realizados.

Tabela 5 - Características dos perfis de VLF/EM

Perfil	Comprimento	Direcção	Emissor
1	750	N 82W°	GBR (19.6 kHz)
2	750	N 82W°	NAA (24.0 kHz)
3	800	E-W	NAA (24.0 kHz)
4	250	E-W	NAA (24.0 kHz)
5	300	E-W	GBR (19.6 kHz)
6	490	N 25°E	NAA (24.0 kHz)
7	250	N 44°W	GBR (19.6 kHz)
8	300	N25°E	NAA (24.0 kHz)
9	220	N25°E	GBR (19.6 kHz)
10	200	N25°E	NAA (24.0 kHz)
11	200	N 25°E°	NAA (24.0 kHz)

O único local da área de estudo, que apresentou evidências de anomalias foi o representado na **figura 8** correspondente aos perfis 6, 10 e 11.

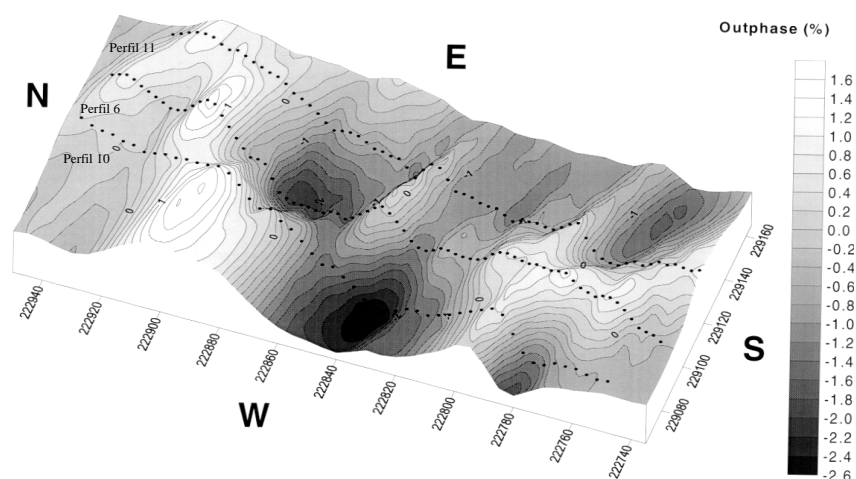


Figura 7 - Distribuição de valores de Outphase do campo electromagnético na Herdade do Lameirão, de acordo com os perfis 6, 10 e 11

Os perfis 6, 10 e 11 têm uma direcção N25°E. Neles foi possível observar a existência de variações bruscas no valor do desfasamento do campo electromagnético (outphase) (**figuras 8 a 10**).

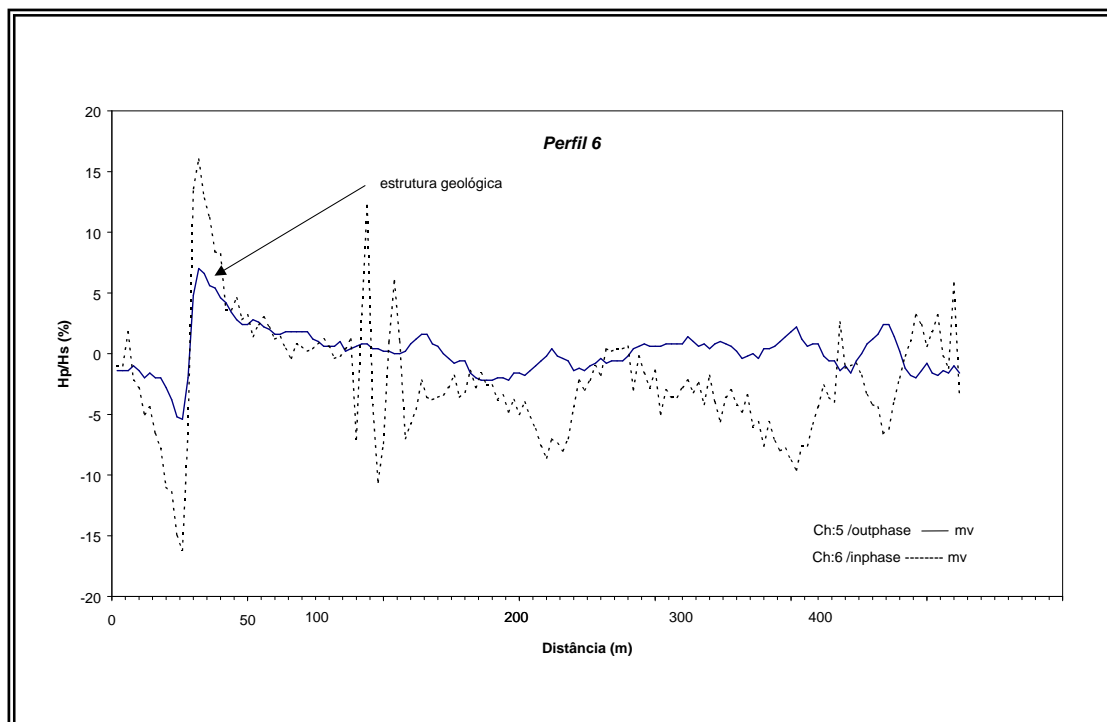


Figura 8 - Resultados dos perfis de VLF/EM ao longo do perfil 6

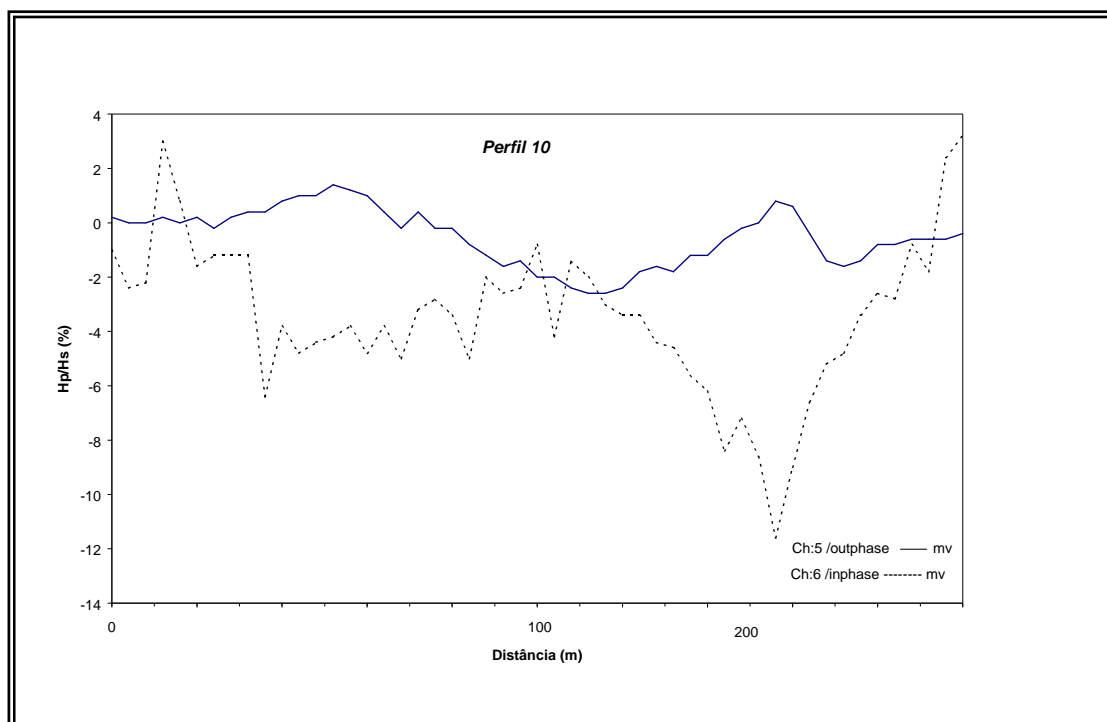


Figura 9 - Resultados dos perfis de VLF/EM ao longo do perfil 10

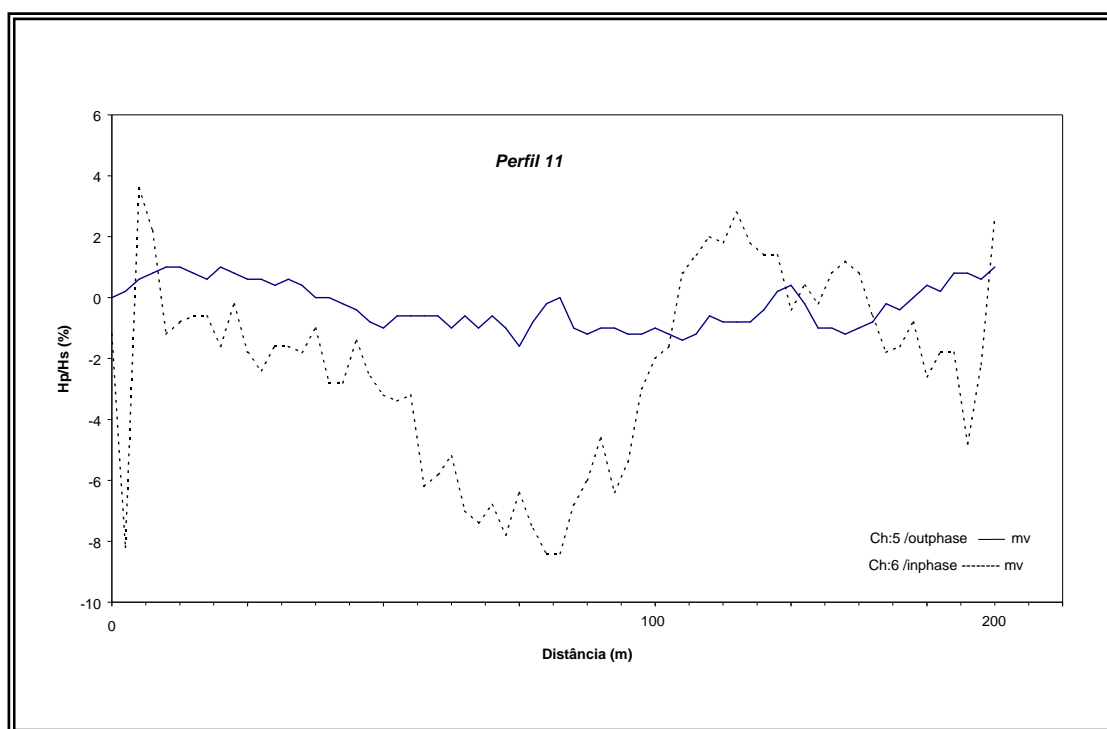


Figura 10– Resultados dos perfis de VLF/EM ao longo do perfil 11

Estas variações não aparentavam estar associadas a fenómenos externos tais como: presença de condutas de água, proximidade de cabos eléctricas, fios telefónicos, cercas ou outras construções metálicas, etc. Ainda que se possa verificar a existência de anomalias de morfologia linear no local seleccionado, estas são, no entanto, pouco nítidas visto que o ressalto de valores do outphase é de pequena amplitude. Este facto estará certamente relacionado com a litologia das formações presentes. Por um lado, os calcários são pulverulentos e não se encontram muito consolidados (daqui a existência de grandes fracturas), por outro lado a fácies argilosa dos calcários não permite a penetração em profundidade da onda electromagnética, e portanto não é possível receber informação acerca da fracturação da base do Plistocénico (Carvalho, 1998).

Com base nesta informação foi efectuada a sondagem SDH-11 Herdade do Lameirão (Cano).

4- Execução de sondagens verticais e diagrfias

4.1 – Sondagens de prospecção hidrogeológica

Umas das principais tarefas do IGM e aquela onde o investimento monetário foi maior foi a execução de sondagens mecânicas, com vista à instalação de redes de monitorização piezométrica e de qualidade. Estes trabalhos foram levados a cabo por uma equipa da Divisão de Sondagens do Instituto. No sistema aquífero Estremoz-Cano efectuadas 14 sondagens (**tabela 6 e figura 11**).

Tabela 6 - Características das sondagens efectuadas pelo IGM no SA

Sondagem	Coord. M	Coord. P	Local	Profundidade (m)	Data construção
SDH1	261350	202194	Vila Viçosa	228.69	14/12/1996
SDH2	257098	200493	Rio de Moinhos	188.99	31/01/1997
SDH3	254548	204430	Nora, Herdade da Nora	248.18	01/03/1997
SDH4	254000	203100	Nora	121.83	14/03/1997
SDH5	254026	203008	Nora	177.74	
SDH5a	254026	203008	Nora	29.78	30/04/1997
SDH6	263876	197202	Pardais, pedreira Marlena	281.68	18/06/1997
SDH7	263853	197090	Pardais, pedreira Marlena	263.18	04/08/1997
SDH8	263837	197318	Pardais, pedreira Marlena	74.53	22/08/1997
SDH9	255200	207400	Arcos	213.68	30/09/1997
SDH10	243100	212520	Venda da Porca	143.49	20/10/1997
SDH11	229000	223080	Herdade do Lameirão,	240.14	30/01/1998
SDH12	245940	216160	Herdade da Cavaleira	92.11	11/03/1998
SDH13	245940	216100	Herdade da Cavaleira	95.024	31/05/1998

A execução de sondagens, para além da instalação de redes de monitorização piezométrica e de qualidade, pretende simultaneamente, aprofundar o conhecimento geológico, tectónico e hidráulico dos locais onde se realizam.

Desta forma, os trabalhos de perfuração foram realizados à rotação com carotagem contínua. Os testemunhos obtidos foram sujeitos a uma análise preliminar *in situ* na qual se descreveu em traços gerais a litologia, a fracturação e o carácter hidrogeológico das formações.

Durante os trabalhos de perfuração foi efectuado um registo diário da variação do nível piezométrico, determinaram-se os RQD da sondagem e colheram-se amostras de água a diferentes profundidades para análise. Foram também efectuados ensaios de bombagem com ar comprimido em diferentes etapas de perfuração, com o objectivo de ensaiar os níveis que apresentavam maiores permeabilidades.

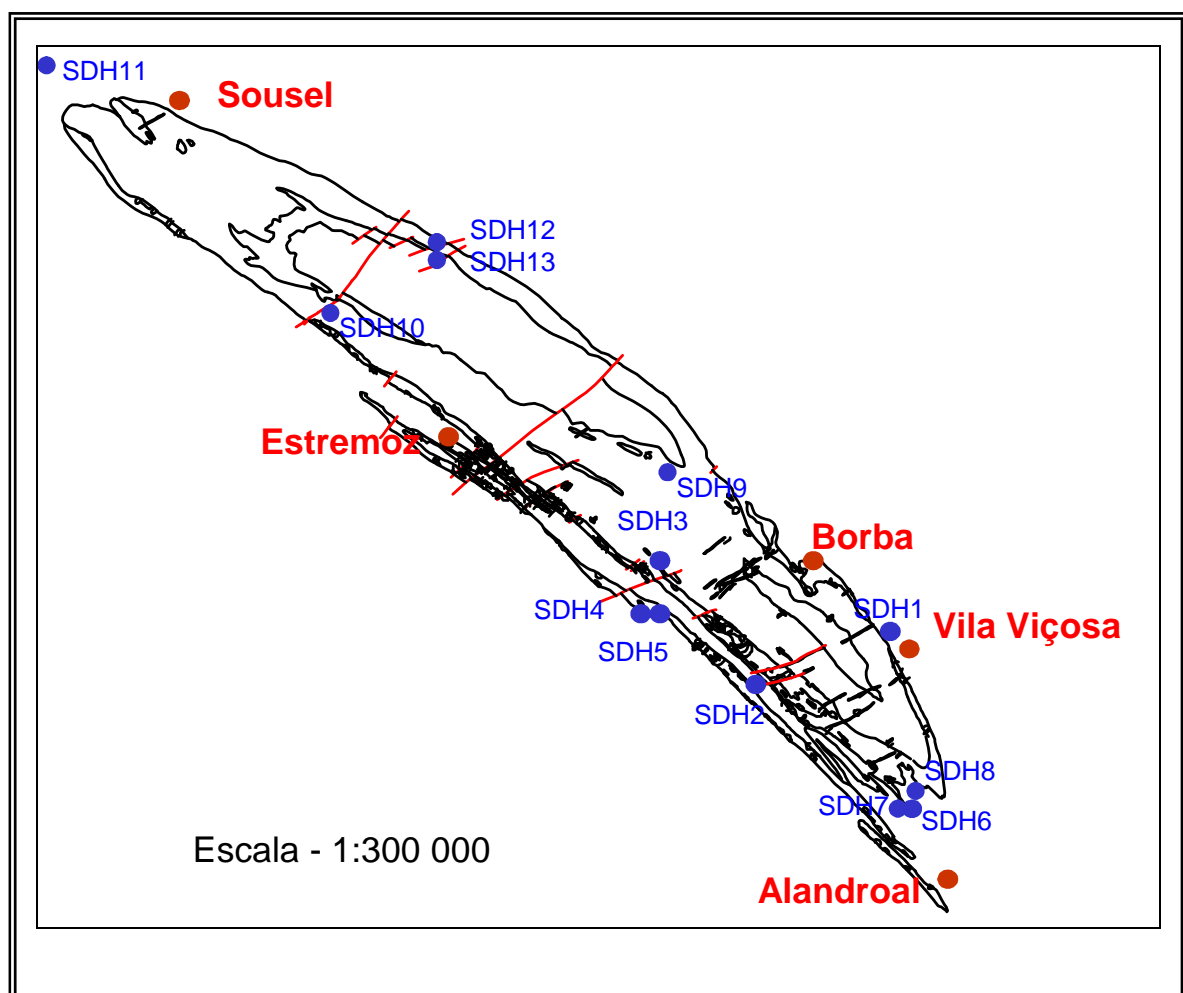


Figura 11 - Localização esquemática das sondagens efectuadas no Sistema Aquífero de Estremoz -

Cano

Das sondagens efectuadas, apenas duas foram imediatamente entubadas na sua totalidade e convertidas em piezómetros (SDH11 - Lameirão e SDH13 - Herdade da Cavaleira). As restantes sondagens estão revestidas apenas nos primeiros 3 m por forma a isolar os níveis de alteração iniciais, encontrando-se o resto em “open hole” uma vez que se verificou uma boa estabilidade das paredes do furos.

4.2 – Diagrafias

Em colaboração com o Departamento de Geofísica foram realizadas diagrafias eléctricas nucleares e de temperatura em diferentes etapas de perfuração. Nas várias campanhas realizadas nas sondagens carotadas de investigação hidrogeológica foram medidos 9 parâmetros por furo, designadamente Temperatura, Neutrões, Potencial Espontâneo (SP), Radiação Gama Natural, Single Point Resistance (SPR), Resistividades Normais 8”, 16”, 32” e 64”, para localização, numa primeira fase, de possíveis zonas aquíferas e identificação de contactos. Ao contrário do previsto, não se apresentaram dados recolhidos com a sonda Flowmeter, uma vez que todos os testes efectuados, em vários furos, indicaram valores de fluxo de tal ordem pequenos, que na maior parte dos casos não foram detectáveis; este facto conduziu à decisão do abandono da utilização sonda Flowmeter nestes furos.

Os dados provenientes das diagrafias poderão ser cruzados com a maior parte dos dados litológicos e de fracturação, por forma a desenvolver metodologias susceptíveis de serem utilizadas em sondagens não carotadas e em furos com escassa informação. De qualquer forma, a interpretação inicial das diagrafias foi efectuada com o recurso às carotes disponíveis e respectiva descrição sumária, através de analogias com os furos melhor estudados.

Nas campanhas de diagrafias, foi utilizado um logger digital MGXII da Mount Sopris, **(figura 12)**, cujo objectivo principal consistiu no conhecimento de parâmetros que permitam caracterizar as formações atravessadas **(tabela 7)**. O processamento dos dados no campo foi efectuado com o recurso ao software LOGSHELL, enquanto que em gabinete foram processados com o software VIEWLOG.



Figura 12 - Equipamento de campo - logger MGXII da Mount Sopris, com guincho 2500 e PC com processador 486

Com o equipamento disponível (**figura 13**), foi possível a aquisição simultânea de um conjunto razoável de parâmetros e, embora por si só a análise de uma única diagrafia quase nunca seja conclusiva, a análise em paralelo de um conjunto de diagrfias poderá fornecer indicações esclarecedoras acerca das formações que o furo atravessa (Howard, 1990) e da respectiva hidrogeologia. Sob condições favoráveis, é possível estabelecer modelos de secções verticais que definam a geometria das formações, a partir das correlações observadas entre os 9 parâmetros medidos e elementos adicionais fornecidos pelo estudo detalhado das carotes dos furos, a nível de fracturação.

Todas as diagrfias de Radiação Gama Natural, SP, SPR, Resistividades Normais 8", 16", 32" e 64" realizadas com as sondas 2PEA-1000 e 2PGA-1000 foram efectuadas com uma velocidade constante de 5 m/min e as diagrfias realizadas com a sonda de Neutrões foram realizadas com uma velocidade constante de 3 m/min. A aquisição de temperaturas foi efectuada com espaçamento constante de 5m. A partir das diagrfias de temperatura calcularam-se as diagrfias do gradiente geotérmico. Após a realização das campanhas de diagrfias no Anticlinal, comprou-se a sonda 2WQA-1000, que mede temperaturas simultaneamente com condutividades/resistividades do fluido, que substituiu a sonda PT-100DIN43760 nas medidas de temperatura. A sonda 2WQA-1000 não chegou a ser utilizada no Anticlinal.

Tabela 7 - Informações passíveis de obter a partir da interpretação das diagrfias registadas com o equipamento existente actualmente no Instituto Geológico e Mineiro (adaptado de Keys, 1990)

LOG	PROPRIEDADES MEDIDAS	APLICAÇÃO POTENCIAL	CONDIÇÕES DO FURO	UNIDA DES
SP	Potencial eléctrico causado por diferenças de salinidade no furo e fluidos intersticiais	Identificação de litologias, conteúdo em argilas, qualidade da água, localização de zonas permeáveis	furo não entubado preenchido com fluido condutivo	mV
Gama natural	Radiação gama de radioisótopos naturais ou artificiais	Identificação de litologias relacionadas com o conteúdo em argilas e siltes e localização de zonas permeáveis	quaisquer condições, desde que o furo não tenha diâmetro demasiado grande	c.p.s.
SPR	Resistência da rocha, fluido de saturação e fluido do furo	Identificação de litologias, localização de fracturas localização de zonas permeáveis	furo não entubado preenchido com fluido condutivo	Ohm
Resistividade Multi – electródica	Resistividade das rochas e fluidos de saturação	Identificação de litologias, interpretações quantitativas da salinidade da água intersticial e localização de zonas permeáveis	furo não entubado preenchido com fluido condutivo	Ohm.m
Neutrões	Conteúdo em hidrogénio (porosidade)	Identificação de litologias, porosidade saturada	quaisquer condições	c.p.s.
Temperatura	Temperatura do fluido e/ou temperatura das formações	gradiente geotérmico, localização da água injectada	furo preenchido com fluido	graus Celsius
Condutividade e do fluido	Condutividade/ resistividade do fluido	muito eficiente para localizar zonas de circulação de água e interface água doce/salgada	furo preenchido com fluido	μS/cm
Fluxo	Sentido e velocidade do fluxo	zonas de entrada e saída de água	furo preenchido com fluido	m/min L/h

Através da observação dos Relatórios do LÍRIO (dos quais, pelo seu elevado número, não é mencionado nenhum em particular) e respectiva correlação com as diagrfias efectuadas, é possível atribuir valores e características genéricos a cada uma das principais formações atravessadas pelos furos estudados.

Embora neste tipo de formações, muito compactas e resistivas, a calibração das sondas eléctricas deixe frequentemente de ser linear, tornando-se as diagrfias apenas qualitativas neste tipo de ambientes, existe um padrão de comportamento para cada tipo de formação, não obstante o facto dos valores registados (sob a forma quantitativa) terem validade apenas enquanto perante as mesmas condições de operacionalidade. Estas últimas considerações estendem-se também às diagrfias nucleares. Como exemplos destes tipos de variação, citam-se os casos da variação do diâmetro do furo, se é um furo em “open-hole”/entubado, o tipo de coluna de fluido, o tipo de detectores Geiger para a sonda de radiação gama natural, o tipo de fonte radioactiva para o caso da sonda de Neutrões (neste caso, uma sonda de Am-Be, com mais de 10 anos), velocidade do registo, etc. Assim, de uma forma meramente qualitativa (válida com qualquer tipo de equipamento), é possível distinguir as formações e respectivas características genéricas que se encontram representadas na **tabela 9**.

Tabela 9 – Tipos de formações principais atravessadas pelos furos efectuados no Anticlinal de Estremoz e respectivas características genéricas. Para uma sonda de Neutrões com espaçamento fonte radioactiva-detector superior a 30 cm. O SPR, pelas características do dispositivo, é apenas quantitativo (distância eléctrodo de corrente-eléctrodo de superfície impossível de calcular)

	Radiação Gama Natural (cps)	Neutrões (cps)	SPR (Ω)
Calcários dolomíticos	Muito baixo	Elevado	Elevado
Dolomitos primários	Muito baixo	Elevado	Elevado
Dolomitos secundários	Baixo	Elevado	Elevado
Mármore	Muito baixo	Elevado	Elevado
Xistos	Elevado	Baixo	Baixo
Rochas vulcânicas ácidas	Elevado	Baixo	Médio
Rochas vulcânicas básicas	Médio	Baixo	Médio
Complexo Vulcano-Sedimentar	Elevado	Baixo	Médio

Esta mesma distinção poderá ser feita para o equipamento utilizado, ainda que, pelas características muito resistivas das formações atravessadas, não tenha sido possível registar valores quantitativos para as diagrfias eléctricas (tal como já foi mencionado),

designadamente, as Resistividades Normais largas (32" e 64"), cujo poder de penetração nas paredes do furo é suficiente para permitir concluir a cerca da resistividade aparente das formações que o furo atravessa. Apenas em alguns casos os valores alcançados foram suficientemente baixos (cerca de 8000 $\Omega.m$) para admiti-los como válidos para um tratamento semi-quantitativo. Não serão, no entanto, mencionados no presente relatório, uma vez que não são em número suficiente para serem representativos das formações da região.

A **tabela 10** mostra os valores médios obtidos para as formações principais atravessadas pelos furos efectuados no Anticlinal de Estremoz e respectivas características genéricas, com o equipamento existente no IGM.

Tabela 10 - Valores médios obtidos para as formações principais atravessadas pelos furos efectuados no Anticlinal de Estremoz e respectivas características genéricas, com o equipamento existente no IGM

	Radiação Gama Natural (cps)	Neutrões (cps)	SPR(Ω)
Calcários dolomíticos	<15	1000-1200	Elevado
Dolomitos primários	<20	1000-1500	Elevado
Dolomitos secundários	>50	1750	Elevado
Mármore	<15	2000-2250	Elevado
Xistos	130-150	1000	Baixo
Rochas vulcânicas ácidas	150	750	Médio
Rochas vulcânicas básicas	100-130	1250	Médio
Complexo Vulcano-Sedimentar	130-150	800	Baixo

Apenas em dois casos as diagrfias foram efectuadas imediatamente após a perfuração do furo (furos SDH-11 e SDH-13). Nestas, a sua interpretação serviu como um dos critérios fundamentais para o respectivo entubamento. Nos restantes furos, não entubados, as diagrfias têm como papel principal a determinação de parâmetros físicos das rochas e ainda a localização de zonas fracturadas com potencial interesse hidrogeológico.

Esta localização de zonas fracturadas, com este tipo de formações e com as sondas disponíveis, centra-se na determinação de locais que, por um lado, pareçam ser zonas de alteração e, por outro, apresentem circulação de fluidos visível, detectadas por exemplo,

pelas diagrfias nucleares, através de um aumento do diâmetro do furo e/ou deposição de hidróxidos nas zonas falhadas (Howard, 1990). Para o efeito utilizaram-se, fundamentalmente, as diagrfias de neutrões, temperatura e gradiente geotérmico associadas às diagrfias eléctricas, na ausência das diagrfias do “caliper”, condutividade do fluido e fluxo, que são, por excelência, as diagrfias indicadas para este tipo de situações.

Em seguida, e apenas a título de exemplo, apresentam-se exemplos de diagrfias de dois furos do Anticlinal de Estremoz, que ilustram com alguma clareza a capacidade das diagrfias para identificação de formações. Explicações mais detalhadas remetem-se para os Relatórios relativos a cada furo (**figuras 14, 15 e 16**), efectuados pela equipa da Divisão de Geofísica do IGM.

A **figura 14** mostra com bastante clareza a zona de contacto entre rochas carbonatadas e xistos. Este contacto é muito visível aos 160 m de profundidade, onde se encontra uma nítida separação entre os diferentes tipos de formações atravessadas. Da mesma forma, na **figura 15** são visíveis duas nuvens distintas correspondendo a ambos os tipos de formações mencionados. Salienta-se ainda uma terceira nuvem correspondendo a valores de neutrões na ordem dos 1000 cps e radiação gama natural inferior a 20 cps correspondem a valores recolhidos ao longo do entubamento superficial.

A **figura 16** mostra um segundo furo com as várias diagrfias sobrepostas e respectiva resposta. Podem ver-se claramente os comportamentos relativos dos vários parâmetros para as várias formações a variarem tal como descrito nas **tabelas 9 e 10**.

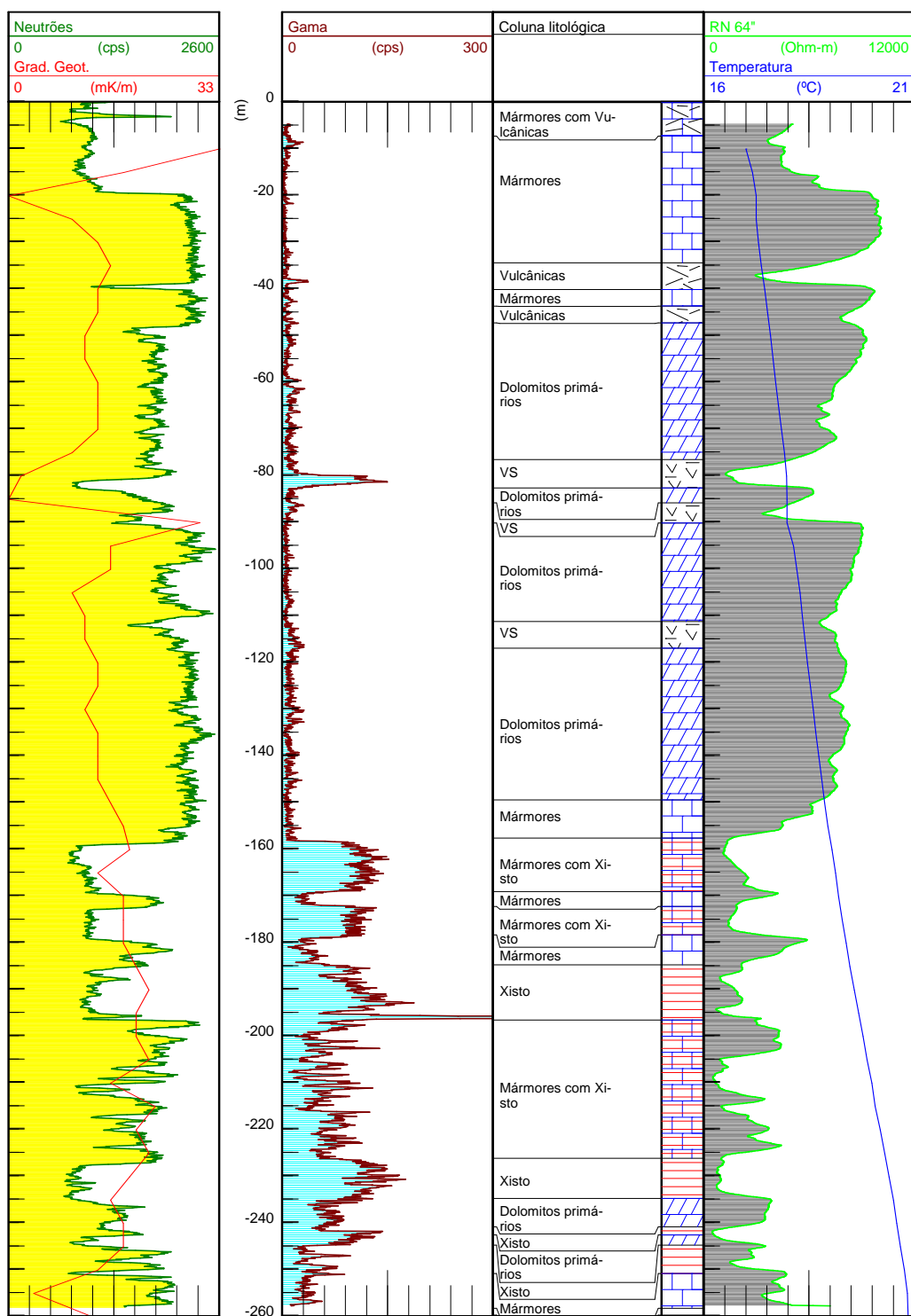


Figura 14 –Diagrafias eléctricas (SPR), nucleares (radiação gama natural e neutrões) e da coluna de fluido (temperatura e gradiente geotérmico) para o furo SDH-7

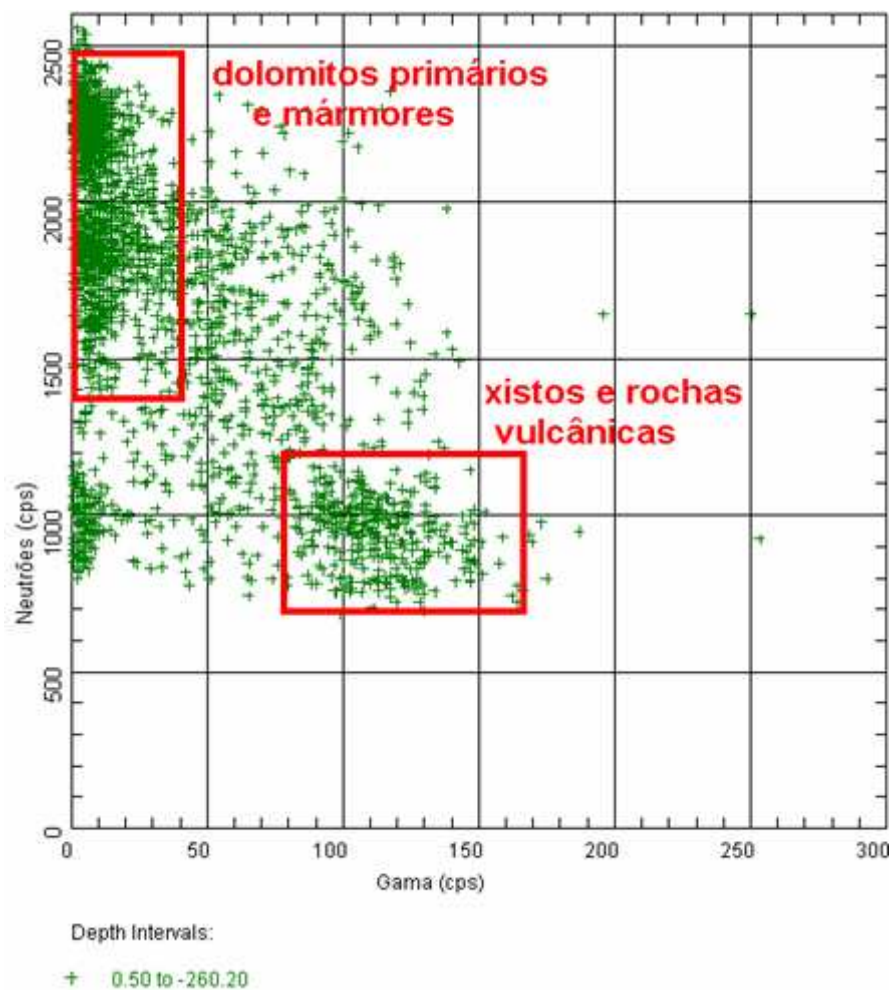


Figura 15 –Gráfico Neutrões x Radiação Gama Natural para a sondagem SDH-7

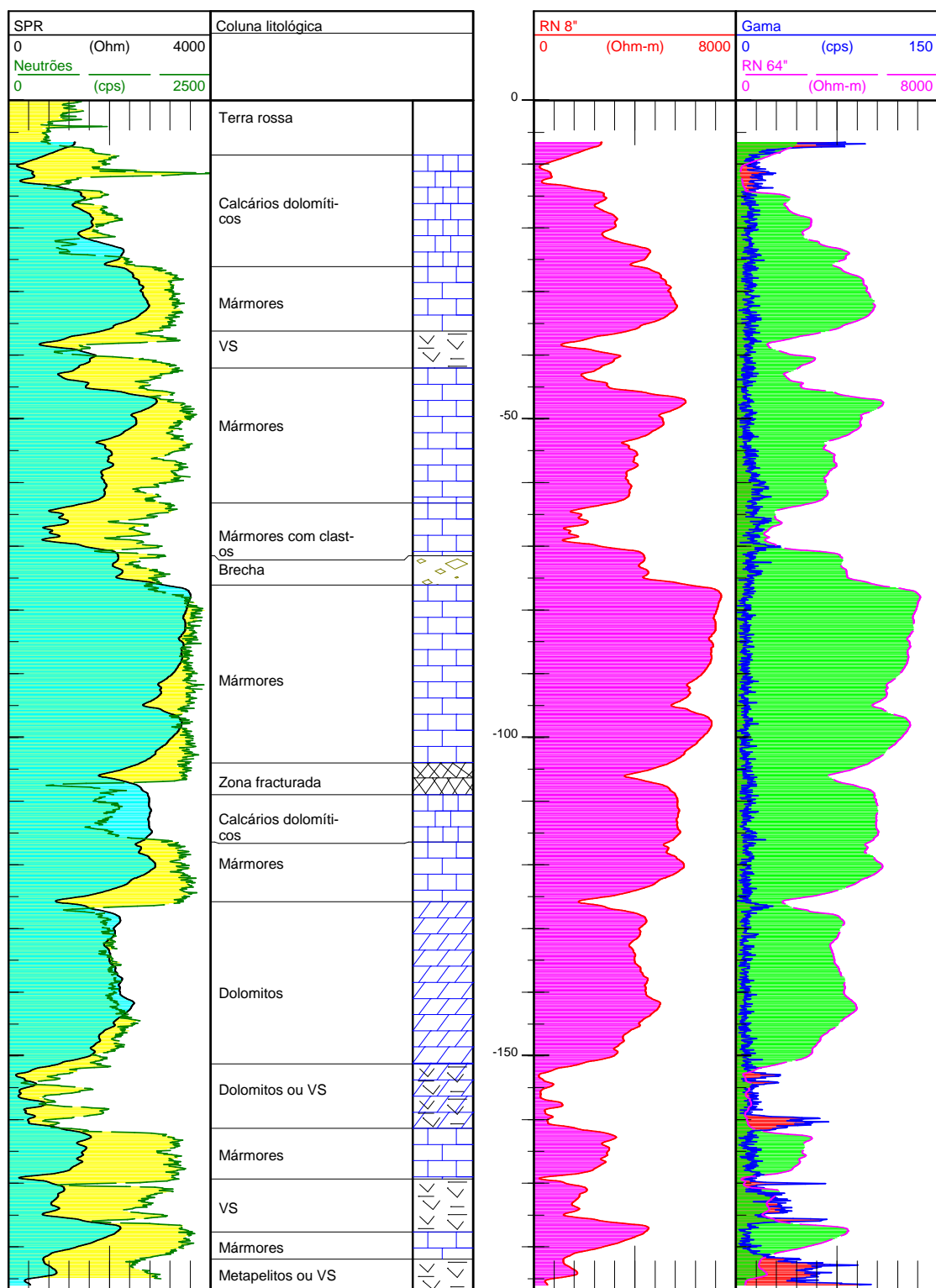


Figura 16 – Diagramas de SPR, RN 8", RN 16", Neutrões e Radiação Gama Natural para o furo SDH-2

5 - Instrumentação

Das 14 sondagens de prospecção hidrogeológica efectuadas e transformadas em piezómetros, 7 foram incluídas na rede de monitorização piezométrica deste sistema aquífero.

Três destes piezómetros (SDH1, SDH4, SDH11), foram equipados (a partir de Junho de 1999) com sondas automáticas de registo do nível piezométrico por forma a obter o registo horário do nível.



Figura 17 - Sonda de níveis com datalogger integrado (WL – 14Water Level Logger)

Seguem-se dois exemplos do tipo de registo e informação obtida através das sondas.

Considerou-se um período de registo entre Junho e Agosto de 1999.

O gráfico seguinte refere-se aos registos obtidos na sondagem SDH13 – Herdade da Cavaleira. A tendência geral do registo, como seria de esperar, é de uma diminuição do nível piezométrico, visto estarmos em pleno Verão.

Uma análise de pormenor do registo denuncia a existência de interferências regulares ocasionadas por bombagem num furo próximo.

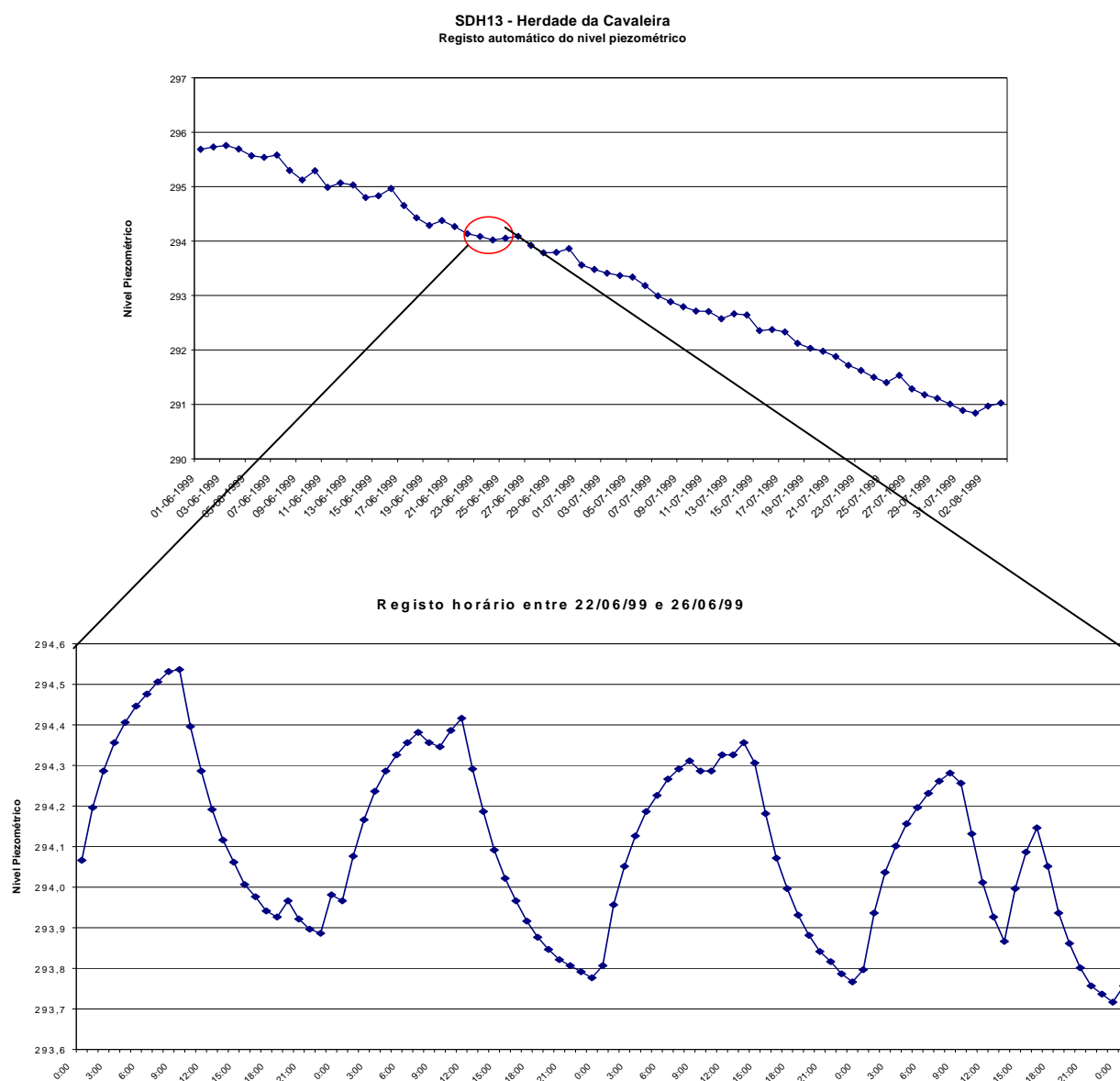


Figura 18 - Gráficos exemplificativos de um registo automático do nível piezométrico com interferência de extracção

Os gráficos seguintes correspondem ao registo do nível no piezometro SDH1. Verifica-se igualmente uma tendência geral de diminuição do nível piezométrico. A análise de pormenor relativa ao mesmo período de tempo não demonstra a existência de qualquer interferência de bombagem.

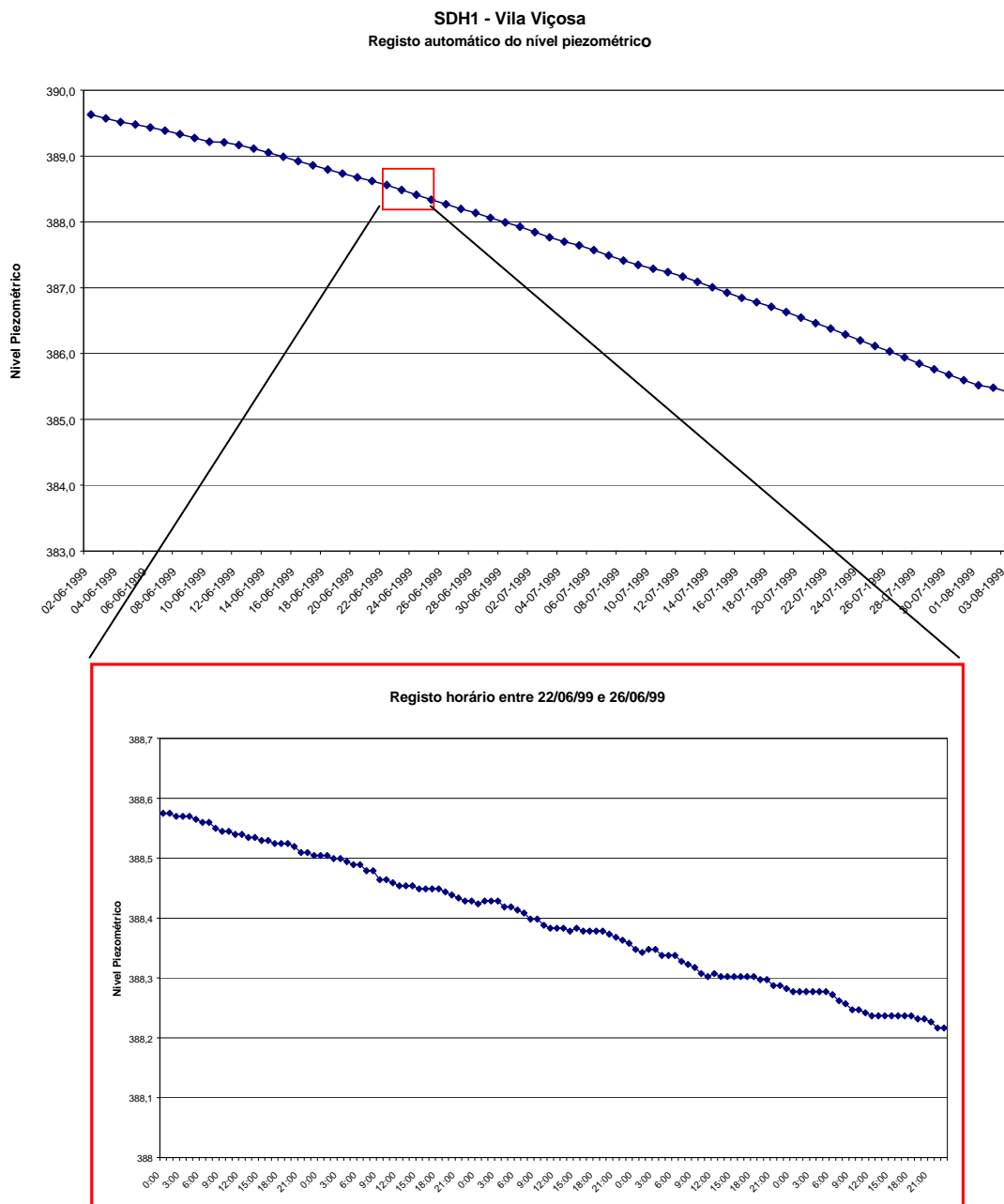


Figura 19 - Gráficos exemplificativos de um registo automático do nível piezométrico sem interferência de extracção

6 – Caracterização Hidrodinâmica

6.1 - Ensaio de Bombagem

O ensaio de bombagem obedece a uma metodologia muito simples de leitura da evolução dos níveis de água no furo que está a ser bombeado e/ou em piezómetros, cuja interpretação permite obter informações sobre o furo e as características do reservatório subterrâneo.

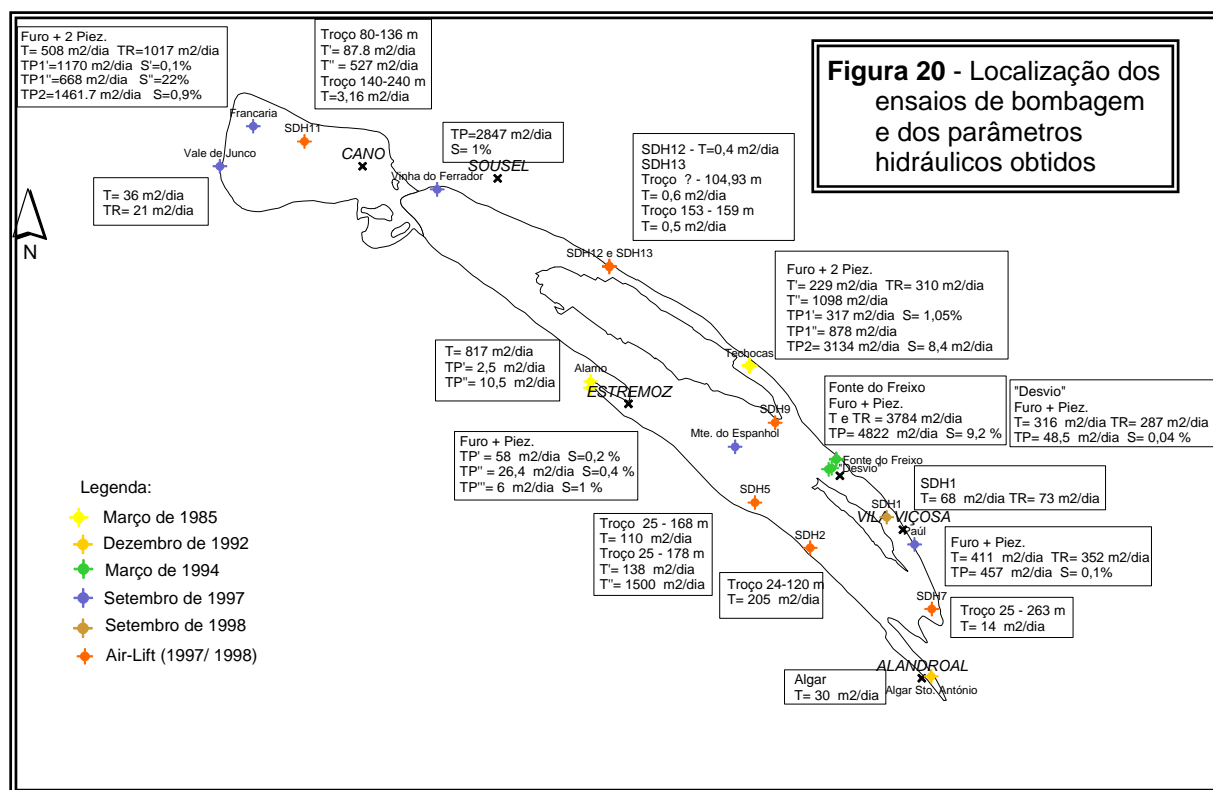
Quanto ao furo permite saber a qualidade da construção, a existência de perdas de carga por atrito de água nas imediações do furo e ainda o caudal de bombagem mais aconselhável. No que se refere ao aquífero pode fornecer dados sobre: transmissividade, coeficiente de armazenamento, grau de conexão hidráulica entre diferentes sistemas aquíferos, existência de barreiras impermeáveis, zonas de recarga, etc. (Martinez e Lopez, 1984).

A realização e interpretação dos resultados de um ensaio de bombagem são de um modo geral acompanhadas por inúmeras dificuldades. A ausência de situações ideais no campo para a realização do ensaio, como por exemplo a existência de um furo que possa bombear durante horas ou dias consecutivos, constitui um grande obstáculo que só poderá ser ultrapassado com a colaboração e compreensão dos proprietários desses furos.

A interpretação dos resultados de um ensaio de bombagem pode ser igualmente difícil se estivermos, como é o caso, na presença de rochas fracturadas onde o desconhecimento de intensidade e direcção de fracturação é grande. Segundo Pinto, 1987 devido a esta complexidade os ensaios de bombagem tem tido muitas dificuldades em ser aceites como instrumento útil, não só no estudo de aquíferos de porosidade de fractura, como também nos aquíferos de porosidade dupla (intergranular e fractura).

Como objectivo de caracterizar hidrodinamicamente o sistema aquífero Estremoz-Cano foram realizados vários ensaios de bombagem com recurso a bomba submersível e à injeção de ar comprimido (Air-Lift). Por forma a completar este estudo e caracterizar uma maior área deste sistema foram utilizados ensaios de bombagem realizados pelo Departamento de Hidrogeologia do Instituto Geológico e Mineiro.

Na **figura 20** está representada a localização geográfica dos ensaios e os parâmetros hidráulicos obtidos.



No tratamento dos dados foi utilizado o método de Jacob. Este método constitui uma simplificação do método de Theis que poderá ser aplicada em aquíferos livres e regime variável desde que se proceda à correcção de Dupuit:

$$s_{\text{corrigido}} = s - \frac{s^2}{2H_0}$$

em que: s - rebaixamento

H_0 - espessura saturada inicial do aquífero

Esta correcção não é necessário fazer se os rebaixamentos forem inferiores a 15 por 100 da espessura saturada do aquífero.

A simplificação de Jacob pode utilizar-se quando $u < 0.1$ sendo:

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt}$$

a partir da expressão determina-se a o período de validade de Jacob ou seja o tempo a partir do qual são válidas as leituras efectuadas.

A expressão do rebaixamento dada por Jacob é a seguinte:

$$s = 0.183 \frac{Q}{T} \log \frac{2.25Tt}{r^2 S}$$

em que:

s - rebaixamento num ponto situado à distância r do furo bombeado

Q - caudal de bombagem constante

T - transmissividade do aquífero

S - coeficiente de armazenamento do aquífero

t - tempo decorrido desde que se iniciou a bombagem

Os valores de rebaixamento versus tempo, obtidos no campo, são projectados num gráfico semilogaritmico, aos quais é ajustada uma recta. A partir do pendor desta recta determina-se o valor de transmissividade que é dado pela expressão:

$$T = 0.183 \frac{Q}{\Delta s}$$

Δs -variação do rebaixamento num ciclo logarítmico

Para obter o coeficiente de armazenamento, é necessário medir o valor de t onde a recta ajustada aos pontos corta o eixo das abcissas. Este tempo é denominado t_0 e obtêm-se:

$$t_0 = \frac{r^2 S}{2.25T} \rightarrow S = \frac{2.25T t_0}{r^2}$$

À semelhança do que acontece no método de Theis, o método de Jacob não permite o calculo do coeficiente de armazenamento no furo que foi bombeado, uma vez que as perdas de carga no furo falseariam os resultados. Isto porque nas proximidades do furo bombeado existem certas alterações, como desagregação do material, zonas mais permeáveis por efeito de desenvolvimento, etc., que fazem com que o diâmetro eficaz não coincida com o diâmetro de perfuração (Martinez e Lopez, 1984).

Sendo assim, é possível obter a transmissividade no furo bombeado enquanto que nos piezómetros podemos calcular a transmissividade e o coeficiente de armazenamento.

No tratamento dos dados sempre que existia um piezometro foi definido o período de validade do método de Jacob ou seja o tempo a partir do qual são válidas as leituras efectuadas, ajustando-se em seguida uma nova recta e calculou-se outra transmissividade e coeficiente de armazenamento.

◆ Ensaio com Bomba submersível

Os ensaios de bombagem foram feitos a caudal constante, regime variável seguidos por ensaios de recuperação sempre que possível.

Os ensaios de recuperação, consistem na medição dos níveis a partir do momento em que se interrompe a bombagem, e permitem comprovar o grau de conexão hidráulica entre a captação e o aquífero. É possível ainda verificar as condições em que foi realizado o ensaio, ou seja, se houve reciclagem de água, recargas exteriores, ou se o aquífero é limitado.

Em Março de 1985, foram efectuados ensaios de bombagem e/ou recuperação nos furos de abastecimento público da Câmara Municipal de Estremoz, das Techocas (nº inv. F2, F3 e F4/412) e Álamo (nº inv. F2/425) e ainda um ensaio de recuperação num furo particular (nº inv. F3/425).

O ensaio realizado nas Techocas teve a particularidade de ter sido possível medir os níveis na captação (F2/412) e em mais dois furos que serviram de piezómetros (3 e F4/412) situados a 18.2 e 68 m do furo de bombagem. Merece ainda referência as direcções definidas pelos três pontos correspondentes às três captações. Os furos 2 e 3 encontram-se segundo uma direcção N60°W, ou seja segundo uma direcção próxima da estratificação, os furos 2 e 4 apresentam uma direcção N50°E encontrando-se alinhados segundo a direcção predominante dos acidentes tectónicos cisalhantes transversais à estrutura.

Segundo Costa (1985) podemos dizer que estamos numa área onde existe uma forte anisotropia nos parâmetros físicos do aquífero carbonatado câmbrico.

A permeabilidade do aquífero, admitindo a espessura constante, chega a ser cerca de 3 a 10 vezes superior na direcção NE-SW comparativamente com a direcção NW-SE. O mesmo se verificando em relação ao coeficiente de armazenamento. O valor de transmissividade obtido na direcção NE-SW (superior a 3000 m²/dia) resulta provavelmente de um desenvolvimento preferencial da carsificação nesta direcção.

Na sequência carbonatada em presença afectada por metamorfismo a estratificação não parece condicionar grandemente o desenvolvimento da carsificação e as direcção de fluxo. Num contexto mais local as direcção de fluxo são certamente condicionadas pelos acidentes tectónicos transversais (NE-SW).

Os valores de transmissividade (2.5 a 10.5 m²/dia) obtidos no ensaio de recuperação efectuado no furo particular que fica perto do furo do Álamo destacam-se por serem muito mais baixos que os restantes. No furo do Álamo o valor mínimo obtido foi de 817 m²/dia.

É notório o contraste entre o aquífero carbonatado câmbrico e os níveis aquíferos que se podem captar nos metavulcanitos e xistos que se sucedem às formações carbonatadas.

Efectivamente apesar de próximos espacialmente os furos 2 e 3/425 encontram-se em situações geológicas e hidrogeológicas completamente diferentes.

A caracterização hidroquímica realizada nestes furos revelou igualmente algumas diferenças nomeadamente nos índices de saturação relativos à calcite e à dolomite. Verifica-se que a água captada no furo 3 é subsaturadaa em relação à calcite enquanto

que a do furo 2 é sobressaturada. Já em relação à dolomite mantém-se uma situação de sobressaturação, embora o índice de saturação respectivo sofra uma redução significativa quando se comparam os valores obtidos para as águas dos furos 2 e 3 (2.7563 e 1.3760, respectivamente). Apesar da interpretação efectuada, tendo em conta a complexidade geológica da área seja um pouco especulativa é contudo viável admitir que embora com grandes perdas de carga e algumas modificações hidroquímicas o aquífero carbonatado paleozóico cede alguma água às formações envolvente, aproveitando, eventualmente, alguns dos múltiplos acidentes tectónicos transversais à estrutura anticlinal hercínica (Costa, 1985).

Em Dezembro de 1992 no algar de Sto. António, foi realizado um ensaio de bombagem tendo-se obtido um caudal específico de 1 l/s/m e uma transmissividade de 30 m²/dia.

Dos trabalhos hidrogeológicos realizados Departamento do Hidrogeologia do IGM no anticlinal de Estremoz é de referir ainda os ensaios efectuados nos furos de abastecimento público da Câmara Municipal de Borba, da Fonte do Freixo e no furo localmente designado de “furo junto ao desvio”, ambos muito próximos de Borba e da estrada (IP7) que vai para Elvas, realizados sobre os calcários paleozóicos em captações pouco profundas.

Na Fonte do Freixo foram utilizados dois furos: o furo mais a sul que foi bombeado e o furo norte que serviu apenas de piezómetro não tendo sido ensaiado. No furo bombeado (furo sul) os parâmetros físicos do aquífero foram: $T = 4822 \text{ m}^2/\text{dia}$, $T = 4099 \text{ m}^2/\text{dia}$ (em recuperação) e $S = 0.092$. A transmissividade obtida no piezómetro (furo norte) foi igual tanto na recuperação como na bombagem do furo sul ($T = 3784 \text{ m}^2/\text{dia}$).

Os resultados deste ensaio são concordantes com as características do sistema aquífero carbonatado cársico desta região em zonas onde este é aquífero livre e apresenta maiores permeabilidades (Costa, 1994).

Através da observação da geologia é possível verificar que esta captação poderá estar a beneficiar de uma dobra anticlinal secundária e ainda de estruturas cársicas desenvolvidas na região.

Durante o ensaio de recuperação não se evidenciaram quaisquer efeitos de esvaziamento do aquífero o que quer dizer que os cerca de 1300 m³ de água extraídos durante o ensaio de bombagem são insignificantes em relação ao volume total de recursos que este aquífero comporta.

No outro local ensaiado foram utilizados: um furo camarário “furo junto ao desvio” (nº inv.F28/426) e um furo particular (nº inv.F29/426) que serviu de piezómetro. Os parâmetros físicos do aquífero obtidos foram os seguintes: $T = 316 \text{ m}^2/\text{dia}$, $T = 287 \text{ m}^2/\text{dia}$ (em recuperação), $S = 3.92 \times 10^{-4}$ e no piezómetro $T = 48.5 \text{ m}^2/\text{dia}$.

Perante os resultados pode concluir-se que esta captação se situa numa zona em que o aquífero já não é livre uma vez que o coeficiente de armazenamento é reduzido. Este facto pode ser explicado por um aumento da espessura dos níveis de metavulcanitos no topo da sequência sedimentar que desempenham a função de confinantes (Costa, 1994). A permeabilidade do aquífero é elevada (da ordem dos $300 \text{ m}^2/\text{dia}$), devendo diminuir na área envolvente tal como sugere o valor de transmissividade obtido no piezómetro que foi de $48.5 \text{ m}^2/\text{dia}$. Uma vez que não são conhecidas as características técnicas construtivas do furo particular, esta captação poderá ser incompleta ou ter outros defeitos de construção que afectem os valores considerados. As características hidráulicas do aquífero, na área da captação de abastecimento público, possibilitam a extracção de caudais superiores aos actualmente captados, prevalecendo as limitações inerentes ao diâmetro da coluna de revestimento definitivo que foi aplicada neste furo (Costa, 1994).

Na campanha realizada em Setembro de 1997 por uma equipa do IGM e outra do INAG, foram ensaiados 5 pontos (**figura 20**), nestes é possível verificar a grande heterogeneidade do meio (Midões *et al.*, 1997).

Na extremidade NW do sistema aquífero, procedeu-se à realização de 2 ensaios de caudal, um em Vale de Junco e outro na Francaria.

Em Vale de Junco foi utilizado um furo de bombagem e um piezometro situado a uma distância de 158 metros para N15°E do furo. Durante o ensaio que teve a duração de 29h:35min. e um caudal constante de aproximadamente 3.6 l/s não foi registada qualquer alteração no nível da água no piezómetro. Sendo assim, foram apenas feitas leituras na captação, tendo-se calculado o valor da transmissividade na recuperação ($Tr = 21 \text{ m}^2/\text{dia}$). Este ensaio realizado sobre as rochas xistentas do Silúrico, para além de demonstrar a possível inexistência de conectividade entre estes dois furos distanciados apenas 158 m traduz a baixa transmissividade que caracteriza este tipo de rochas quando comparada com a transmissividade que ocorre nos calcários lacustres, na zona da Francaria.

O ensaio realizado na Francaria sobre os calcários lacustres do Cano contou com um furo de bombagem e dois piezometros situados a 4 e 81.5 metros de distância do furo de bombagem. Tendo sido também efectuado um ensaio de recuperação. O ensaio teve a duração de 6 horas e foi feito com um caudal constante de aproximadamente 7.4 l/s.

Os valores de transmissividade obtidos variaram entre os 669 e os 1462 m²/dia e os valores de coeficiente de armazenamento entre os 0,1 e os 22 %.

No piezometro 1 (localizado a 4 m da captação) verificou-se que sensivelmente a partir dos 80 minutos houve uma diminuição da transmissividade e aumento do coeficiente de armazenamento.

Este facto parece sugerir que a existência de 2 zonas com diferente grau de fracturação. Uma zona mais fracturada e permeável à superfície, com transmissividade de 1170 m² /dia e S= 0.1 % e outra, em profundidade, menos “fracturada” com transmissividade igual a 669 m² /dia e S = 22 %.

Na Vinha do Ferrador, foi realizado apenas um ensaio com medição só possível no piezómetro que se encontrava a 45 metros da captação, e que apresentava 19 metros de profundidade. Este ensaio que teve a duração de 5 horas e foi feito com um caudal constante de aproximadamente 8 l/s decorreu nas formações carbonatadas paleozóicas do anticlinal de Estremoz. Os parâmetros hidráulicos calculados foram a transmissividade de 2847 m² /dia e o coeficiente de armazenamento de 1 %.

O Monte do Espanhol constitui uma situação mais favorável que a anterior, uma vez que foi possível efectuar leituras na captação e num piezómetro localizado a 9 metros de distância. O ensaio teve a duração de 5h:39min. e foi feito com um caudal constante de aproximadamente 4 l/s.

No piezómetro obtiveram-se 3 valores de transmissividade e de coeficiente de armazenamento. T1= 58 m²/dia, S=0.2; T2= 26 m² /dia, S=0.5 % e T3= 6 m² /dia, S= 1% o que poderá estar relacionado com a existência de várias barreiras impermeáveis.

A análise dos dados obtidos na captação e durante o ensaio de recuperação (TR1= 28 m²/dia Tr2=126 m²/dia) parecem também demonstrar que se trata de um reservatório limitado localizado na formação dolomítica. O ensaio realizado no Monte do Espanhol, apresenta transmissividades muito inferiores às que, de um modo geral, caracterizam o sistema aquífero de Estremoz. Este facto parece sugerir a existência de barreiras impermeáveis que compartimentam o sistema.

A análise da piezometria regional efectuada no mês em que se realizou o ensaio vem confirmar que se trata de um nível diferente, que se enquadra num modelo regional que se caracteriza pela ocorrência de vários níveis suspensos.

No Paúl, local a SW de Vila Viçosa, foi efectuado um ensaio de bombagem sobre mármorees parcialmente dolomitizados, seguido de recuperação. O ensaio teve a duração de 7 horas e foi feito com um caudal constante de aproximadamente 4 l/s.

Os parâmetros hidráulicos foram calculados com base nas leituras efectuadas na captação e num piezómetro que dista 32,5 metros da captação. Os valores de transmissividade, obtidos durante o ensaio de bombagem e durante o ensaio de recuperação (T_r) são muito semelhantes da ordem dos 400 m²/dia. O coeficiente de armazenamento obtido foi de 0.1 %. Durante a recuperação dos níveis não se verificou qualquer efeito de esvaziamento, o que quer dizer que o caudal extraído durante o ensaio (≈ 120 m³) é insignificante em relação ao volume total de recursos que este aquífero comporta.

Com base nos parâmetros estimados podemos ainda calcular o raio de influência das captações através da expressão:

$$R = 1.5 \sqrt{\frac{Tt}{S}}$$

em que: **R** – raio de influência (metros);

T – transmissividade (m²/dia);

S – coeficiente de armazenamento (adimensional);

t – tempo de bombagem (dias)

Para a **Vinha do Ferrador**:

O raio de influência na Vinha do Ferrador para 5 horas de bombagem a um caudal de 700 m³/dia é de 365,3 m, para outros periodos de tempo será:

24 horas-----800 metros

1 semana-----2118 metros

1 mês-----4384 metros

Para o **Paúl**:

Com um caudal de 337 m³/dia e considerando uma transmissividade média de 403 m²/dia o raio de influência para as 7 horas de bombagem ininterrupta é de 514 m. Para outros períodos de tempo seria:

24 horas-----952 metros

1 semana-----2519 metros

1 mês-----5216 metros

Foi igualmente realizada, em Setembro de 1998, uma campanha de ensaios de bombagem nos furos executados pelo IGM com recurso a uma bomba submersível. Desta campanha apenas o ensaio da SDH1-Vila Viçosa produziu resultados, o ensaio realizado na sondagem SDH2- Rio de Moinhos foi abortado ao fim de três horas de bombagem uma vez que o reduzido caudal de extracção da bomba não provocou qualquer rebaixamento no nível.

O ensaio de bombagem seguido de recuperação realizado no furo SDH1-Vila Viçosa, produziu valores de transmissividade muito semelhantes, $T = 68 \text{ m}^2/\text{dia}$ e $73 \text{ m}^2/\text{dia}$ respectivamente.

O ensaio teve a duração de 6 h:15 min. e foi feito com um caudal constante de aproximadamente 0.6 l/s.

A análise da evolução dos níveis não é demonstrativa da existência de qualquer anomalia, no entanto este facto só poderá ser confirmado com a realização de um ensaio de longa duração e utilização de piezómetros.

Os baixos valores de transmissividade obtidos são característicos de um furo situado próximo de formações de baixa permeabilidade, neste caso de metavulcanitos.

A variabilidade dos resultados obtidos pelos diferentes autores e nas campanhas realizadas vem confirmar e reforçar a heterogeneidade do meio no que se refere ao grau de fracturação, carsificação e alternância litológica da sequência vulcano-sedimentar.

◆ Ensaio de bombagem com ar comprimido (Air-Lift)

Os ensaios de bombagem com ar comprimido são frequentemente utilizados no desenvolvimento de sondagens, permitindo obter uma aproximação dos parâmetros hidrogeológicos do aquífero e por outro lado eliminar uma certa percentagem de material fino que não pode nem deve ser retido nos sistemas de filtros da bomba submersível.

O método consiste na injeção de ar na sondagem, que origina a saída da coluna de água. Este processo decorre durante algumas horas, com medições periódicas do caudal (água extraída) e do nível hidrodinâmico.

Com a paragem da injeção de ar temos a recuperação dos níveis, é esta recuperação que deve ser registada o mais rigorosamente possível, uma vez que são os dados do ensaio de recuperação que vão ser utilizados para estimar a transmissividade do aquífero no troço ensaiado.

Este tipo de ensaio foi efectuado em todas as sondagens à mediada que se avançava na perfuração, sendo assim temos valores de transmissividades para diferentes troços de uma mesma sondagem.

6.2 - Piezometria

A realização periódica de medições do nível piezométrico é de extrema importância para o conhecimento do funcionamento hidráulico dos sistemas aquíferos, podendo-se a partir deste estudo retirar algumas ilações no que se refere ao sentido de fluxo, gradiente hidráulico, áreas de recarga e descarga, etc.

A área onde se desenvolvem os trabalhos foi sujeita a coordenação topográfica dos pontos de água (furos e poços). O método utilizado foi o GPS (Global Positioning System), por apresentar vantagens ao nível de precisão altimétrica e planimétrica, tempo de execução e custo. O método permitiu uma precisão altimétrica superior a 5 cm no que se refere à altitude ortométrica e forneceu coordenadas planimétricas com precisão da ordem dos centímetros (Duarte *et al.*, 1997).

O nível das águas subterrâneas varia com o tempo de forma muito diversa. Estas variações podem ser pequenas em aquíferos não explorados, no entanto podem ser muito importantes em aquíferos com núcleos de bombagem intenso (Custódio & Llamas, 1983).

Podemos distinguir dois tipos principais de oscilações piezométricas, segundo Custódio e Llamas, 1983:

- oscilações rápidas cuja duração varia desde menos de um minuto a pouco mais de um dia;
- oscilações de longo período que se repetem com base num ciclo semianual, anual ou de vários anos.

Na área em estudo outro tipo de variação piezométrica pode e deve ser considerada: é o caso da oscilação dos níveis provocada pela extracção de água subterrânea para fins agrícolas e para a exploração de rocha ornamental (tema a desenvolver mais à frente).

Na **tabela 11** está representado o número de pontos de água controlados em cada campanha pelo INAG no anticlinal de Estremoz durante os anos de 1997, 1998 e 1999.

Tabela 11 - Número de pontos de água controlados em cada campanha

	Jul-97	Set-97	Dez-97	Fev-98	Abr-98	Jun-98	Ago-98	Out-98	Jan-99
<i>Número de pontos controlados</i>	80	78	132	114	148	135	141	142	138

A selecção dos pontos nos quais se procedeu à caracterização piezométrica obedeceu a alguns critérios:

- furos/poços inactivos, ou seja que não sejam sujeitos a extracções intensas e contínuas;
- furos/poços que não fiquem nas imediações de pontos sujeitos a extracção intensas e contínuas;
- pontos de água que se encontrem afastados da industria extractiva ou de qualquer outro tipo de actividade susceptível de provocar a variação do nível piezométrico;
- pontos de água com profundidade conhecida.

Nas **figuras 21 a 29** encontram-se representadas as localizações dos pontos de água controlados piezometricamente nas diferentes campanhas, bem como o nível piezométrico determinado.

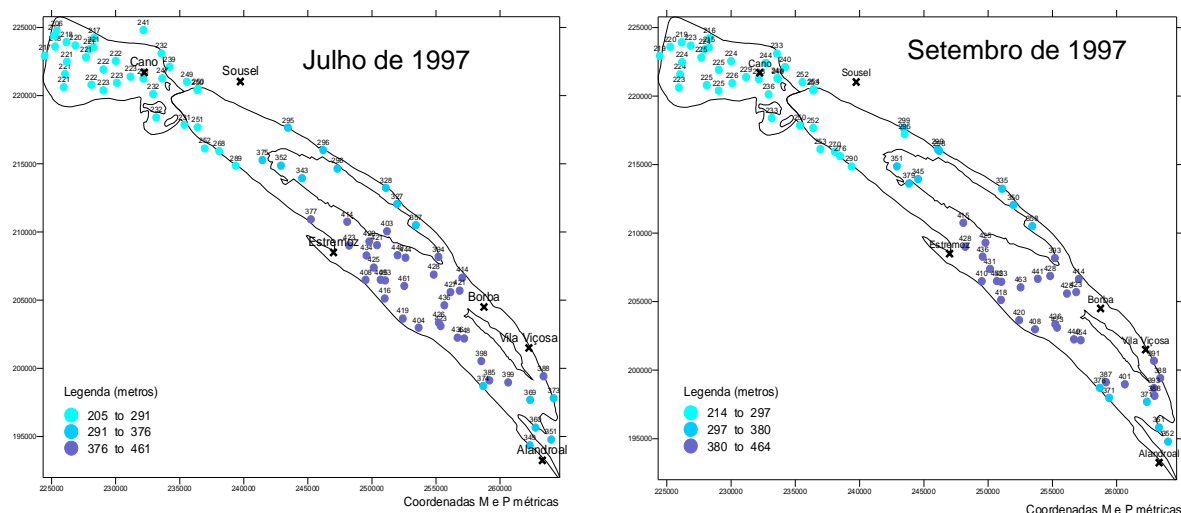


Figura 21 e 22 - Localizações dos pontos de água controlados piezometricamente e nível estático

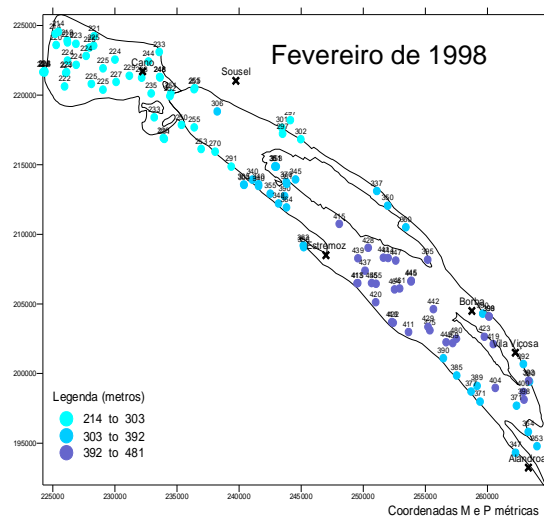
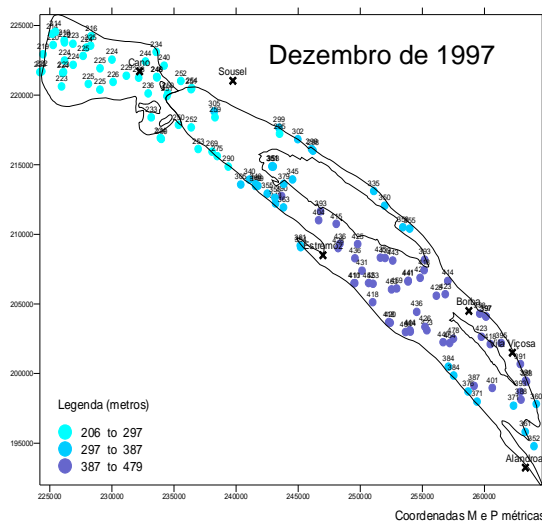


Figura 23 e 24 - Localizações dos pontos de água controlados piezometricamente e nível estático

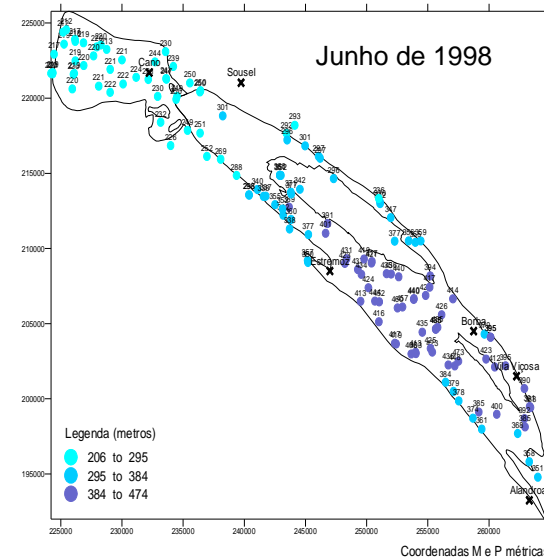
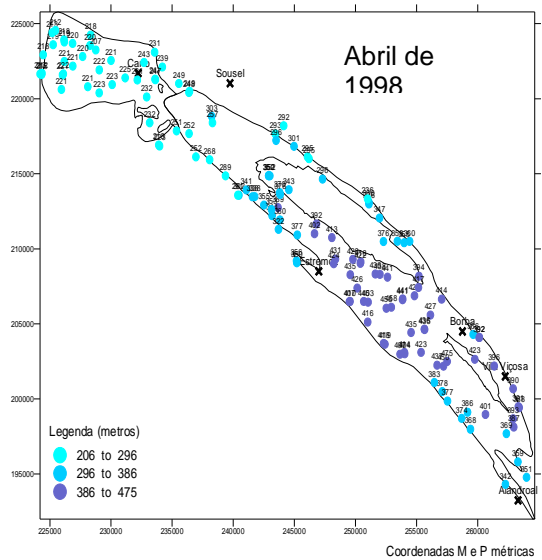


Figura 25 e 26 - Localizações dos pontos de água controlados piezometricamente e nível estático

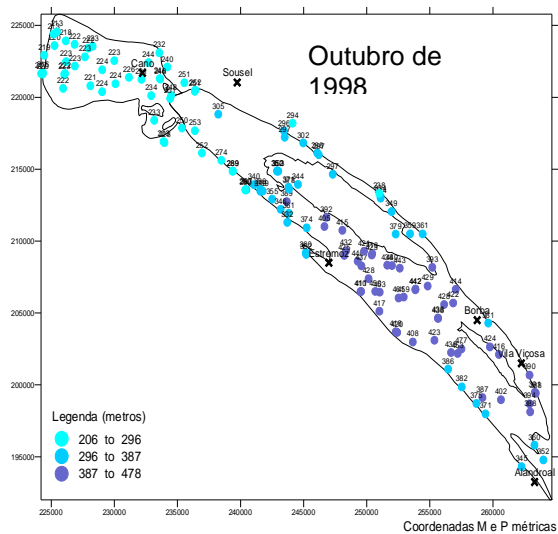
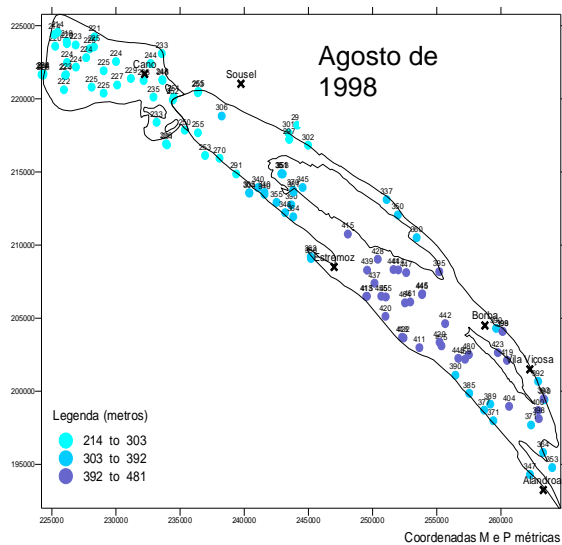


Figura 27 e 28 - Localizações dos pontos de água controlados piezometricamente e nível estático

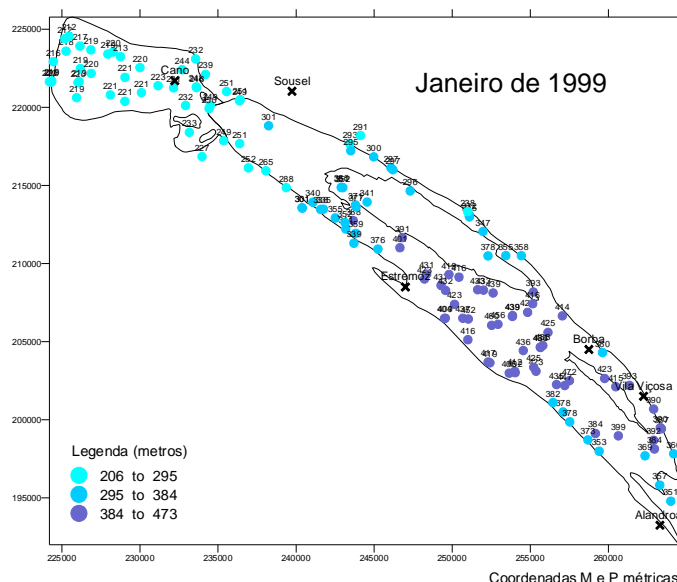


Figura 29 - Localizações dos pontos de água controlados piezometricamente e nível estático

Da análise dos níveis piezométricos das várias campanhas sobre a base cartográfica actualizada (referida no capítulo da geologia) vários aspectos são evidenciados, nomeadamente o controlo litológico e estrutural, a evolução temporal como resposta às variações climáticas e a semelhança de comportamento entre piezómetros. A projecção dos pontos de água demonstra que o controlo litológico sobre os níveis é muito importante verificando-se ressaltos de 10 a 45 m entre pontos que distam 200 a 2000 m e que estão localizados em diferentes litologias. Nesta análise foi possível identificar a existência de níveis suspensos originada pela intercalação dos metavulcanitos.

Dentro da mesma litologia, principalmente nos dolomitos, o nível piezométrico não apresenta grandes ressaltos, a sua variação faz-se de modo gradual dando indicação sobre possíveis sentidos de fluxo.

Verifica-se também que os pontos de água situados na mesma formação litológica apresentam de um modo geral um comportamento temporal semelhante.

Este estudo permite ainda verificar o comportamento das diferentes litologias à recarga. Os mármoreos apresentam variações mais bruscas do nível, o que, não é de estranhar uma vez que estas formações são muitas vezes aflorantes, sem solo de alteração ou coberto vegetal e encontram-se intensamente fracturadas propicias a uma rápida infiltração.

◈ Análise estrutural

A piezometria é uma variável regionalizada (VR) ou seja é uma variável aleatória que se desenvolve no espaço e que possui uma certa estrutura. Por estrutura entende-se uma certa autocorrelação espacial que possa ser avaliada e descrita por uma função de autocorrelação, o semivariograma. Este pode-se definir como o incremento quadrático médio para um vector deslocação, \mathbf{h} , $\rightarrow \gamma(\mathbf{h}) = \frac{1}{2} \text{var} [\mathbf{Z}(\mathbf{x}+\mathbf{h}) - \mathbf{Z}(\mathbf{x})]$

Onde, \mathbf{Z} representa o valor observado da VR, \mathbf{x} a localização num espaço uni, bi ou tridimensional.

O objectivo da análise estrutural é identificar e caracterizar a estrutura subjacente à VR através de um semivariograma experimental. Na análise do semivariograma há dois aspectos importantes a considerar: o comportamento na origem e o comportamento no infinito. O primeiro é um índice de regularidade e continuidade da variável enquanto que o segundo fornece indicações sobre a sua estacionaridade.

A piezometria é de uma maneira geral uma variável regular e não estacionária, ou seja o semivariograma experimental passa na origem e tende a crescer sem limite segundo um modelo potencial, linear ou outro. Neste caso a variável exibe uma tendência ou deriva.

Outro aspecto a considerar na análise estrutural, é a detecção da eventual presença de anisotropia. Esta manifesta-se pela variação nos parâmetros do variograma ou mesmo na forma deste. A anisotropia é típica das VR com deriva como é o caso da piezometria.

Após a determinação da estrutura da piezometria pretende-se estimar os valores da VR em locais onde não se realizaram observações. Esta estimação é feita por um método designado de krigagem. A krigagem é um método de estimação por interpolação linear, que tem em conta a etapa precedente de determinação da estrutura da variável.

Uma vez que estamos na presença de uma variável não estacionária quer a estimação do semivariograma quer a krigagem oferecem dificuldades especiais.

Para além disto o sistema é composto por formações tão distintas como os calcários lacustres polvulentos do Cano e os calcários cristalinos do paleozoico com comportamentos hidráulicos muito diferentes.

Uma das soluções encontradas para contornar o problema da não estacionaridade da piezometria e assim determinar o semivariograma e estimar os valores VR foi considerar uma krigagem por blocos.

Foram então calculados os variogramas experimentais para as diferentes áreas representadas na **figura 30** e a sua análise feita separadamente, para uma situação de águas altas (Abril de 1998) e outra de águas baixas (Agosto de 1998).

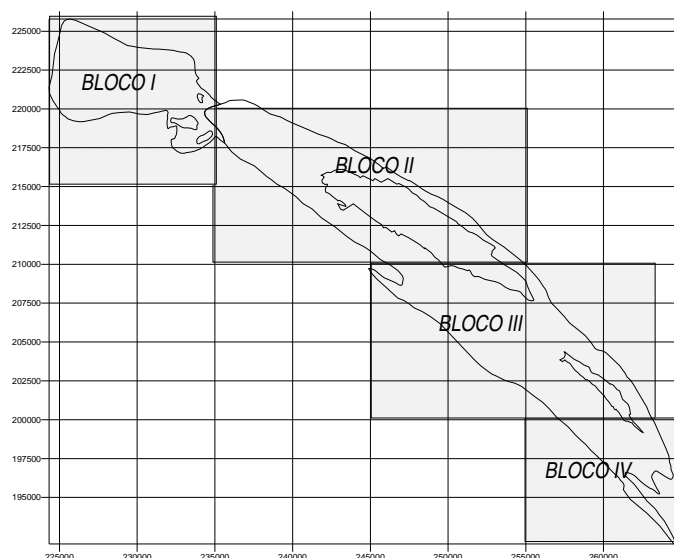
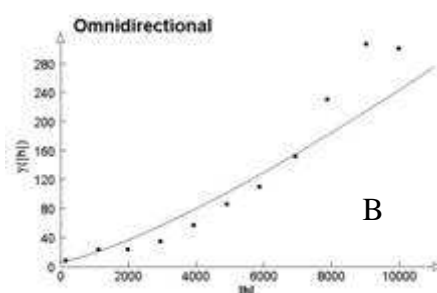
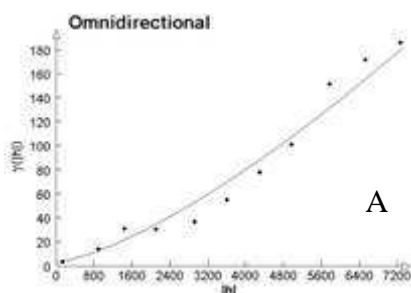


Figura 30 - Divisão do sistema aquífero Estremoz- Cano em blocos para serem tratados do ponto de vista da geoestatística

Bloco I

Neste bloco foram consideradas as medições efectuadas nos calcários do Cano. Os variogramas experimentais em Abril e Agosto de 1998 apresentam as mesmas características.

A análise dos variogramas experimentais (omnidireccionais) permitiu ajustar um modelo de potência com “slope”. Tendo-se ainda verificado um ligeiro efeito de pepita (o semivariograma experimental não passa pela origem). Este efeito poderá resultar do facto do raio de influência da variável ser inferior à distância entre os pontos de observação ou ser devido a erros analíticos, etc.



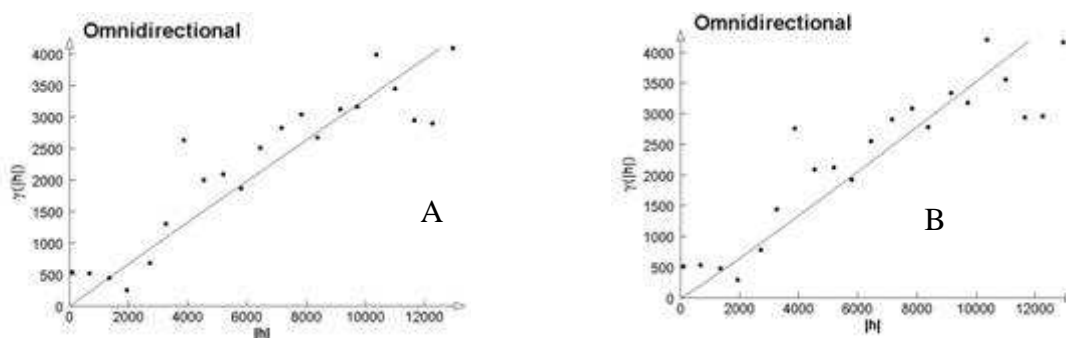
Figuras 31 e 32 - Semivariogramas experimentais da variável piezometria no **Bloco I**, em Abril de 1998 **(A)** e Agosto de 1998 **(B)**

Tabela 12 - Parâmetros estruturais do modelo de potência – BLOCO I

	Potência	Covariância	Slope (metros)
Variograma-Abril /98	1.30	112	0.0018
Variograma-Agosto /98	1.39	116	0.00076

Bloco II

Neste bloco foram consideradas as medições efectuadas nas formações carbonatadas do Paleozoico principalmente dolomitos e xistos do Pré-câmbrio, em 41 pontos. Os variograma experimentais em Abril e Agosto de 1998 são também bastante semelhantes. A análise dos variogramas experimentais (omnidireccionais) permitiu ajustar um modelo de potência com “slope”.



Figuras 33 e 34 - Semivariogramas experimentais da variável piezometria no **Bloco II**, em Abril de 1998 **(A)** e Agosto de 1998 **(B)**

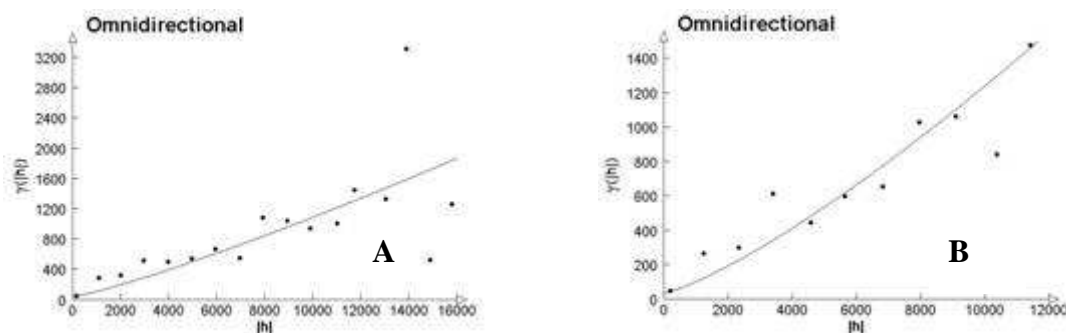
Tabela 13 - Parâmetros estruturais do modelo de potência – BLOCO II

	Potência	Covariância	Slope (metros)
Variograma-Abril /98	0.98	2479	0.396
Variograma-Agosto /98	1.05	2554	0.223

Bloco III

Neste bloco foram consideradas as medições efectuadas nas formações carbonatadas do Paleozóico principalmente dolomitos, em 38 pontos. Os variogramas em Abril e Agosto de 1998 são também bastante semelhantes.

A análise dos variogramas experimentais (omnidireccionais) permitiu ajustar um modelo de potência com “slope”.



Figuras 35 e 36 - Semivariogramas experimentais da variável piezometria no BLOCO III, em Abril de 1998 **(A)** e Agosto de 1998 **(B)**

Tabela 14 - Parâmetros estruturais do modelo de potência – BLOCO III

	Potência	Covariância	Slope (metros)
Variograma-Abril /98	1.18	629	0.02
Variograma-Agosto /98	1.27	635	0.01

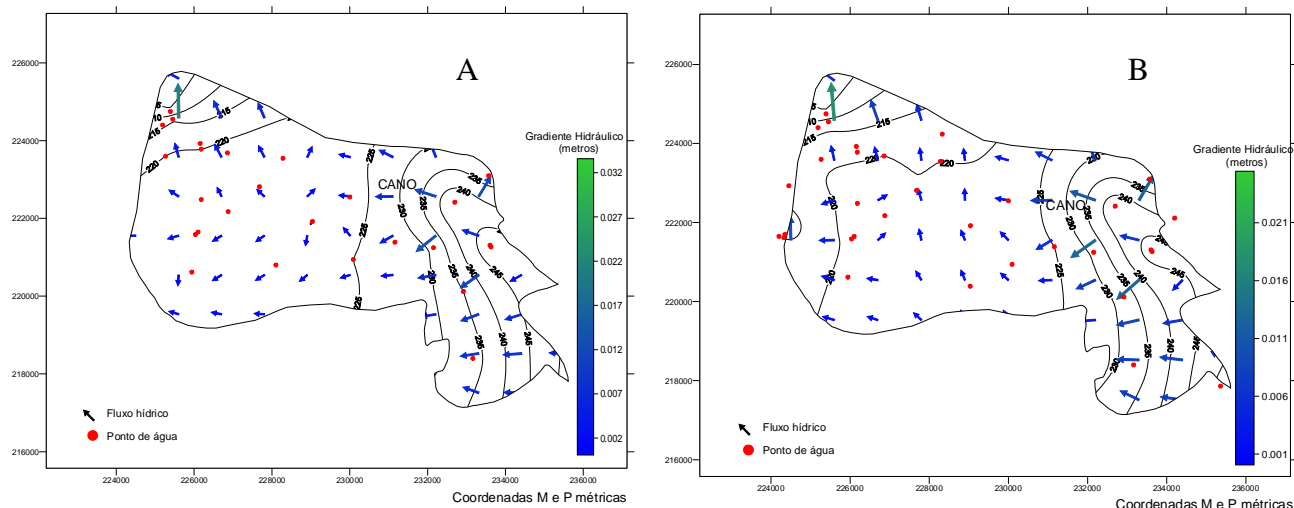
Bloco IV

Neste bloco uma vez que o número de pontos era reduzido, apenas 9, optou-se por não se efectuar análise estrutural, a krigagem seria bastante imprecisa.

Apesar terem sido apresentados apenas os variogramas para as campanhas de Abril e Agosto de 1998 é de referir que os variogramas obtidos nas restantes campanhas apresentam as mesmas características.

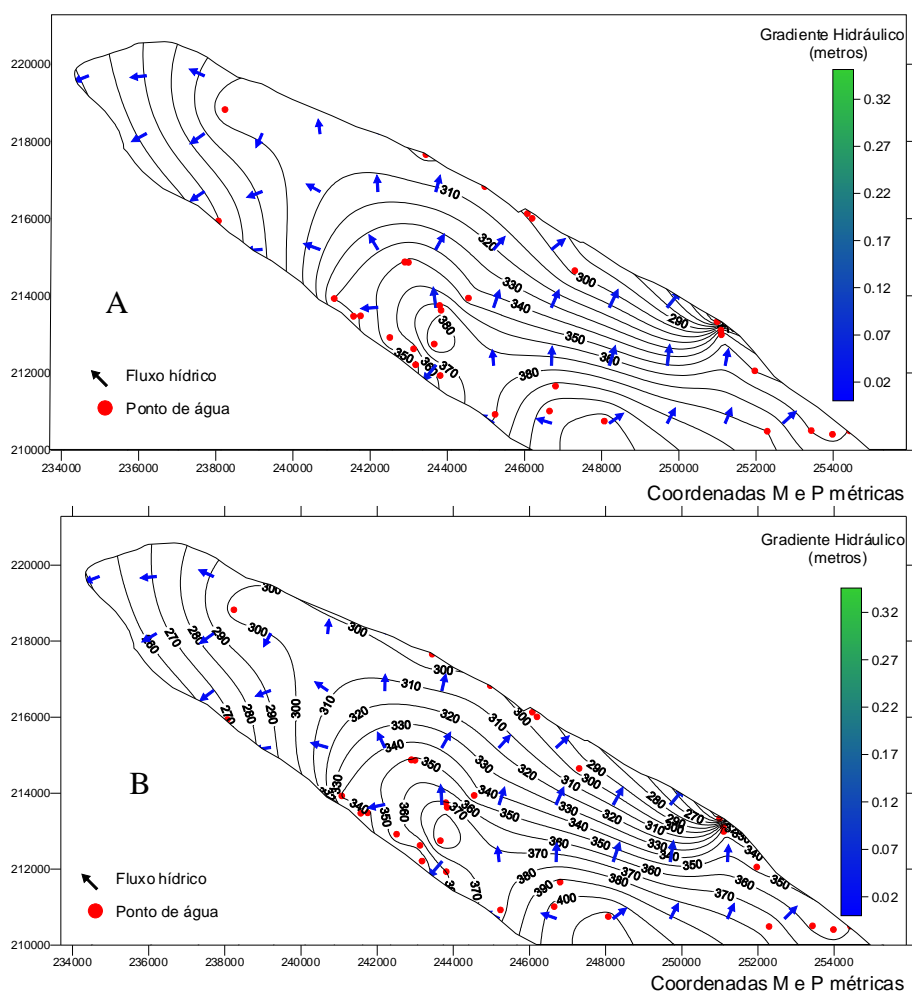
◇ Estimação da variável piezometria

Definido o modelo estrutural realizou-se a estimação por krigagem sobre uma malha de 100 metros e considerando os parâmetros que constam das **tabelas 12 a 14**, obtiveram-se os mapas de isovalores da piezometria para cada bloco, com indicação do gradiente hidráulico.



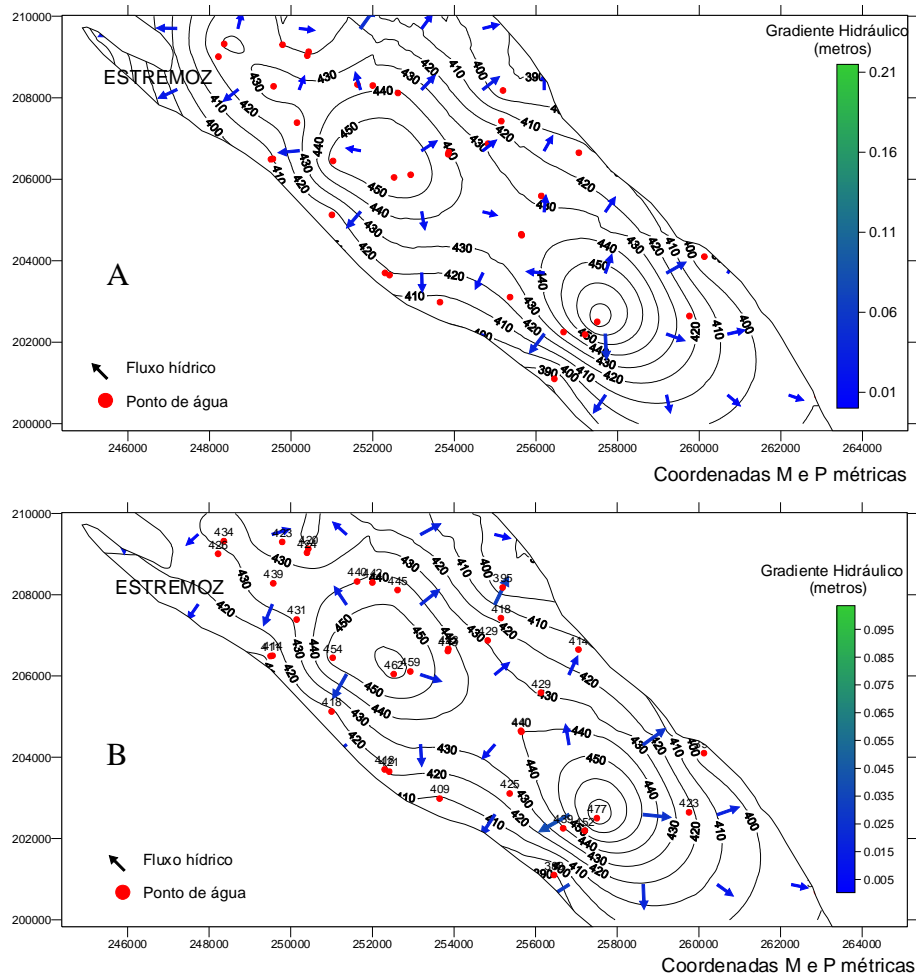
Figuras 37 e 38 - Mapas de isopiezas para o BLOCO I nos meses de Abril **(A)** e Agosto de 1998 **(B)**, obtidos por krigagem do modelo de potência com “slope”

Os mapas de isovalores de piezometria (**figura 37 e 38**) quer para uma situação de águas altas quer de águas baixas indica um gradiente hidráulico entre 0.2% e 1.2%, decrescente para W-NW.



Figuras 39 e 40 - Mapas de isopiezas para o BLOCO II nos meses de Abril **(A)** e Agosto de 1998 **(B)**, obtidos por krigagem do modelo de potência com “slope”

Os mapas de isovalores de piezometria (**figuras 39 e 40**) quer para uma situação de águas altas quer de águas baixas indica um gradiente hidráulico entre 2% e 4.5%, decrescente para NW. Neste bloco a heterogeneidade da distribuição dos pontos medidos faz com que a krigagem seja menos precisa.



Figuras 41 e 42 - Mapas de isopiezas para o BLOCO III nos meses de Abril (**A**) e Agosto de 1998 (**B**), obtidos por krigagem do modelo de potência com “slope”

Os mapas de isovalores de piezometria (**figuras 41 e 42**) quer para uma situação de águas altas quer de águas baixas indica um gradiente hidráulico entre 1% e 6%, decrescente radialmente par os bordos do anticlinal.

◆ Piezometria / Geologia estrutural

Com base no comportamento e distribuição dos níveis piezométricos e na análise estrutural pudemos confirmar hipóteses já levantadas (Costa, 1985 & Midões, 1999) sobre

a tendência geral dos sentidos de fluxo da água subterrânea no sistema aquífero Estremoz-Cano.

Nesta perspectiva o anticlinal pode ser dividido em duas partes. A metade noroeste entre Estremoz e Sousel apresenta uma tendência para os níveis piezométricos diminuírem em direcção ao fecho NW desta estrutura (**figuras 37 e 38**). Esta tendência é particularmente visível no flanco SW onde os níveis diminuem de forma gradual em direcção à região do Cano sem evidenciarem um forte controlo litológico ou estrutural. Este comportamento poderá explicar a origem dos calcários lacustres de idade plistocénica, que constituem a superfície planáltica regular do Cano. Estes terão sido o resultado da precipitação de minerais carbonatados das águas provenientes do anticlinal de Estremoz que teria neste local um ponto de descarga de águas subterrâneas (Costa, 1985).

Nos calcários do Cano esta tendência mantém-se, ou seja o fluxo processa-se de SE para NW, existindo na zona central entre as isopiezas dos 200 e dos 225 m, onde o gradiente é pequeno.

A metade sudeste entre Estremoz e o Alandroal cuja variação dos níveis é mais complexa apresenta na zona centro (**figura 41 e 42**) uma diminuição dos níveis para os bordos da estrutura de forma mais ou menos radial.

Esta zona específica do anticlinal foi analisada em pormenor com base numa campanha realizada pelo IGM onde foram efectuadas 86 medições do nível estático em furos e poços, com o objectivo de tentar esclarecer melhor a variação dos níveis numa zona onde esta é especialmente complexa, na depressão axial existente imediatamente a NW de Borba (**figura 43**). Na figura seguinte está representada a localização dos furos e poços, o nível piezométrico medido e ainda as nascentes controladas durante um ano no que se refere ao seu caudal e parâmetros físico-químicos de campo, por forma a complementar este estudo.

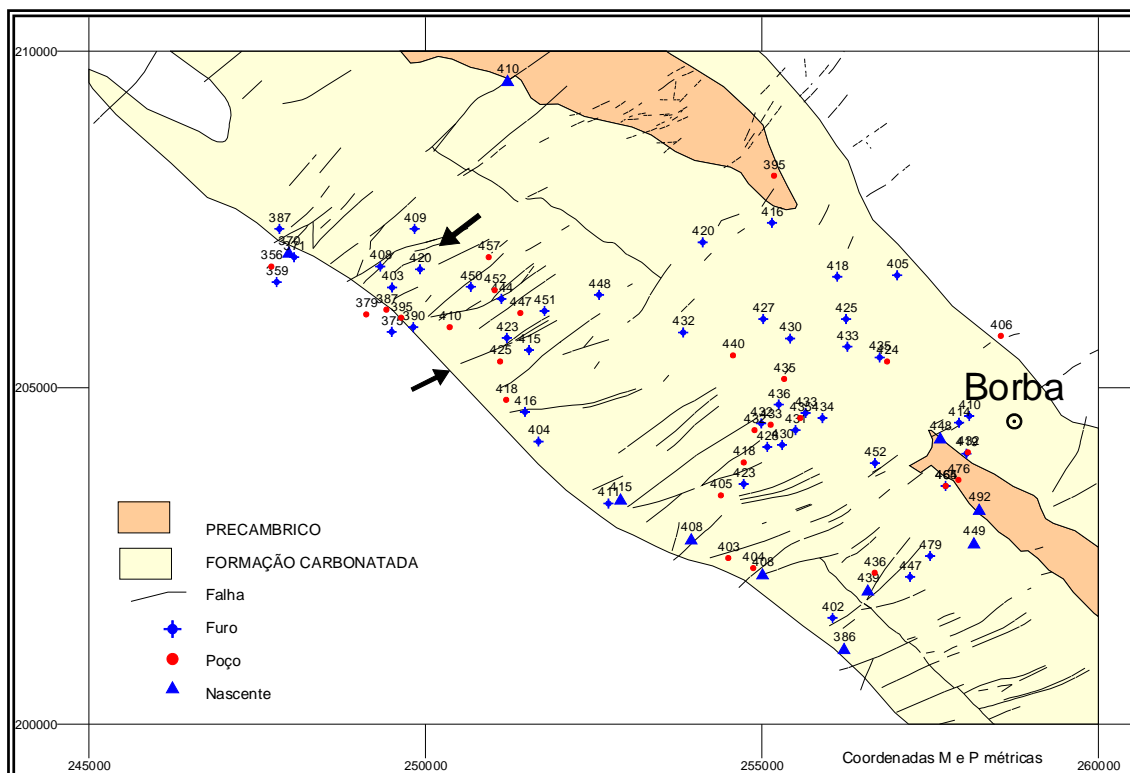


Figura 43 - Localização dos pontos de água medidos em Abril de 1999 e respectivo nível piezométrico

Os dados de piezometria foram conjugados com o estudo de geologia estrutural realizado pelo Lirio, permitindo tirar algumas ilações sobre o funcionamento hidráulico desta zona.

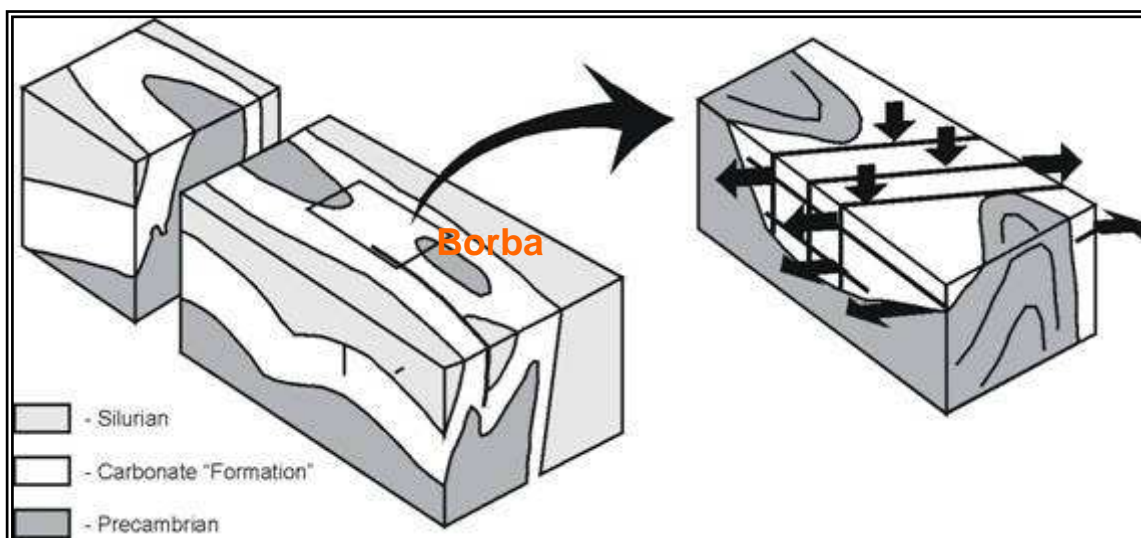


Figura 44 - Bloco diagrama do anticlinal de Estremoz (Dias, *in prep.*)

Esta zona (NW de Borba, **figura 43**) constitui uma extensa área onde aflora a Formação Carbonatada e que por isso se apresenta como um lugar privilegiado para a recarga do aquífero. No entanto, como a geometria do anticlinal tem aqui a forma de uma sela, o

Precâmbrico encontra-se a pequena profundidade, a água é impedida de penetrar a grandes profundidades, escoando de forma a aproveitar a geometria. Sendo assim a água é obrigada a dispersar-se, quer para o flanco NE quer para o flanco SW, situação bem visível no mapa com as direcções de fluxo (**figura 45**). Os canais que vão favorecer esta dispersão são de três tipos: fracturas NE-SW, fracturas sub - horizontais e o próprio contacto entre os carbonatos e o Pré-câmbrico. Esta situação faz com que se verifique um maior número de nascentes nesta zona do que no resto do anticlinal. De referir ainda que as nascentes que se localizam junto ao contacto com os xistos do Silúrico são mais caudalosas do que as nascentes resultantes do contacto entre os xistos do Pré-câmbrico e a formação dolomítica.

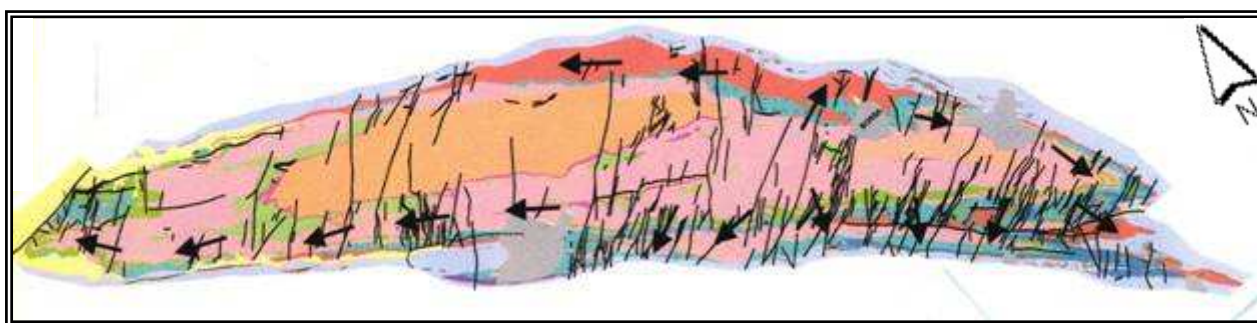


Figura 45 - Representação esquemática das direcções preferenciais do sentido de fluxo da água subterrânea no anticlinal de Estremoz (*in* Midões, 1999)

Da análise da piezometria podemos verificar que:

- De uma maneira geral os níveis medidos nos poços são mais elevados, uma vez que os poços são menos profundos, captando apenas os níveis mais superficiais.
- Algumas das falhas com orientação NW-SE parecem comportar-se como barreira impermeável, uma vez que os níveis medidos de um e outro lado destas estruturas apresentam diferenças de 30 a 70 metros.
- A água circula preferencialmente pelas fracturas com orientação NE-SW. Disto é prova os depósitos quaternários de origem semelhante à dos calcários do Cano que se encontram associados a estas falhas denunciando a existência de circulação subterrânea “antiga” e descarga do sistema. No entanto algumas destas fracturas parecem constituir barreiras hidráulicas (fractura assinalada → na **figura 43**) isolando sectores com diferente valor do nível piezométrico.

◈ Influência da indústria extractiva nos níveis piezométricos

Associado às características intrínsecas destas formações, convém lembrar a importância da actividade de extracção de rocha ornamental, uma vez que esta é responsável pela abertura de grandes “crateras”, colocando em contacto directo o meio subaéreo com o subterrâneo.

A exploração de rocha ornamental constitui uma actividade de natureza antrópica, responsável por variações importantes do nível piezométrico, nomeadamente em dois aspectos:

- potenciação da evaporação directa, por aumento das superfícies freáticas a descoberto no caso das pedreiras abandonadas/inactivas;
- bombagem intensa e contínua dos furos existentes na área de

As pedreiras abandonadas ou seja aquelas onde a qualidade da rocha é menor e que por isso não são exploradas, constituem autênticas “lagoas” com o nível freático muito próximo da superfície, em média a 2 metros da cota da superfície do terreno.

Por sua vez as pedreiras em exploração, algumas com várias dezenas de metros de profundidade, estão secas, porque existe uma bombagem intensa e contínua de água para fora da pedreira de modo a poderem ocorrer os trabalhos de extracção.

Toda esta movimentação de água subterrânea vai originar grandes alterações na superfície piezométrica local e com certeza nos sentidos de fluxo. Os efeitos secundários associados à extracção têm sido sentidos em furos que se localizam perto de zonas de pedreiras, com o rebaixamento do seu nível ou com o completo desaparecimento de água e em nascentes onde os seus caudais diminuem drasticamente ou secam.

Perante os factos apresentados, é muito complicado determinar o nível estático das captações que se localizam na terminação SE do anticlinal onde a exploração de rocha ornamental é mais intensa. Sendo assim, nesta zona, apesar das medições dos níveis efectuadas indicarem que o sentido de fluxo da água subterrânea se processa de NW→SE, não é possível ignorar a grande influencia da indústria extractiva e ter algumas reservas em relação ao sentido de fluxo determinado.

Esta actividade constitui, portanto, uma condicionante espacial e temporal dos níveis piezométricos.

6.3 - Nascentes

As nascentes correspondem a descargas naturais do sistema aquífero que resultam da intercepção do nível piezométrico regional ou local com a superfície topográfica. Estas constituem pontos óptimos de avaliação das características das águas subterrâneas e do comportamento do sistema aquífero.

Tal como já foi referido no capítulo sobre a piezometria as nascentes no anticlinal de Estremoz estão principalmente relacionadas com o contacto entre as formações carbonatadas e as formações impermeáveis (xistos), podendo também ocorrer associadas a zonas fracturadas e/ou carsíficas onde surgem sobre a forma de algares.

Como se pode observar na **figura 46** elas distribuem-se preferencialmente junto ao contacto entre os calcários e os xistos quer os envoltantes quer os do núcleo.

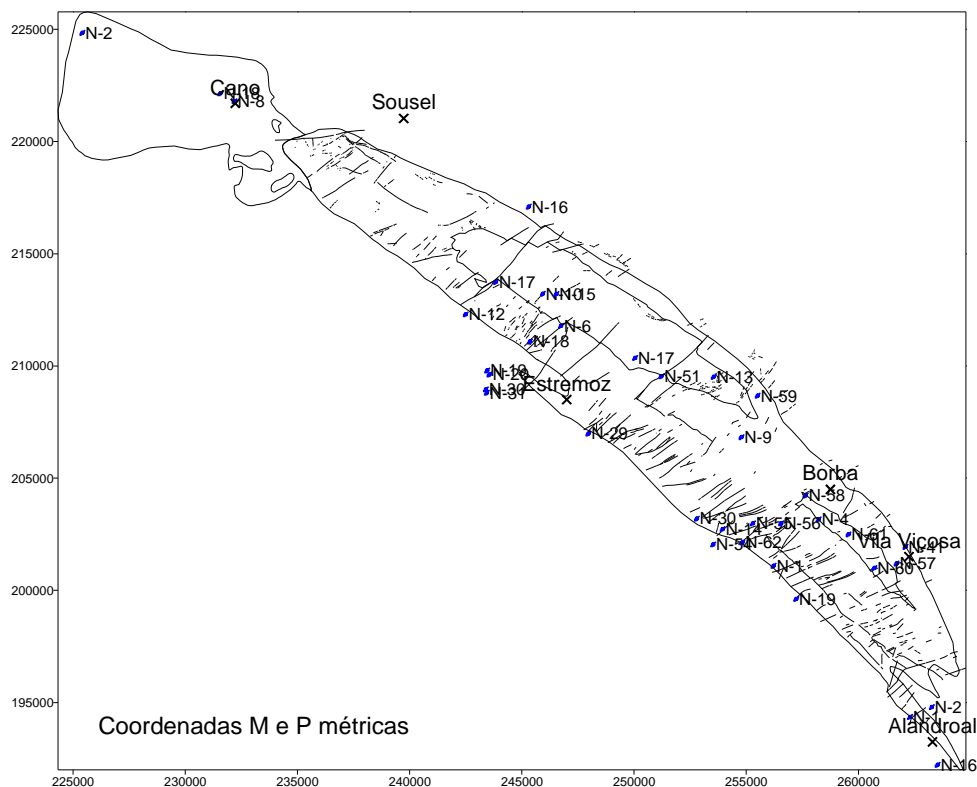


Figura 46 - Localização das nascentes monitorizadas entre Setembro 1998 e Agosto 1999

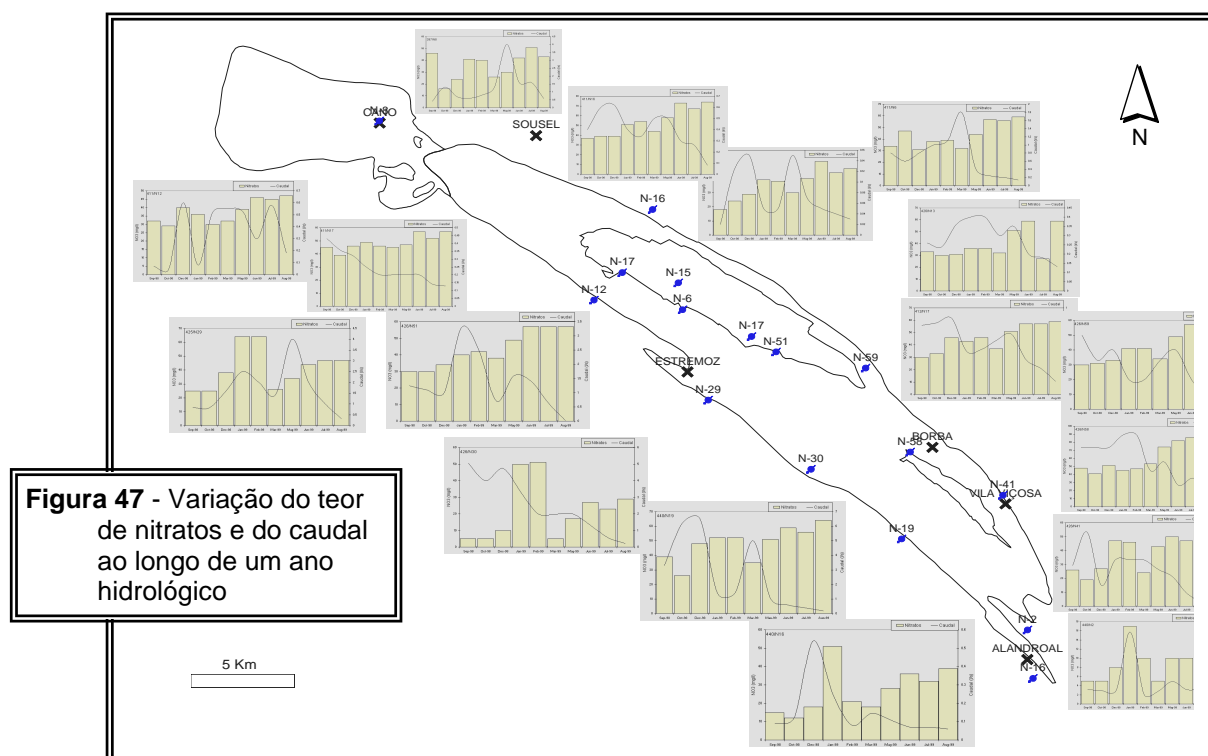
As nascentes localizam-se preferencialmente no flanco SW da metade SE do anticlinal apresentando depósitos cenozóicos associados, o que denota a existência de uma circulação subterrânea “antiga” relacionada com o sistema de fracturas que atravessam o anticlinal com a mesma orientação.

Com o objectivo de analisar a resposta do sistema às variações climáticas e monitorizar a evolução do teor em nitratos na água subterrânea procedeu-se ao controlo de parâmetros físico-químicos e do caudal em nascentes distribuídas ao longo do anticlinal e na planície de Cano. Foram realizadas 10 campanhas que decorreram entre os meses de Setembro de 1998 e Agosto de 1999. Nestas campanhas foram monitorizados os seguintes parâmetros: temperatura, condutividade, pH, teor em nitratos e caudal debitado.

A resposta das nascentes à precipitação foi analisada nas nascentes que se localizavam perto das estações udométricas de Sousel, Estremoz, Vila Viçosa e Alandroal tendo-se verificado que de uma maneira geral a resposta é imediata, ou seja após um período de precipitação o caudal das nascentes aumenta. O caudal destas nascentes além de depender da precipitação é fortemente influenciado pelas extracções que se verificam na região.

Na **figura 47** está representada, a título exemplificativo, a variação do teor de nitratos e a variação do caudal ao longo de um ano hidrológico apenas para 16 das nascentes controladas.

Os dados referentes às 26 nascentes foram tratados estando os estatísticos referentes ao caudal e teor de nitratos representados nas box plots (figuras 48 e 49).



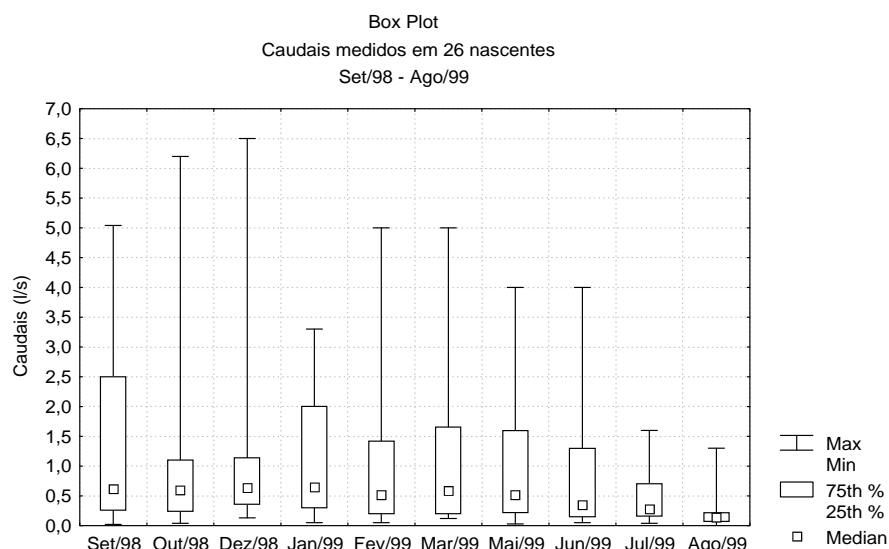


Figura 48 – Principais estatísticos e características das campanhas de monitorização das nascentes no que se refere ao caudal

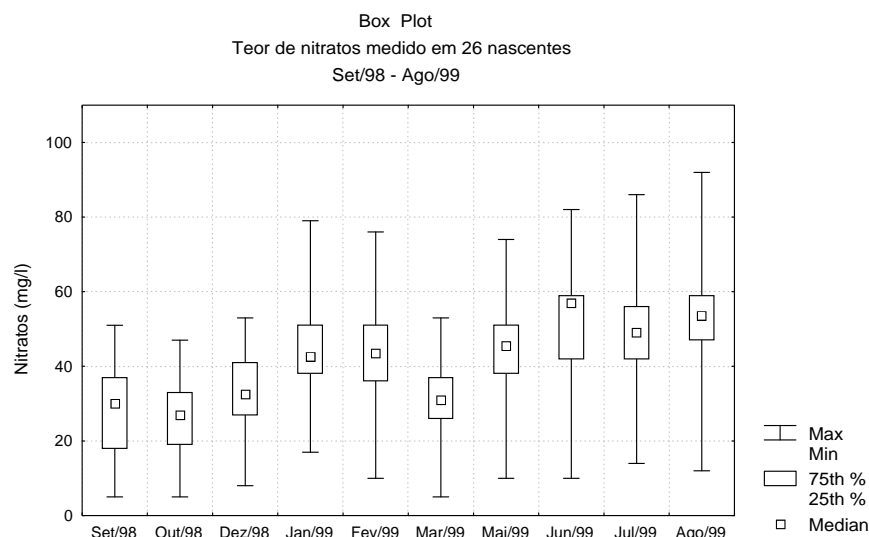


Figura 49 – Principais estatísticos e características das campanhas de monitorização das nascentes no que se refere ao teor de nitratos

7 - Fontes Poluentes

As fontes poluentes associadas à área em estudo são na sua maioria resultantes de actividades antrópicas que, na maior parte das vezes, utilizam as águas superficiais para descarga directa ou indirecta das águas residuais, as quais vão manifestar um efeito específico sobre o aquífero.

Uma fonte poluente pode ser pontual ou difusa, pode apresentar características conservativas ou não e, pode ainda ser temporal ou permanente. Todas estas características conjugadas com as substâncias contaminantes que lhe estão inerentes,

conferem à água subterrânea a tipologia específica do poluente a que foi submetida, pelo que a eliminação da carga nociva, exigirá métodos específicos de controlo e tratamento que, para além de onerosos são de fiabilidade questionável.

Perante as formações carbonatadas em estudo torna-se pertinente dedicar algum tempo à caracterização do binómio infiltração/contaminação. Os fenómenos de carsificação aliados à reduzida espessura de solo de alteração que se verifica em algumas zonas e ainda à intensa fracturação que confere uma elevada permeabilidade em todo o maciço, contribuem para um agravamento das condições de protecção das águas subterrâneas.

Foi realizado um levantamento das fontes poluentes associadas ao anticlinal de Estremoz, com o objectivo de avaliar as principais fontes poluentes na região e relacioná-las com o quimismo das águas subterrâneas. Importa aqui salientar que o inventário efectuado teve por base a consulta dos Planos Directores Municipais e ainda algum reconhecimento de campo.

Na zona de Estremoz-Borba-Vila Viçosa, já houve oportunidade de registar alguns problemas de contaminação da água subterrânea, associadas não só a poluição provocada por suiniculturas e vacarias, mas também a pedreiras cheias de água junto a uma antiga mina de cobre já abandonada (Serra, 1996) (**figura 50**). Também é de referir a existência de lixeiras municipais como as de Borba-Vila Viçosa e de Estremoz implantadas em plena mancha de calcários Paleozóicos, sem qualquer tipo de impermeabilização da área afecta a estes focos poluentes.



Figura 50 – Mina de cobre abandonada

Além das fontes poluentes consideradas, a indústria extractiva e transformadora, fortemente implantadas na região SE do anticlinal de Estremoz, também podem constituir risco de contaminação do sistema aquífero. Este risco de contaminação está associado, eventualmente às águas residuais provenientes da lavra e que são lançadas directamente na rede hidrográfica (**figura 53**), mas sobretudo à exposição do nível freático (**figura 51**).



Figura 51 – Pedreira abandonada

A influência negativa da indústria extractiva do mármore no meio hídrico começa muito cedo com os trabalhos de remoção do solo, abertura de acessos, instalação de equipamentos, etc, continuando com a própria exploração da pedreira. As principais consequências da indústria extractiva prendem-se com (Prozom, 1997):

- aumento da concentração de partículas sólidas em suspensão , provenientes por exemplo das acções de remoção de solo, abertura de acessos, serragem de blocos e erosão de superfícies recentemente descobertas (cavas e escombreciras). Este facto pode causar alterações importantes no grau de turvação das linhas de água.

- poluição provocada por derrame acidental de óleos ou combustíveis.

A influência negativa das pedreiras na qualidade da água faz-se também sentir pela forma de exploração. Ou seja para que os trabalhos se desenvolvam normalmente é necessário que haja o constante rebaixamento do nível piezométrico uma vez que a exploração se faz em profundidade. Este rebaixamento vai permitir que difusão de eventuais poluentes se faça mais rapidamente.

As águas residuais (**figura 52**) foram analisadas por forma a ter uma ideia da contaminação associada a estes efluentes.



Figura 52 - Efluente proveniente da industria extractiva que é lançado na rede hidrográfica

As análises obtidas permitiram verificar que os efluentes, provenientes da actividade extractiva, não constituem, à primeira vista, uma fonte de contaminação das águas subterrâneas. No entanto, convém não esquecer, que apenas foram amostrados 4 pontos e que a composição das referidas águas pode variar consoante os diferentes processos utilizados num dia de lavra.

Os efluentes provenientes da indústria extractiva, e por vezes reutilizados na agricultura, apresentam, uma qualidade mínima aceitável para a rega; com excepção do ião bicarbonato e dos nitratos, que ultrapassam o Valor Máximo Recomendável (VMR) definido pela legislação em vigor (Decreto-Lei nº 236/98 de 1 de Agosto). De referir ainda que estas águas apresentam uma grande concentração das partículas em suspensão e que ao serem lançadas nas linhas de água podem afectar a fauna e flora naturais.