

EXCERTO DO RELATÓRIO TÉCNICO

Sistema Aquífero Monforte – Alter do Chão

(Janeiro de 2001)

Judite Fernandes

Com a colaboração de Alain Francés na produção de cartografia temática

SISTEMA AQUÍFERO DE MONFORTE-ALTER DO CHÃO

1 - Enquadramento hidrogeológico

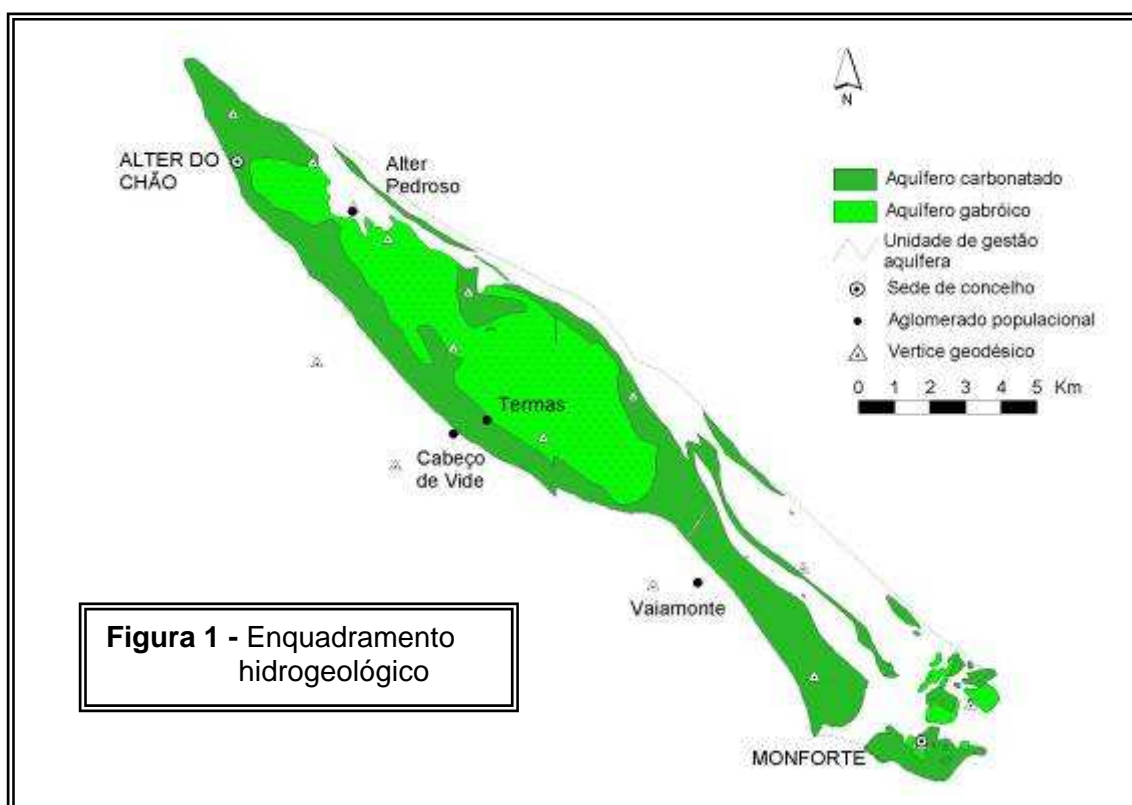
O sistema aquífero Monforte-Alter do Chão possui uma forma elipsoidal alongada segundo a direcção NW-SE, resultando da ligação de um aquífero central e de um aquífero periférico envolvente (**figura 1**). O aquífero periférico, com uma área aproximada de 39 Km², têm como suporte litológico os calcários e dolomitos cristalinos. O aquífero central, com uma área de 30 Km², é constituído por rochas básicas e ultrabásicas e corneanas de contacto. A área de afloramento das formações aquíferas é de 69 Km². No entanto como aquelas se apresentam nalguns locais bastante segmentadas optou-se por definir uma envolvente, que funciona como unidade de gestão do sistema, com cerca de 100 Km².

O sistema é livre em ambas as formações que o suportam, apresentando características do tipo cársico-fissurado nos calcários e dolomitos, e do tipo fracturado, nas formações gabróicas.

É recarregado directamente através da precipitação não parecendo existir qualquer cedência de água a partir das formações encaixantes.

Possui uma descarga natural durante todo o ano, através de nascentes, que se situam, essencialmente, ao longo do contacto entre o complexo básico e os calcários, e entre os últimos e os xistos, no bordo SW da estrutura.

O controlo estrutural faz-se sentir a dois níveis. A um nível regional a orientação geral do sistema, NW-SE, é devida às principais estruturas geradas durante as fases dúcteis da orógenia Varisca. No entanto, é o sistema de fracturas gerado durante os episódios frágeis tardi-variscos (principalmente NNE-SSW e ENE-WSW), que vai condicionar os escoamentos superficial e subterrâneo.



2 – Climatologia

2.1 – Introdução

A caracterização climática teve como principal objectivo estimar o volume de recursos hídricos disponíveis na região e quantificar as entradas anuais no sistema aquífero.

2.2 - Ocupação climatológica e pluviométrica no Sistema

2.2.1 - Tipo e organização de dados

As estações disponíveis na área são apenas udométricas e situam-se em Alter do Chão, Cabeço de Vide e Monforte (**Quadro 1**). A estação climatológica mais próxima situa-se no Crato-Chança. Os dados disponíveis, cedidos pelo INAG, referem-se ao período compreendido entre o início de funcionamento da estação e o ano de 1996 e 1997. As séries não estão completas existindo algumas lacunas mensais em determinados anos hidrológicos.

Quadro 1 – Estações disponíveis no sistema aquífero Monforte-Alter do Chão

Código INAG	Designação	Coordenadas		Altitude (m)	Tipo de Estação	Início de Funcionamento
		M	P			
18L/01	Alter do Chão	238 748	250 129	270	Udométrica	1910/11
19L/01	Cabeço de Vide	247 180	240 368	398	Udométrica	1931/32
19M/01	Monforte	259 856	231 788	275	Udométrica	1910/11
18K/01	C. Expe. Crato- Chança	226 932	253 996	171	Climatológica	1971/72

A estação de Alter do Chão tem incompletos os anos de 1910/11, de 1933/34 a 1936/37, 1939/40 e 1959/60. A estação de Monforte não possui completos os anos hidrológicos de 1910/11, 1912/13, 1914/15, de 1925/26 a 1927/28. A estação de Cabeço de Vide não tem lacunas.

2.3 - Caracterização e Classificação climática

2.3.1 - Variáveis e metodologias aplicadas

◈ Precipitação

- Metodologias aplicadas

A precipitação total em cada ano hidrológico para as estações consideradas pode ser visualizada nas figuras seguintes. Verifica-se que na estação de Alter do Chão os anos mais secos reportam-se a 1913/14, 1944/45 e 1957/58 nos quais a precipitação anual não excedeu os 260 mm (**figura 2**).

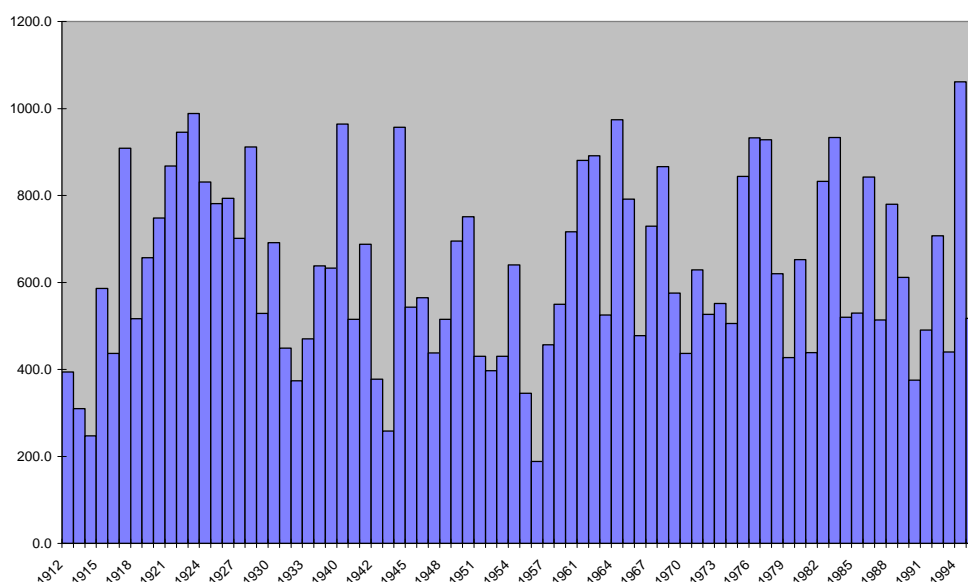


Figura 2 – Evolução da precipitação na estação de Alter do Chão

Na estação de Cabeço de Vide os anos mais secos não excederam os 370 mm e correspondem aos anos de 1944/45, 1964/65 e 1982/83 (**figura 3**).

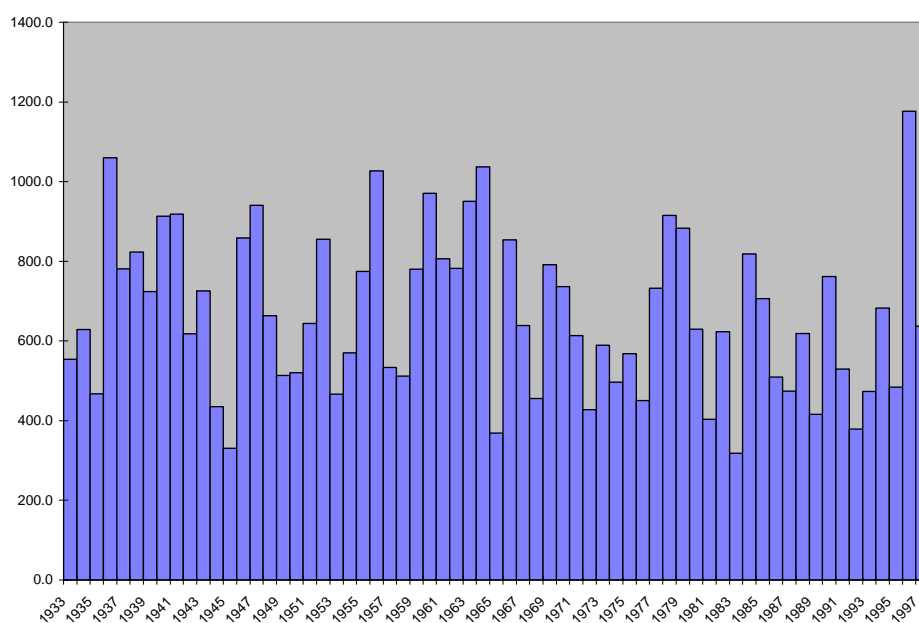


Figura 3 – Evolução da precipitação na estação de Cabeço de Vide

Na estação de Monforte os anos mais secos foram os de 1917/18, 1919/20, 1928/29, 1944/45 e 1994/95 (**figura 4**). A precipitação total não excedeu os 300 mm.

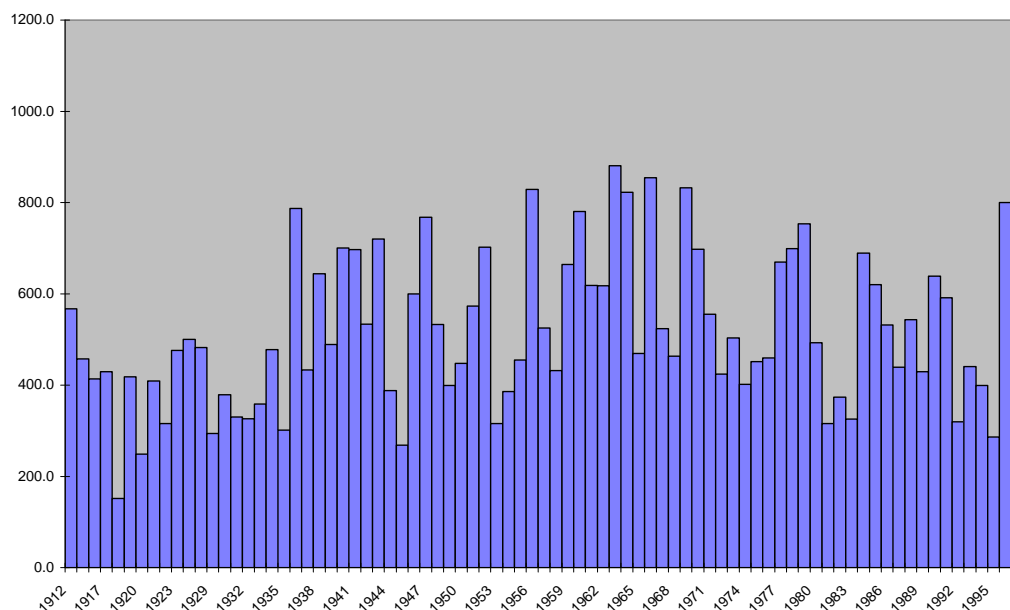


Figura 4 – Evolução da precipitação na estação de Monforte

Pode-se concluir que a variável precipitação apresenta uma enorme variabilidade espacial. Estações muito próximas em termos espaciais possuem valores de precipitação muito diferentes que se traduz por exemplo nos diversos anos secos apresentados por cada estação.

Apesar deste facto efectuou-se o cálculo da precipitação média anual para o sistema a partir das três estações utilizando-se apenas os anos hidrológicos que não apresentavam lacunas. Não se procedeu ao completamento das séries de precipitação, uma vez que se considerou que os dados dos anos hidrológicos completos eram suficientes para obter a precipitação média anual. As metodologias utilizadas foram a média aritmética e os polígonos de Thiessen.

- Precipitação média anual

O valor obtido para a precipitação média anual calculado pelo método da média aritmética é de 604 mm (**quadro 2**).

Quadro 2 - Precipitação média anual obtido pela média aritmética

Código INAG	Designação	Precipitação média anual (mm)
18L/01	Alter do Chão	627,3
19L/01	Cabeço de Vide	666,9
19M/01	Monforte	517,9
Média 604 mm		

- Polígonos de Thiessen

Definiram-se as áreas de influência de cada estação através dos polígonos de Thiessen (figura 5).

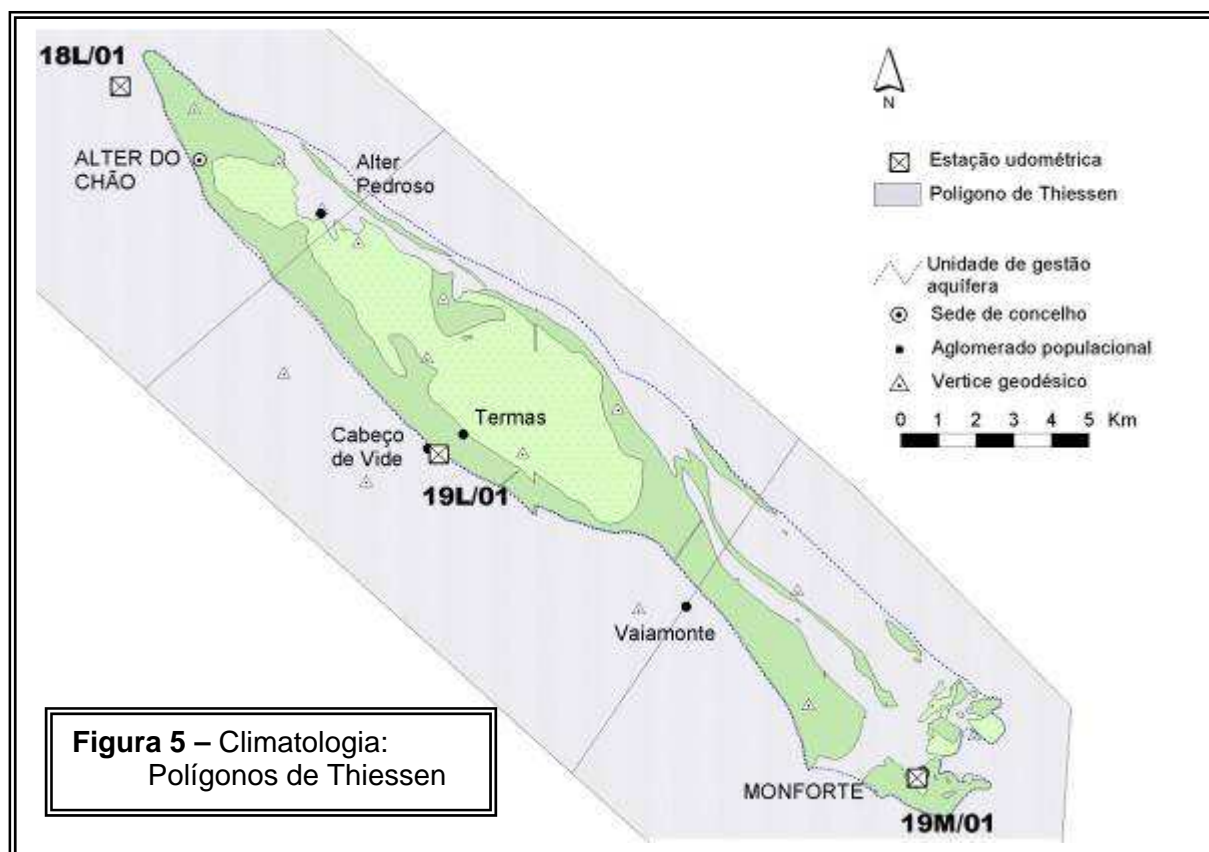


Figura 5 – Climatologia:
Polígonos de Thiessen

Calcularam-se as áreas de cada polígono no sistema e determinou-se o coeficiente área polígono de Thiessen / área total do sistema (**quadro 3**). A Precipitação média anual calculada por este método é de 631 mm.

Quadro 3 - Precipitação média anual obtido pelo método dos polígonos de Thiessen

Código INAG	Designação	Área_Pol_Thiessen (metros)	A_PT/A_Tot	Prec_med_anual (mm/ano)	Total
18L/01	Alter do Chão	10472906.43	0.15142803	627.3	95.0
19L/01	Cabeço de Vide	44762686.74	0.64722486	666.9	431.6
19M/01	Monforte	13925357.69	0.20134711	517.9	104.3
	Área Total	69160950.86	Precip_med_anual (mm/ano)		630.9

◇ Temperatura

Para avaliar os valores médios da temperatura do ar recorreu-se à estação climatológica de Crato-Chança pelo facto de apresentar a maior proximidade com o sistema. Utilizaram-se 19 anos hidrológicos completos. As temperaturas médias mensais para os 19 anos podem ser visualizadas na **figura 6**. Os meses que apresentam temperaturas mais elevadas são os meses de Julho e Agosto e as mais baixas os meses de Dezembro, Janeiro e Fevereiro. A amplitude térmica no ano estima-se em 15 °C. A temperatura média anual é 15.5 °C.

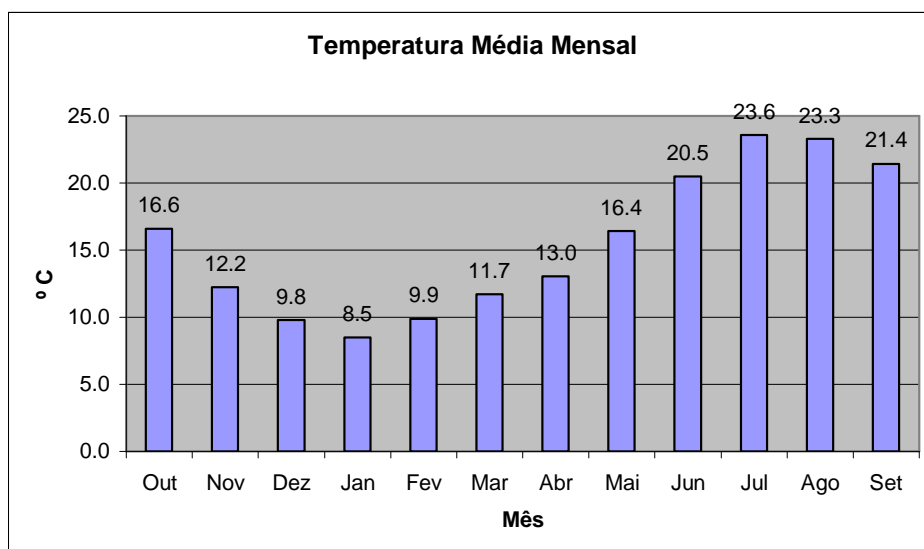


Figura 6 – Distribuição da temperatura média mensal na estação de Crato-Chança

◈ Evapotranspiração Potencial e Real

Para estimar a evapotranspiração potencial e real utilizaram-se os dados da estação climatológica de Crato-Chança. A estação entrou em funcionamento no ano de 1971/72, dispondo de 27 anos completos para os dados de precipitação e 19 anos completos para os dados da temperatura. Recorreu-se ao programa CEGEVAP de Almeida (1979) para calcular a evapotranspiração potencial e real, pelo método de Thornthwaite (1948), Turc e Coutagne (1955). Para aplicar o método de Thornthwaite considerou-se uma capacidade de campo de 100 mm. Os resultados obtidos por este método encontram-se expressos no **quadro 4**. A evapotranspiração real é de 471 mm.

Quadro 4 – EVP e EVR calculadas pelo método de Thornthwaite

Mês	Temperatura (° C)	Precipitação(mm)	EVP (mm)	EVR (mm)
Outubro	16.6	62.9	63.5	62.9
Novembro	12.2	98.3	32.5	32.5
Dezembro	9.8	108	23	23
Janeiro	8.5	88.6	19	19
Fevereiro	9.9	76.3	21.6	21.6
Março	11.7	48.4	38.9	38.9
Abril	13	50.8	47.7	47.7
Maio	16.4	49	80	80
Junho	20.5	28.9	111.4	97.9
Julho	23.6	5.9	145.9	5.9
Agosto	23.3	6.1	133.7	6.1
Setembro	21.4	35.3	99.4	35.3
ANUAL	15.6	658.5	816.6	470.8

A evapotranspiração real calculada pelo método de Turc é de 502 mm e pelo método de Coutagne é 513 mm.

Estes valores reportam-se à estação de Crato-Chança contudo podem ser indicadores da ordem de grandeza da EVR no sistema aquífero.

◊ Escoamento superficial

Efectuou-se o cálculo do balanço sequencial mensal de água no solo para a estação de Crato-Chança por forma a estimar o escoamento superficial. Aplicou-se o método de Thornthwaite e Matther. Os resultados encontram-se expressos no **quadro 5** e na **figura 7**.

Quadro 5 – Resultados obtidos no balanço sequencial mensal de água no solo

Mês	T(°C)	P (mm)	ETP (mm)	ETR (mm)	P-ETP	PA	AS (mm)	D (mm)	S (mm)
Outubro	16.6	62.9	63.5	62.9	-0.6	-445.8	1.2	1.4	0
Novembro	12.2	98.3	32.5	32.5	65.8		67.0	0	0
Dezembro	9.8	108	23	23	85		100.0	0	52
Janeiro	8.5	88.6	19	19	69.6		100.0	0	69.6
Fevereiro	9.9	76.3	21.6	21.6	54.7		100.0	0	54.7
Março	11.7	48.4	38.9	38.9	9.5		100.0	0	9.5
Abril	13	50.8	47.7	47.7	3.1		100.0	0	3.1
Maio	16.4	49	80	80	-31	-31	73.3	0	0
Junho	20.5	28.9	111.4	97.9	-82.5	-113.5	32.1	13.5	0
Julho	23.6	5.9	145.9	5.9	-140	-253.5	7.9	140	0
Agosto	23.3	6.1	133.7	6.1	-127.6	-381.1	2.2	127.6	0
Setembro	21.4	35.3	99.4	35.3	-64.1	-445.2	1.2	64.1	0
ANUAL	15.6	658.5	816.6	470.8				346.6	188.9

P - Precipitação

ETP - Evapotranspiração Potencial

ETR - Evapotranspiração Real

PA - Perda de água potencial acumulada desde o início do período seco

As - Água no solo

D - Deficit hídrico

S - Superavit hídrico

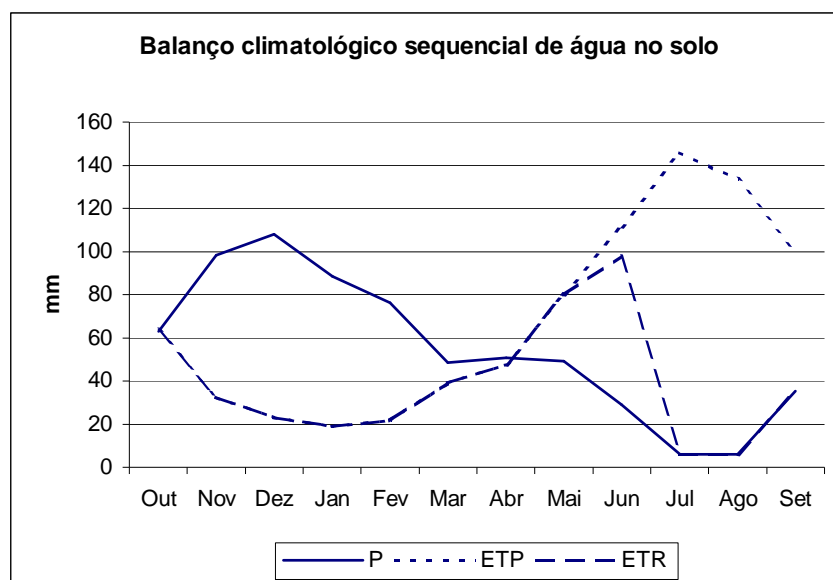


Figura 7 – Gráfico do balanço sequencial mensal de água no solo

O escoamento superficial estima-se em 189 mm/ano.

Verifica-se que existe um superavit hídrico no período de Dezembro a Abril e um déficit hídrico no período de Junho a Outubro.

2.3.2 - Classificação Climática

A classificação climática segundo Thornthwaite é C1 B2 s2 a' o que significa que estamos em presença de um clima sub-húmido seco, 2º mesotérmico, com superávit de água grande no inverno e pequena eficácia térmica no verão.

2.4 - Infiltração

A estimativa deste parâmetro é complexa e para ser bem sucedida terá de envolver a monitorização das diversas variáveis do ciclo hidrológico, a aplicação de modelos do escoamento superficial, o conhecimento das características dos solos e das espécies vegetais presentes, entre inúmeros outros, implicando recursos científicos e técnicos que não se enquadram no âmbito do presente projecto.

Deste modo tentou-se uma estimativa deste parâmetro recorrendo a métodos mais expeditos como é o caso do balanço de cloretos.

Efectuaram-se 18 análises físico-químicas a amostras de água da chuva colhidas em Monforte e Alter do Chão. A média de cloreto obtida para Monforte é 2.04 mg/L e para Alter do Chão é 2.11 mg/L. Como as amostras de água da chuva se reportam essencialmente ao período de águas altas de 97/98 seleccionaram-se pontos de água com análises químicas deste período e tanto quanto possível afastados de origens de contaminação por cloretos (parqueamento de gado, fossas, etc.). A média do cloreto em 22 amostras de água subterrânea é 15.97 mg/L. A infiltração eficaz calculada para Monforte é 12.5% e para Alter do Chão é 13%. Face aos resultados obtidos por outros autores em sistemas aquíferos semelhantes o valor de 13% parece estar subestimado.

2.5 - Balanço Hídrico

Admitindo que a precipitação média anual no sistema aquífero, ponderada pelo método de Thiessen, é de 631 mm e que 13% da precipitação ocorrida corresponde à infiltração eficaz, estima-se a recarga em:

$$631 \text{ mm (Precip.)} \times 69160951 \text{ m}^2 \text{ (área do sistema)} \times 0.13 \text{ (Inf. Eficaz)} = 5673272811 \text{ l/ano}$$

A recarga na totalidade do sistema seria de 5,67 hm³/ano.

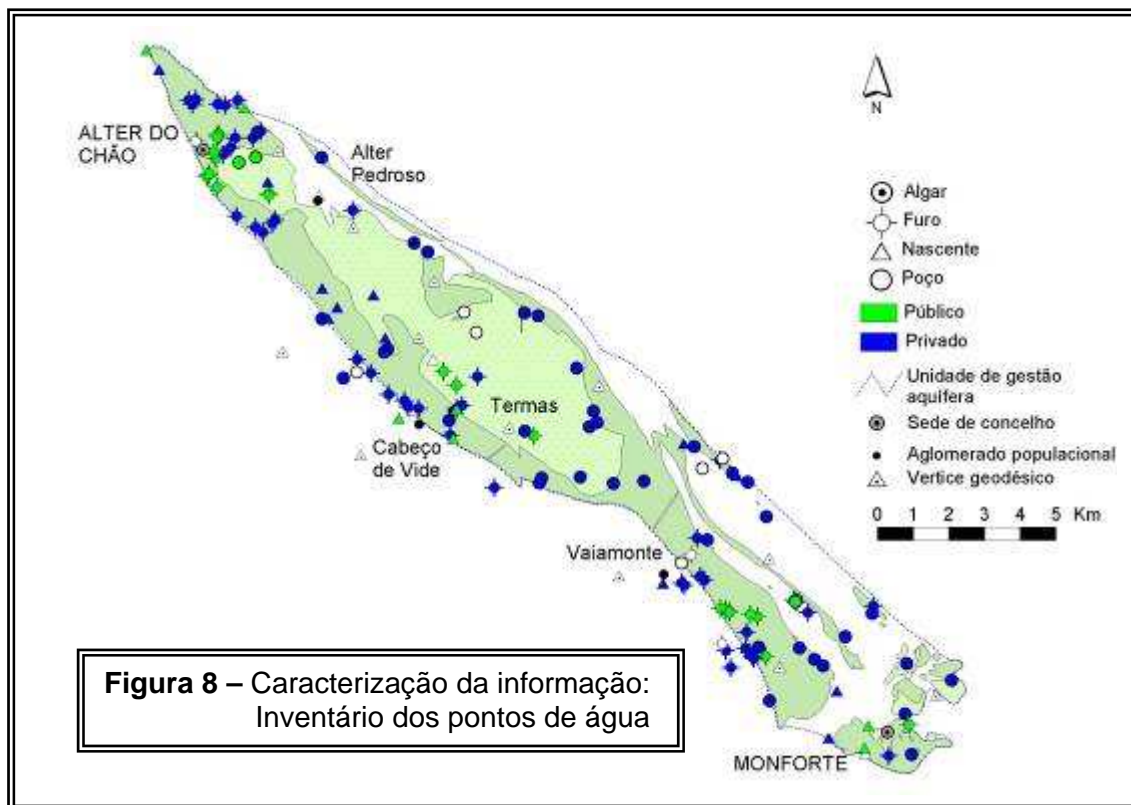
3 – Caracterização da informação e inventário de pontos de água

A informação disponível para este estudo teve proveniências diversas. Por um lado procedeu-se a uma compilação bibliográfica ao nível de estudos anteriores de natureza geológica e hidrogeológica, e por outro, pesquisou-se exaustivamente os relatórios de furos de captação de água já efectuados, junto das Câmaras Municipais, INAG, DRA Alentejo e IGM. Os trabalhos hidrogeológicos desenvolvidos nesta área são escassos e resumem-se a três referências, nomeadamente Pais Quina (1997), Marques da Costa (1995) e Monteiro e Silva (1995). Os relatórios de furos, embora escassos, permitiram obter dados de produtividades, níveis piezométricos, profundidade dos níveis captados, logs litológicos, ensaios de bombagem e dados de química das águas.

Procedeu-se ainda à compilação dos dados de campo do inventário existente no IGM e nos trabalhos de campo completou-se o inventário.

Actualmente encontram-se inventariados no sistema 147 pontos de água, 5 sondagens e 3 algarés. Do total de pontos de água 79 correspondem a furos, 46 a poços e 22 a

nascentes. A sua distribuição espacial encontra-se expressa na **figura 8**. Do total de pontos de água 20% são para abastecimento público, 77% para abastecimento particular e 3% para monitorização do sistema aquífero.



4 – Caracterização e descrição hidrogeológica - HIDRODINÂMICA

4.1 – Caracterização da informação disponível

A partir dos 147 pontos inventariados estabeleceu-se uma rede de monitorização piezométrica (**figura 9**), constituída por 52 pontos de água espacialmente distribuídos e 5 piezómetros, 3 dos quais construídos para o efeito e 2 cedidos por um particular e pela Câmara de Alter.

Efectuaram-se periodicamente 11 campanhas de medições do nível piezométrico, e dos parâmetros temperatura, condutividade, pH, potencial redox e nitratos, nos meses de Julho, Agosto de 1997, Fevereiro, Junho, Outubro e Dezembro de 1998, Abril, Junho, Setembro, Novembro de 1999 e Março de 2000.

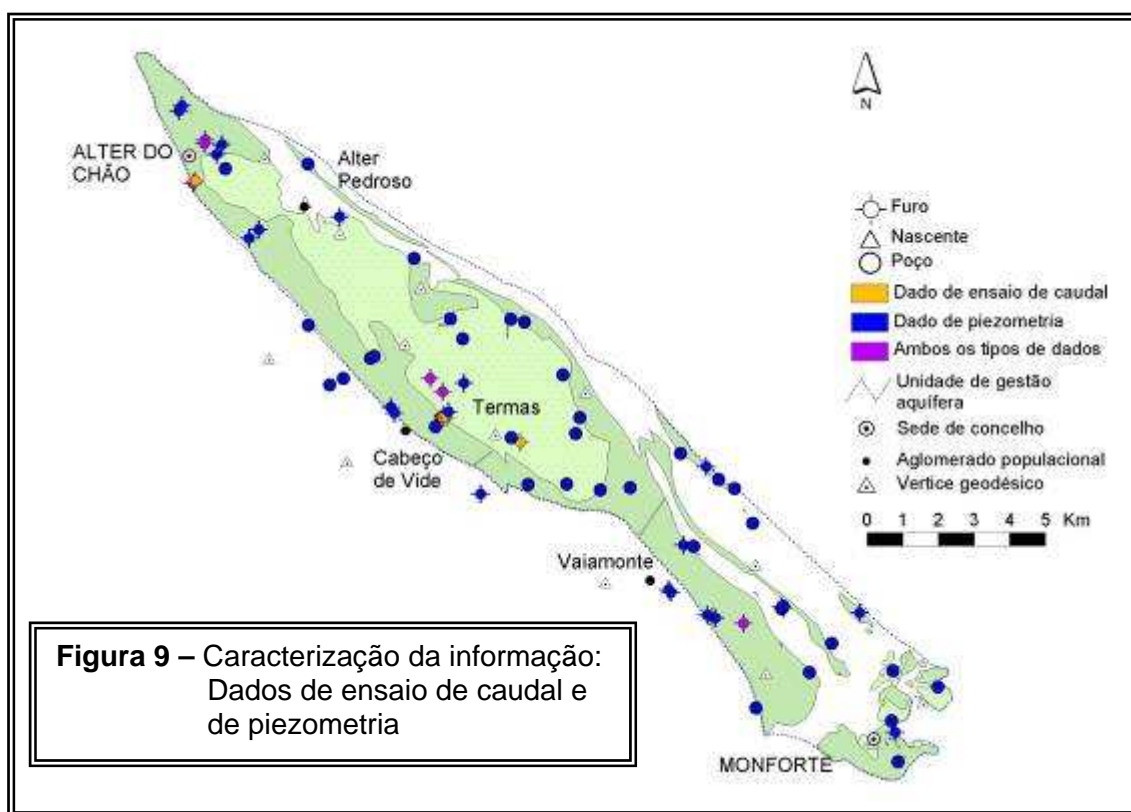
Realizaram-se 3 sondagens de prospecção hidrogeológica e construíram-se piezómetros, com diagrfias eléctricas e nucleares e 6 ensaios de air lift.

Equiparam-se 4 piezómetros com sondas automáticas de aquisição de níveis em registo horário.

Instalou-se um udómetro junto a Vaiamonte em registo contínuo.

Realizou-se 1 ensaio de bombagem com bomba eléctrica submersível no Monte dos Esquerdos.

Realizaram-se campanhas de geofísica utilizando o VLF-EM e definiram-se locais favoráveis à construção de furos.



4.2 – Piezometria

A análise da evolução espaço-temporal da piezometria, recorrendo à articulação de diversas técnicas geoestatísticas, permitiu clarificar o modelo de circulação do sistema aquífero Monforte-Alter do Chão.

Num aquífero livre a superfície piezométrica tende a acompanhar o modelado topográfico. Com efeito, ao projectar as cotas topográficas *versus* as cotas dos níveis piezométricos, consegue-se definir um modelo de regressão linear, como se pode observar no exemplo da **figura 10**. O valor calculado para o coeficiente de correlação entre estas duas variáveis é de 0.997.

A equação calculada para a recta é $Y=1.00568 X - 4.65339$.

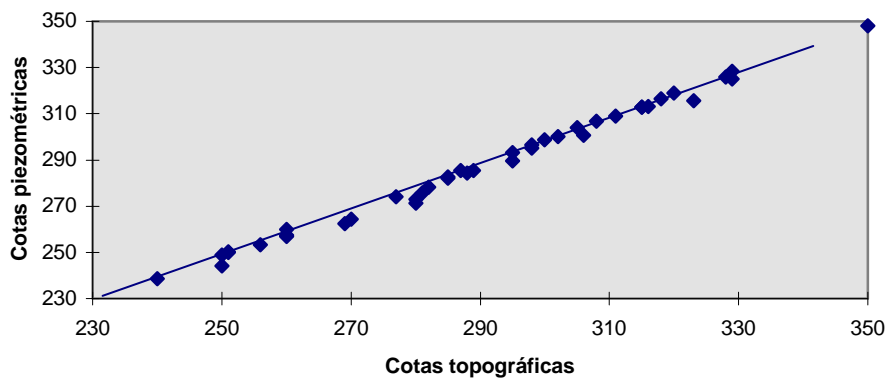
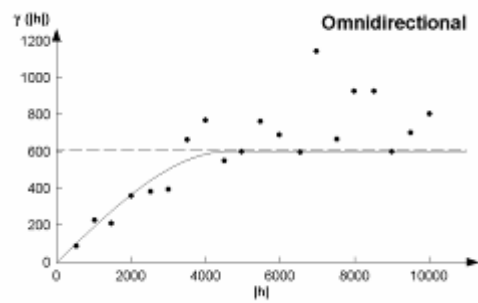


Figura 10 - Projecção das cotas topográficas *versus* cotas piezométricas obtidas na campanha de Outubro de 98

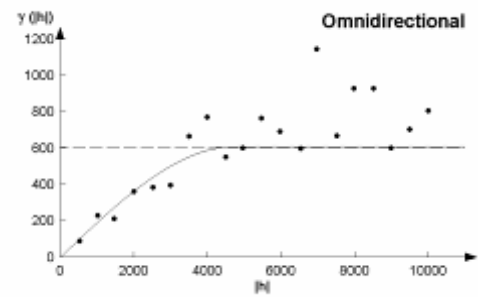
Análise estrutural e estimação da variável piezometria

A piezometria enquadra-se no tipo de variáveis aleatórias que se desenvolvem no espaço e no tempo, possuindo uma certa estrutura. Neste sentido a piezometria é uma variável regionalizada. Essa variabilidade espacial pode, geoestatisticamente, ser avaliada e descrita por uma função de autocorrelação, que é o variograma.

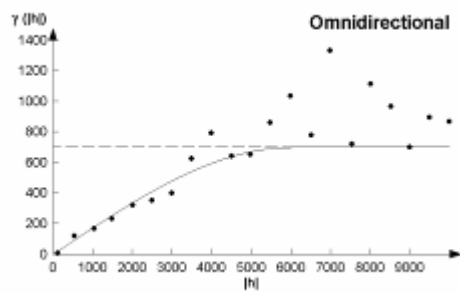
Com o objectivo de identificar e caracterizar a estrutura subjacente à variável piezometria calcularam-se os variogramas experimentais, omnidireccionais, para os meses de Junho, Outubro e Dezembro de 1998 e para os meses de Abril, Junho, Setembro e Novembro de 1999 (**figura 11**). Para a totalidade dos variogramas experimentais foi ajustado um modelo esférico e calculados os respectivos parâmetros estruturais.



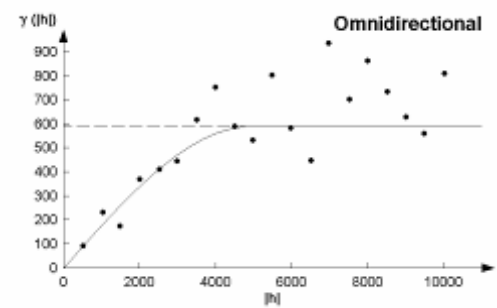
Junho 98



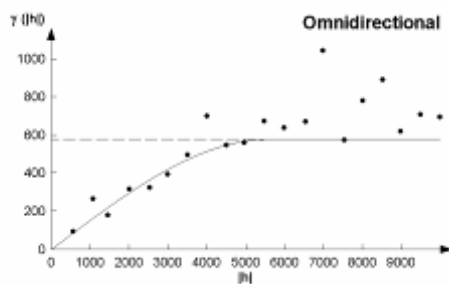
Junho 99



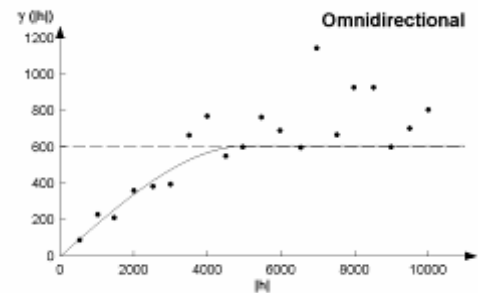
Outubro 98



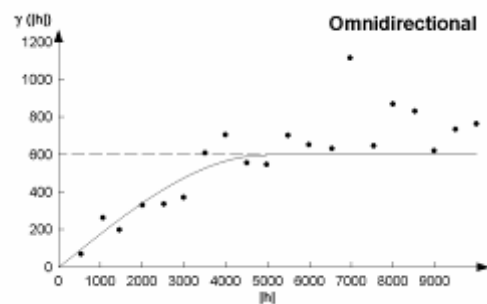
Setembro 99



Dezembro 98



Novembro 99

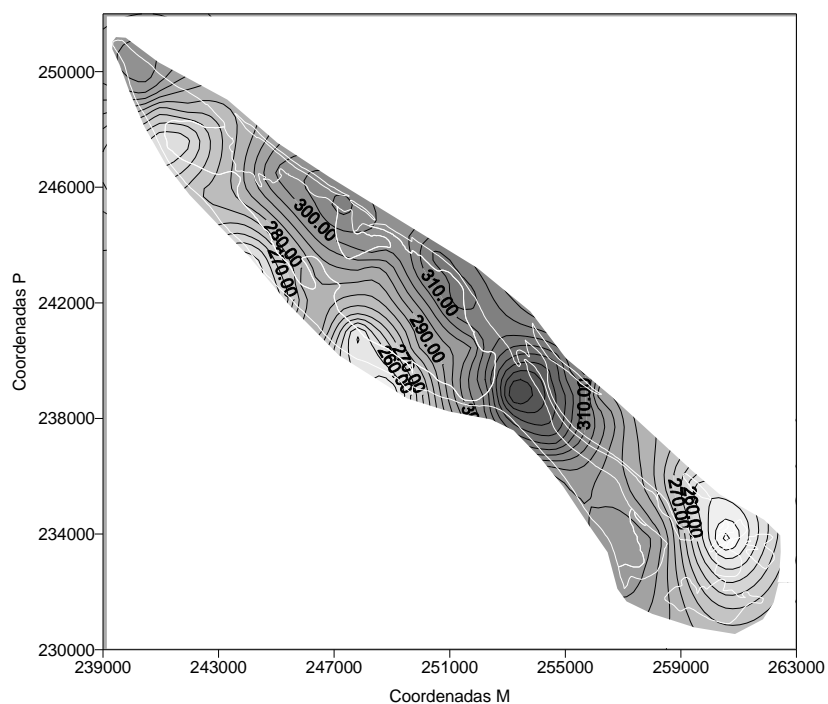


Abril 99

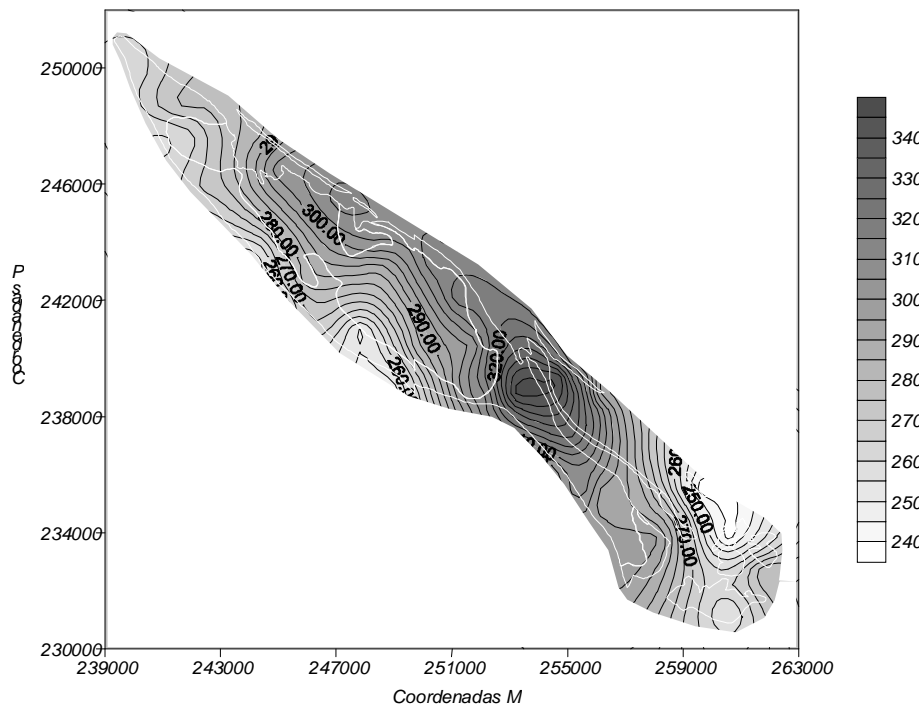
Figura 11 - Variogramas experimentais da variável piezometria para os diversos períodos

A análise dos variogramas mostra que a variável apresenta estacionaridade, com amplitudes compreendidas entre 4600 e 6000 m. A partir dessa distância não existe correlação entre pontos. Quanto ao comportamento na origem, o facto de não se ter detectado efeito de pepita, é indicador da regularidade e continuidade da variável.

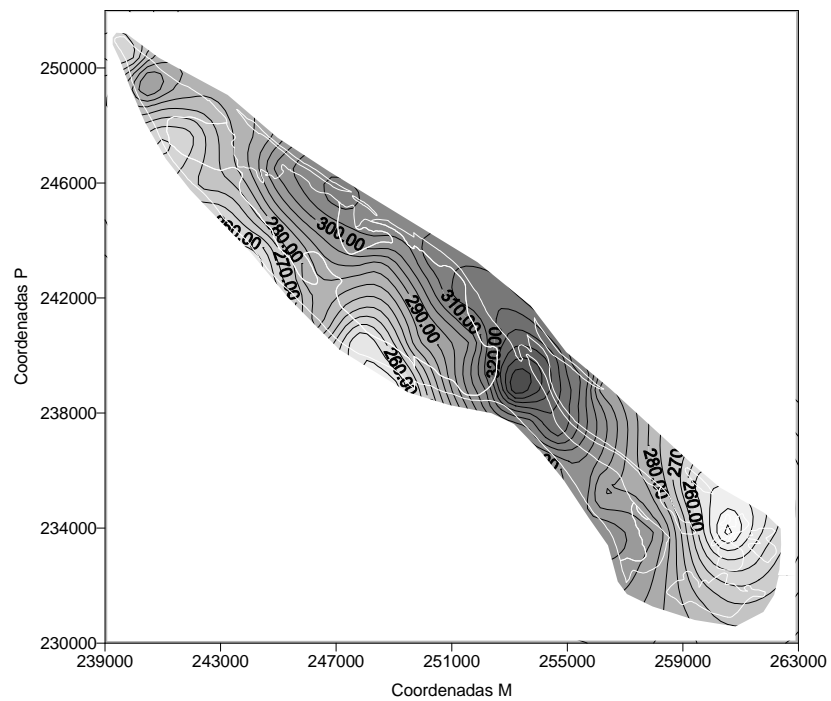
A estimação de valores da piezometria em locais onde não se realizaram observações, foi feita por krigagem ordinária, um interpolador linear exacto, que tem em conta a estrutura da variável definida pelos variogramas. Assim, geraram-se as superfícies piezométricas para os meses de Junho, Outubro e Dezembro de 1998 e para os meses de Abril, Junho, Setembro e Novembro de 1999 (**figura 12**).



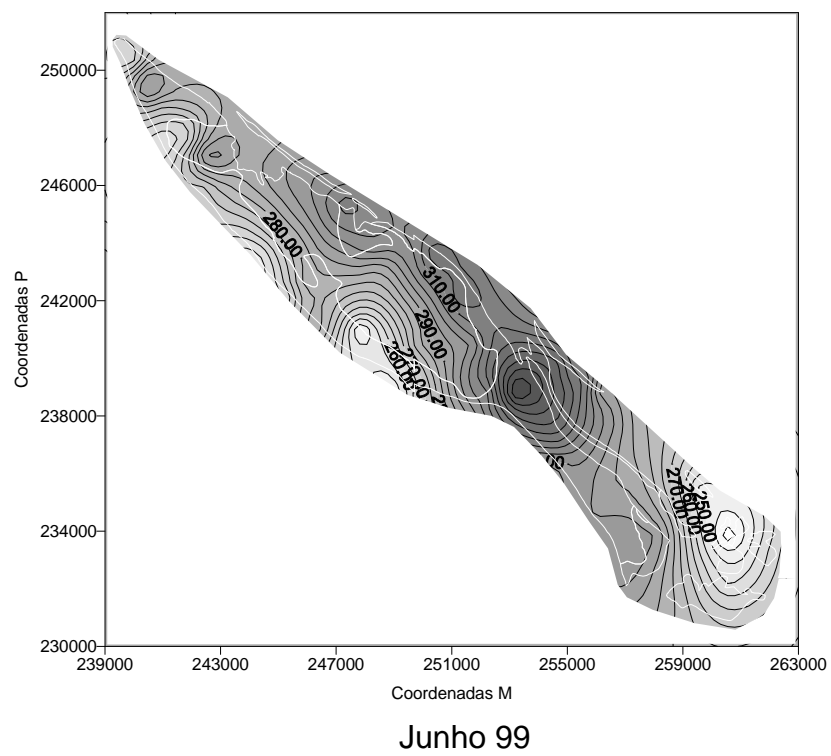
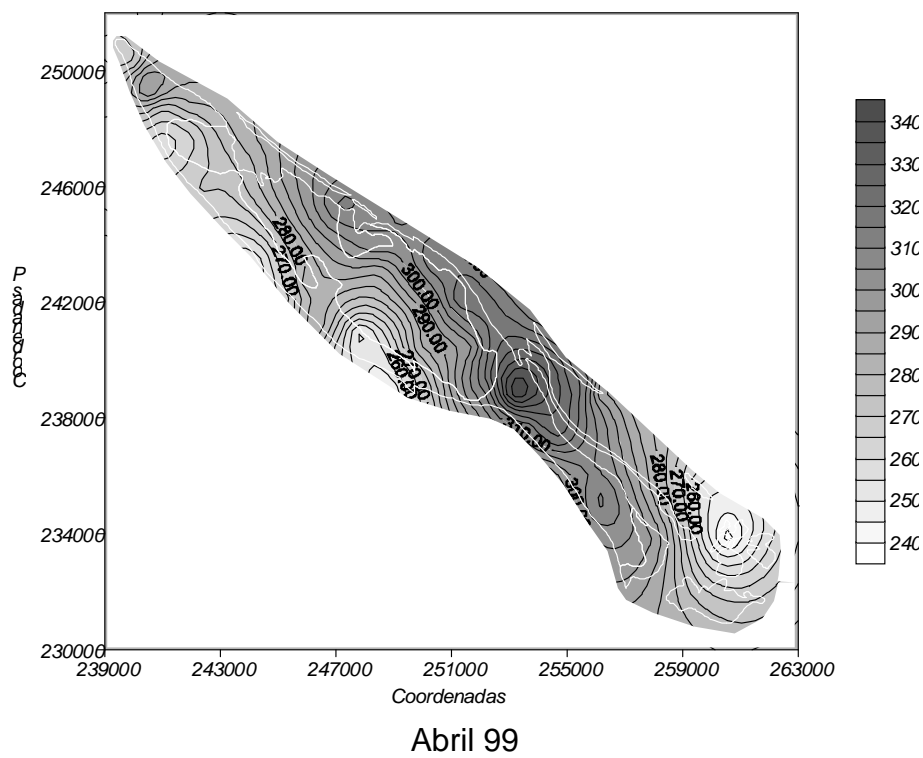
Junho 98



Outubro 98



Dezembro 98



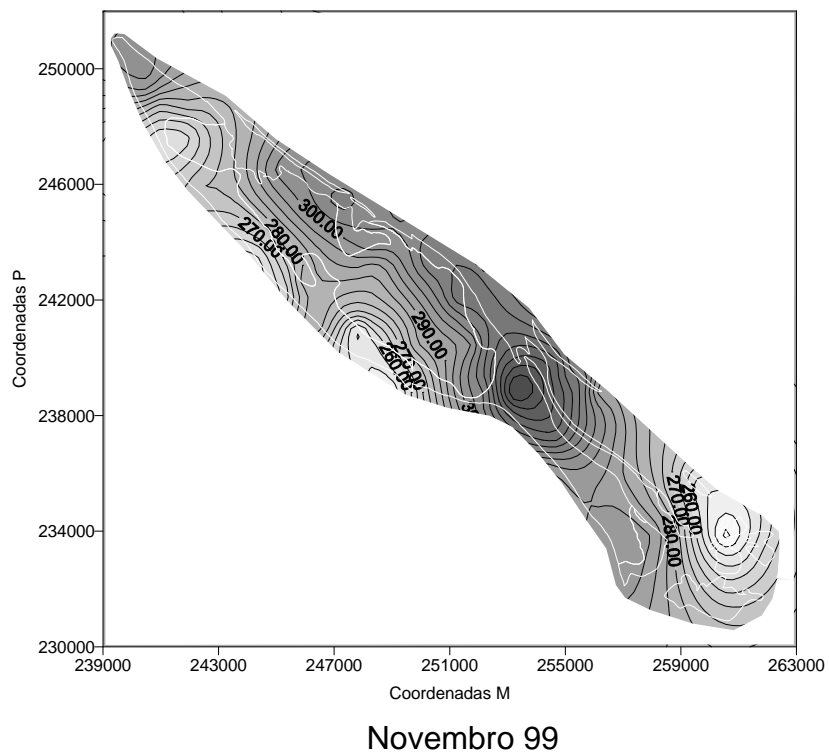
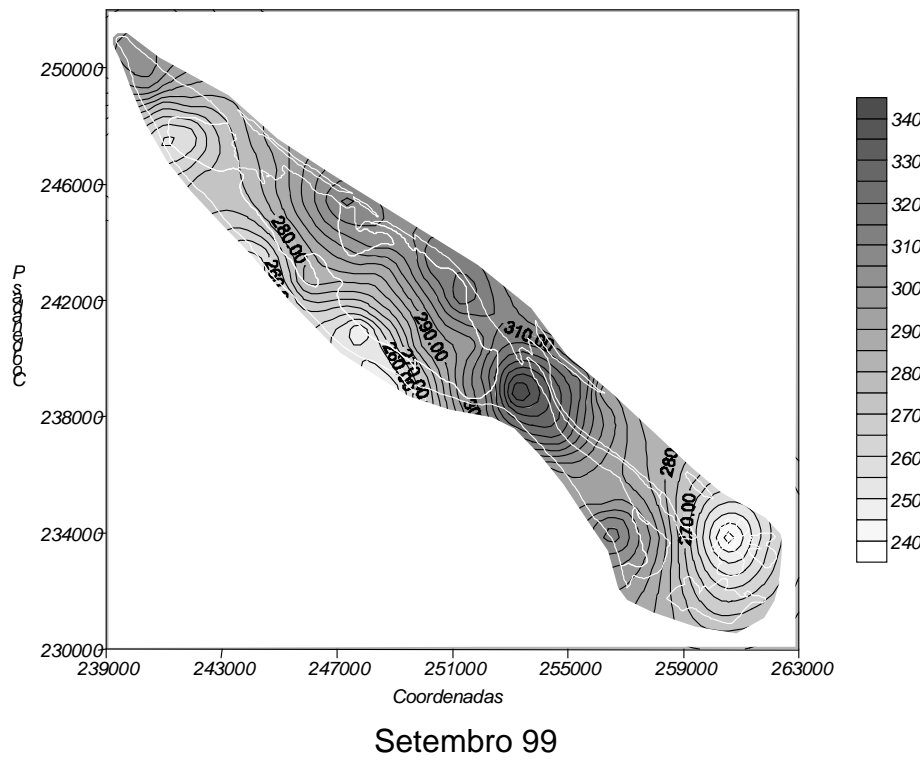


Figura 12 – Superfícies piezométricas

Verifica-se que existe uma grande semelhança nas superfícies piezométricas obtidas, indicando que, à escala regional, a tendência do fluxo é no sentido de SW. Nos extremos N e S do sistema esta tendência é alterada, respectivamente, para S-SE e E-SE.

Os sentidos preferenciais do escoamento subterrâneo são concordantes, quer com os sentidos de escorrência das linhas de água, o que normalmente acontece em aquíferos do tipo freático, quer com o padrão de distribuição espacial das nascentes (ao longo do bordo SW da estrutura).

Factores, como o nível piezométrico acompanhar o modelado topográfico, contribuíram para a estacionaridade do fenómeno, anulando o efeito de deriva, que normalmente caracteriza este tipo de variável em situações onde o escoamento se processa naturalmente (Ribeiro & Lopes, 1997).

Índice de evolução temporal da piezometria

A análise em componentes principais permitiu evidenciar a similitude e oposição existente entre diversos tipos de evolução temporal, observada nos piezómetros ao longo do período amostrado. O padrão temporal dos piezómetros pode ser avaliado no 1º eixo factorial, que explica 98% da variância inicial dos dados, discriminando no semi-eixo positivo, uma evolução temporal mais oscilante, reflectindo picos de recarga, e no semi-eixo negativo, um comportamento temporal relativamente constante.

No **quadro 6** é possível observar a posição de cada piezómetro ao longo do eixo tendo em conta os dois tipos de tendência de evolução.

Quadro 6 – Coordenadas dos piezómetros no 1º eixo factorial

Piezómetros	1º Eixo	Piezómetros	1º Eixo	Piezómetros	1º Eixo
p 37	-2.015	p 21	-0.346	p 32	0.537
p 17	-1.766	p 11	-0.16	p 23	0.563
p 14	-1.512	p 12	-0.137	p 15	0.618
p 7	-1.51	p 19	-0.066	p 22	0.704
p 2	-1.267	p 16	-0.029	p 27	0.788
p 10	-1.176	p 8	0.04	p 18	0.885
P 38	-1.117	p 33	0.129	p 24	1.122
p 5	-1.105	p 30	0.3	p 13	1.123
p 36	-0.993	p 34	0.33	p 26	1.153
p 6	-0.567	p 1	0.423	p 28	1.261
p 3	-0.558	p 31	0.442	p 20	1.287
p 35	-0.492	p 9	0.443	p 25	2.619
p 4	-0.428	p 29	0.481		

Cada valor representa então um índice que sintetiza de uma forma simples a evolução temporal em cada um dos piezómetros, com base em 7 campanhas distribuídas de Junho de 98 a Novembro de 99.

Projectou-se os níveis piezométricos dos pontos extremos do semi-eixo negativo (**figura 13**) e do semi-eixo positivo (**figura 14**). Na **figura 13** verifica-se que os piezómetros têm um comportamento semelhante com uma evolução temporal pouco oscilante.

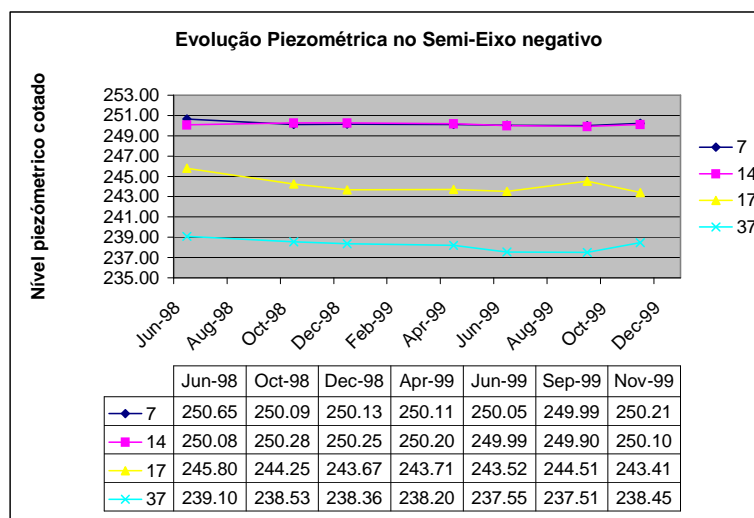


Figura 13 – Padrão da evolução temporal piezométrica nos pontos extremos do semi-eixo negativo

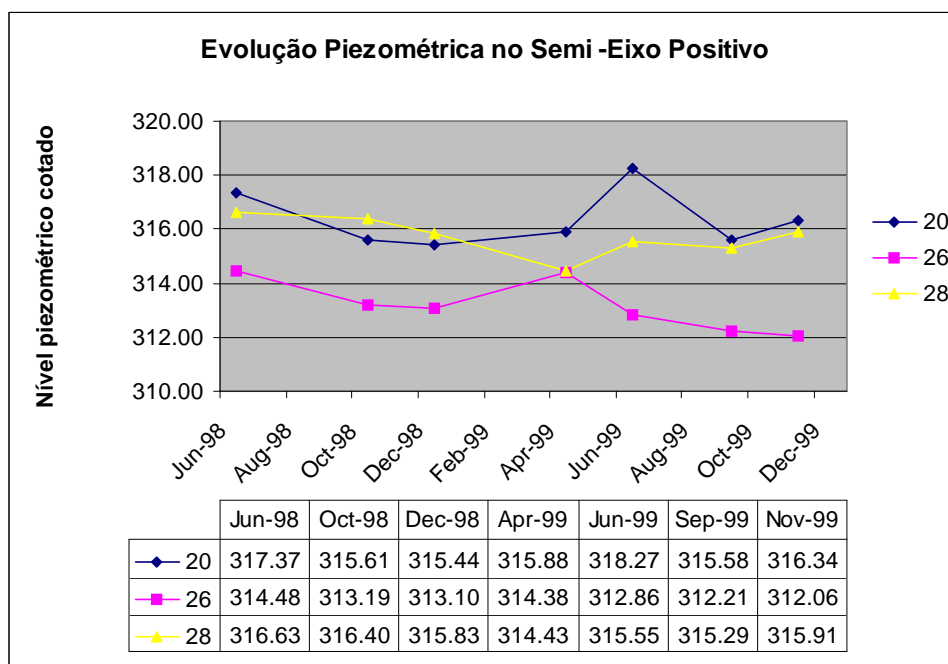


Figura 14 – Padrão da evolução temporal piezométrica nos pontos extremos do semi-eixo positivo

Na **figura 14** os piezômetros têm um comportamento temporal bastante oscilante.

Com o intuito de analisar a distribuição espacial do índice de evolução temporal da piezometria, calculou-se o respectivo variograma omnidireccional (**figura 15**).

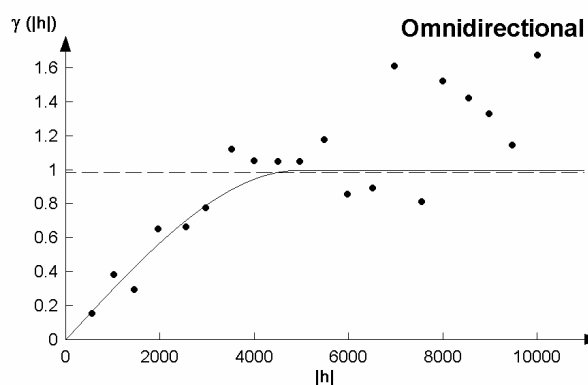


Figura 15 – Variograma do índice de evolução temporal da piezometria

Comparando os parâmetros do variograma obtido para o índice e os que se obtiveram para cada horizonte temporal, verifica-se que a amplitude daquele corresponde à mediana das amplitudes calculadas, e que a variável mantém um comportamento linear junto à origem.

Na **figura 16** representa-se cartograficamente o resultado da krigagem do índice de evolução temporal da piezometria.

As zonas mais claras reflectem as áreas onde os piezómetros são sensíveis ao fenómeno da recarga, apresentando um padrão de evolução oscilante, enquanto que, as zonas mais escuras, correspondem aos piezómetros com um comportamento temporal relativamente constante.

Ao cruzar a localização dos pólos de extracção de água subterrânea, dos concelhos de Monforte, Fronteira e Alter do Chão, com a cartografia do índice verifica-se que estes se localizam sobre três das áreas mais escuras. O efeito da bombagem contínua induz uma regularidade nos níveis observados e anula qualquer efeito de recarga.

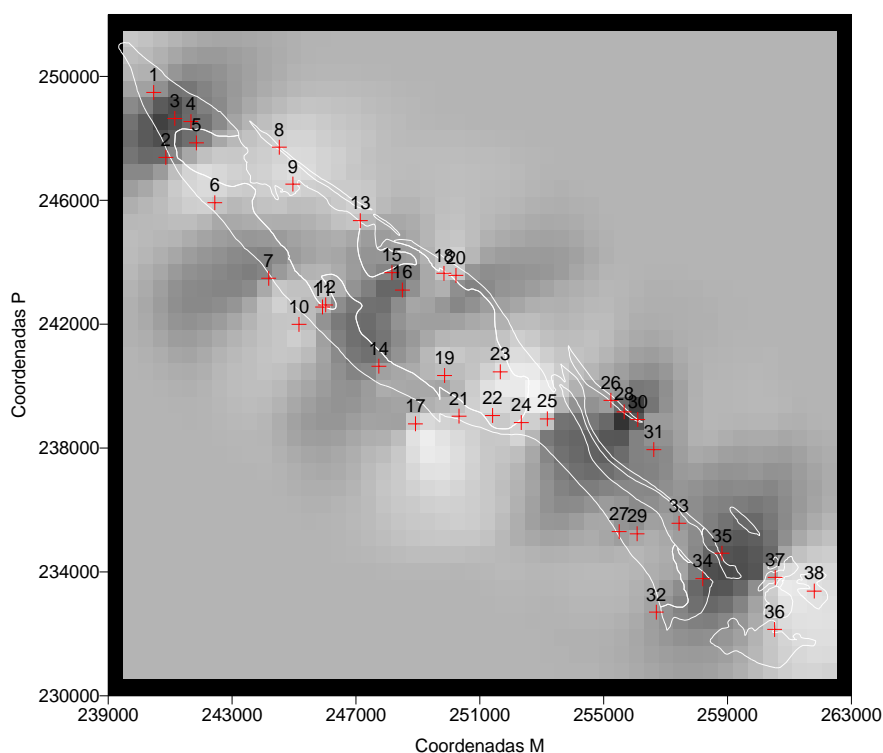


Figura 16 – Cartografia do índice de evolução temporal da piezometria

A individualização de sectores com diferentes padrões de evolução temporal piezométrica, através do desenvolvimento e cartografia de um índice sintético possibilita, entre outros, a identificação de zonas afectadas/não afectadas por extracções intensas e a optimização de redes de monitorização.

Observando as **figuras 16 e 17** e a título de exemplo, verifica-se que os pares de pontos 11 e 12, 24 e 25, 30 e 31, encontram-se espacialmente muito próximos e têm um padrão

de evolução temporal muito semelhante. Numa perspectiva de optimização bastaria que apenas um membro do par integrasse a rede de monitorização ou, caso se comprove a regularidade do comportamento, que apenas um fosse representativo da evolução dos seis.

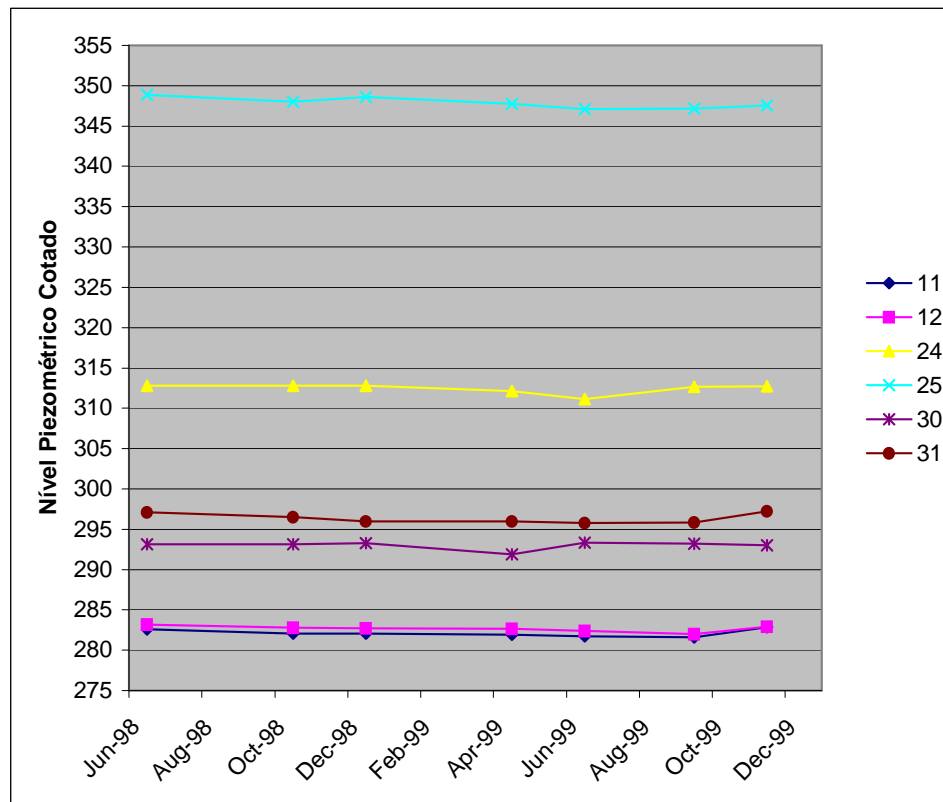


Figura 17 – Evolução piezométrica dos pontos 11, 12, 24, 25, 30, 31

4.3 – Prospecção geofísica

4.3.1 – Métodos geofísicos indirectos, Very Low Frequency – Electromagnetic (VLF – EM)

A utilização de métodos geofísicos electromagnéticos tem permitido aprofundar e complementar o conhecimento sobre a geometria e estrutura dos aquíferos através da identificação em profundidade de contactos litológicos, paleorelevos, redes de fracturação, grandes acidentes e estruturas cársicas.

Na prospecção e exploração de águas subterrâneas este tipo de conhecimento representa uma mais valia, contribuindo para o sucesso do furo de pesquisa.

Este método foi aplicado na zona de Alter do Chão e Monte dos Esquerdos por forma a determinar locais propícios à construção de captações de água subterrânea. A aplicação do método em Alter do Chão efectuou-se nas áreas recomendadas pelo Estudo Prévio das Condições Hidrogeológicas do Concelho (A. Pais Quina, 1997).

Este método utiliza as ondas de rádio de baixa a muito baixa frequência, que são emitidas por antenas fixas, de longo alcance, na banda dos 12 aos 300 kHz. A profundidade de penetração das ondas no subsolo (ou seja a profundidade de penetração do campo primário) dependente da frequência do emissor e da resistividade da rocha, como se pode ver a partir da seguinte equação (Dill et al, 1998):

$$P = 503 \sqrt{\frac{\rho_a}{F}}$$

em que: P = profundidade de penetração em metros (Skin depth)
 ρ_a = resistividade aparente em ohm.m
F = frequência das ondas utilizadas em Hertz

As ondas de rádio originam nas rochas um campo electromagnético secundário que depende da natureza e das discontinuidades do meio rochoso e, que pode ser detectado à superfície. Assim o campo total resultante será a soma do campo secundário e do campo primário, distinguindo-se do primário na intensidade, na fase e na direcção (Dill et al, 1998).

Segundo Dill et al (1998) o método VLF-EM mede a intensidade do campo magnético primário (H_p) através de uma bobine de eixo horizontal e detecta as componentes verticais (H_s) por intermédio de outra bobine de eixo vertical. As componentes verticais encontram-se em fase (in-phase) ou em quadratura (out-of-phase) com o campo primário. Os resultados exprimem-se sob a forma de uma relação entre as intensidades de ambos campos e em percentagem (H_s/H_p %) como se exemplifica na **figura 18**.

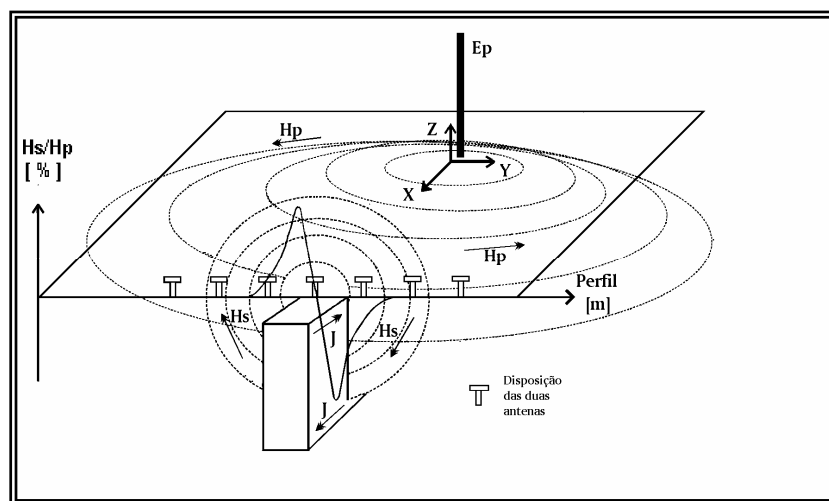


Figura 18 - Princípio do método VLF-EM, adaptado de Turberg e Müller (1992) in Dill et al (1998)

A aparelhagem e metodologia utilizada pelo IGM foi desenvolvida por uma equipa de investigação do Centro de Hidrogeologia da Universidade de Neuchâtel - Suíça, sob a orientação do Prof. Müller. Distingue-se dos aparelhos VLF comerciais, porque regista em contínuo a variação do sinal.

Carvalho (1997) e Carvalho e Costa (1998) referem os resultados obtidos nas formações carbonatadas (**figura 19**) numa área a norte de Alter do Chão, zona G, recomendada por Pais Quina (1997).

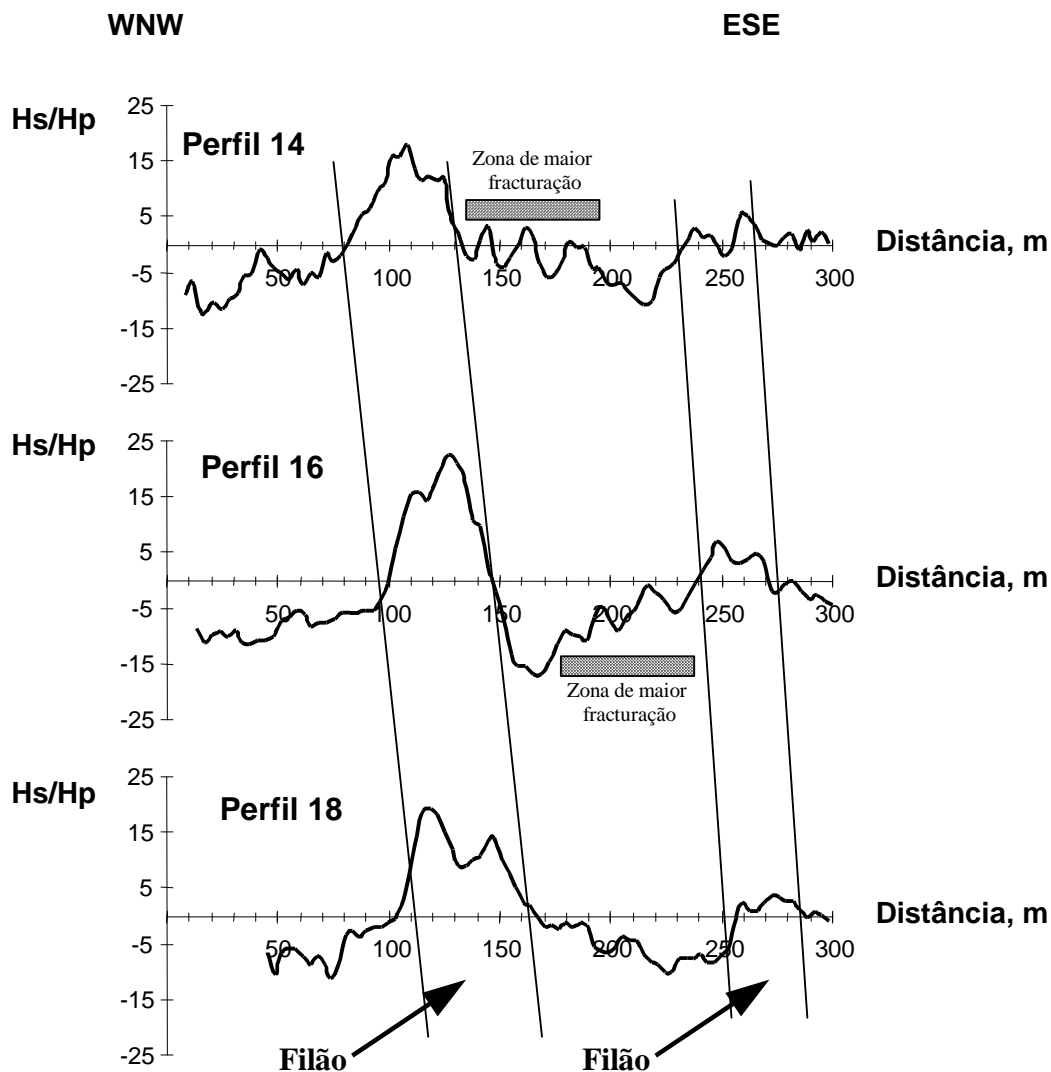


Figura 19 - Gráficos representativos dos perfis de VLF-EM efectuados em Alter do Chão, zona G recomendada por Pais Quina (1997), adaptado de Carvalho (1997) e Carvalho e Costa (1998)

Segundo os autores a análise dos 3 perfis paralelos põe em evidência duas anomalias, que deverão corresponder a filões subverticais de direcção N60°W e inclinação para SSW, detectados num levantamento de campo, e a existência de zonas de maior fracturação do meio, estas últimas potencialmente favoráveis à pesquisa hidrogeológica.

Outro exemplo de aplicação do método realizou-se a norte dos furos camarários de Estoril em Alter do Chão, numa propriedade designada por Alcarcova. Realizaram-se 5 perfis com as seguintes características:

1º perfil – perfil de teste à recepção do sinal, foi desprezado no tratamento dos resultados;

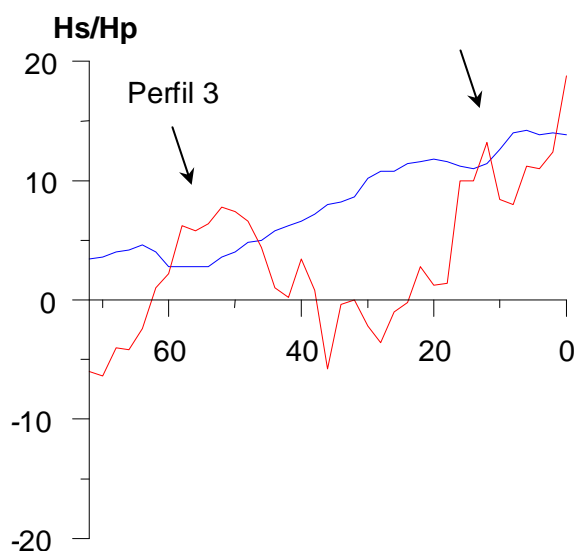
2º perfil – perfil de orientação W-E com 150 m de comprimento;

3º perfil – perfil de orientação E-W com 140 m de comprimento, localizado 62 m a norte do 2º perfil;

4º perfil – perfil de orientação NW-SE com 190 m de comprimento, que cruza o 2º e o 3º obliquamente.

5º perfil - perfil de orientação S-N com 160 m de comprimento, que cruza o 2º e o 3º perpendicularmente.

Os perfis estão representados na **figura 20**. O eixo das ordenadas representa a relação em percentagem entre os valores dos campos magnéticos secundário e primário. O eixo das abcissas está à escala para que se possam comparar os perfis. A vermelho está representado o in-phase e a azul o out-of-phase.



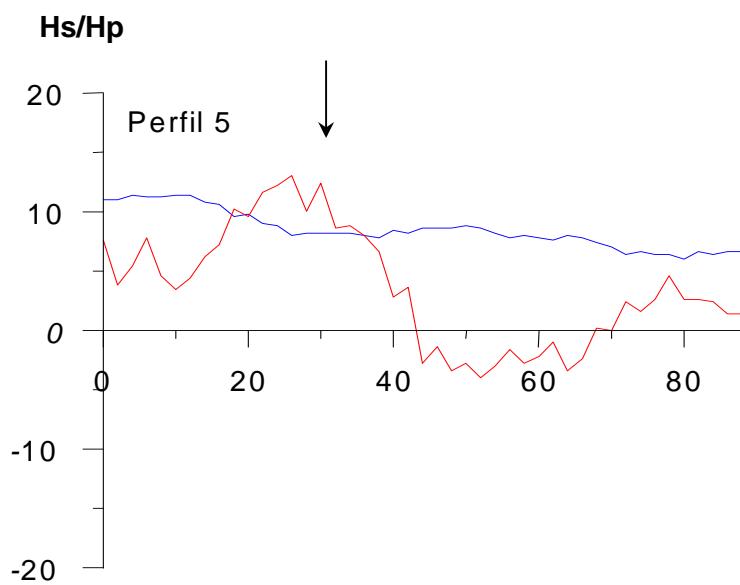
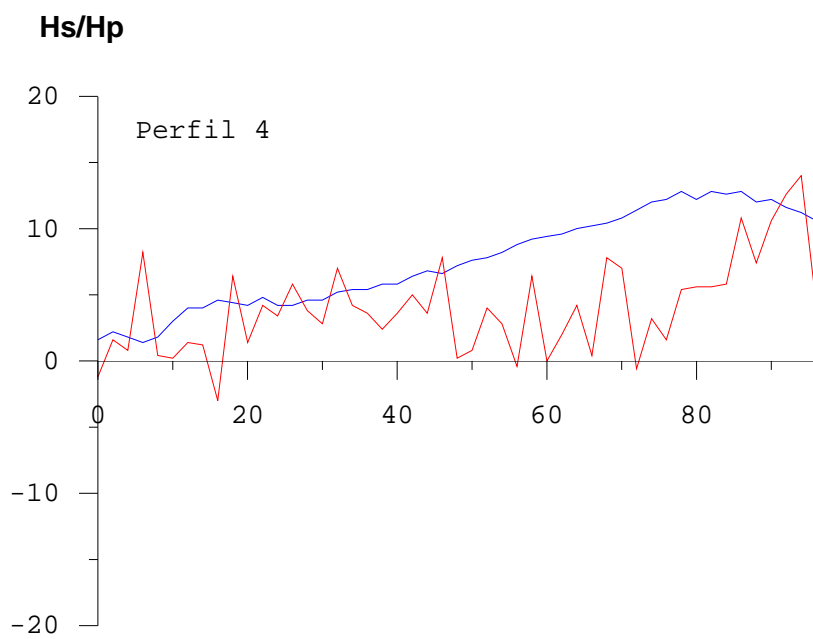
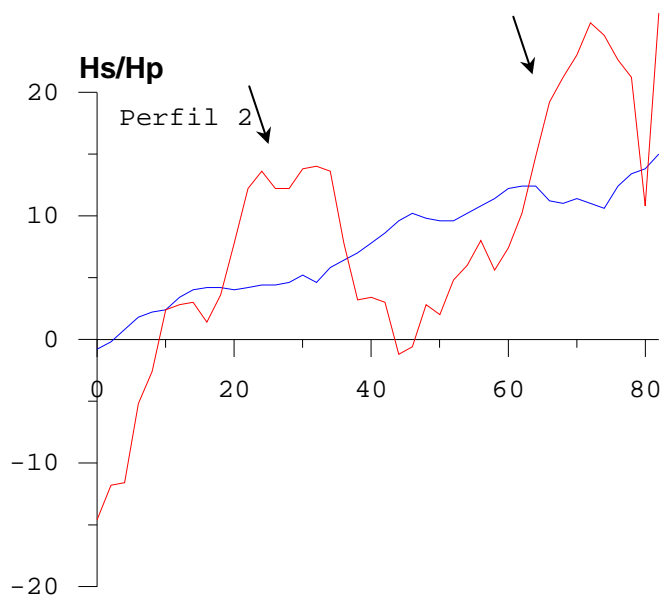


Figura 20 – Perfis de VLF-EM na Alarcova em Alter do Chão

A interpretação dos perfis contou com a colaboração da Prof. Amélia Dill. No perfil 4 nota-se que a linha de outphase se aproxima gradualmente do eixo do X parecendo indicar que as camadas de calcários mergulham para NW.

Existem duas anomalias detectadas nos perfis paralelos 2 e 3, que se encontram assinaladas por setas. No perfil 5 é igualmente intersectada a mesma estrutura. A direcção desta estrutura deve ser aproximadamente NW-SE uma vez que o perfil 4, realizado segundo esta direcção não evidencia qualquer anomalia dominante, comportamento típico de perfil realizado sobre a estrutura.

Salienta-se que a Câmara Municipal de Alter do Chão realizou posteriormente um furo de captação no local onde se detectou a anomalia principal, tendo-se revelado produtivo, o que levou ao seu aproveitamento para reforço do abastecimento público.

4.4 – Execução de sondagens verticais e diagrfias

Em colaboração com a Divisão de Sondagens realizaram-se 3 sondagens de prospecção hidrogeológica designadas por SDH Azinhal, junto a Vaiamonte, SDH Sto. António das Paredes, junto a Cabeço de Vide, e SDH Vale Doce (**quadro 7**). Cada sondagem foi objecto de uma caracterização litológica e estrutural, de diagrfias eléctricas, nucleares e de temperatura, e de 2 ensaios de caudal com sistema de air-lift, realizados aos 30 m e no final da sondagem, que permitiram a determinação de parâmetros hidráulicos. Ao longo dos trabalhos de perfuração efectuaram-se descrições sumárias das litologias atravessadas, mediram-se os níveis da água para avaliar a sua evolução, quantificaram-se as percentagens de recuperação dos testemunhos e definiram-se as colunas de entubamento.

Um dos principais objectivos na realização das sondagens, para além de obter dados litológicos, de fracturação e hidráulicos, foi a sua transformação em piezómetros tendo em vista o estabelecimento de uma rede de monitorização piezométrica no sistema aquífero.

O facto destes piezómetros possuírem uma caracterização, tanto quanto possível, completa, é uma garantia fundamental na fiabilidade dos dados hidrogeológicos obtidos, transformando-os nos pontos mais fiáveis das redes de monitorização piezométrica e de qualidade.

Assim procedeu-se à instalação de dois sistemas automáticos de aquisição de níveis na SDH Azinhal e SDH Sto. António das Paredes, configurados para a aquisição de dados horários.

Quadro 7 – Sondagens do Sistema Monforte-Alter do Chão

carta	designação	coord M	coord P	cota	prof	litologia	data de construção
384	SDH Azinhal	253585	237765	315	112.48	calcários	11-11-98
371	SDH Sto.António das Paredes	249395	242090	296	60.25	gabros	2-12-99
371	SDH Vale Doce	252710	242060	335	60.03	ortognaisses graníticos e sienitos hiperalcalinos	3-5-99

4.4.1 - Caracterização litológica e estrutural

A sondagem SdH Azinhal situa-se a cerca de 1.5 km a N da povoação de Vaiamonte. A interpretação da carta geológica 1/50 000 bem como os levantamentos de campo realizados mostram que a sondagem se inicia na unidade dos calcários cristalinos por vezes xistificados e silicificados do Câmbrico. Esta unidade é largamente representativa de toda a sondagem, sendo apenas interrompida em profundidade pela existência de algumas intercalações de rochas metavulcânicas de idade Câmbrica provável.

O log sumário das formações atravessadas, pode ser visualizado na **figura 21**.



Figura 21 -Log da SDH Azinhal

Para caracterizar a fracturação ao longo da sondagem foram individualizadas três famílias ou classes distintas, cujos intervalos abarcam todo o espectro de inclinações possíveis:

- **Família A-** incluem-se aqui as fracturas sub-horizontais a pouco inclinadas, ou seja, as que inclinam menos de 30°;
- **Família B-** constitui o grupo de fracturas que se apresentam mediamente inclinadas, com valores de inclinação que variam entre os 31° e os 60°;
- **Família C-** agrupa o conjunto de fracturas fortemente inclinadas a sub-verticais, com inclinações superiores a 61°.

A distribuição das diferentes famílias de fracturas ao longo da sondagem pode ser observada na **figura 22**.

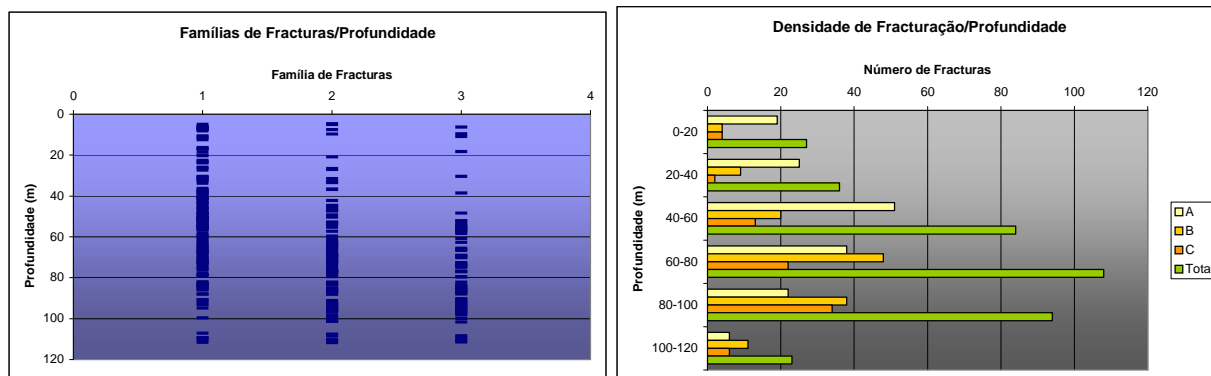


Figura 22 - Densidade das 3 famílias da fracturas *versus* profundidade na SDH Azinhal

Verifica-se que a densidade de fracturação aumenta gradualmente entre os 0 e os 40 metros de profundidade, apresentando um aumento brusco no intervalo compreendido entre 40 e os 60 metros de profundidade. Atinge o pico máximo de densidade de fracturação no intervalo compreendido entre os 60 e os 80 metros de profundidade. Desse nível em diante decresce, primeiro de forma gradual e depois bruscamente.

Visto que esta variação da densidade de fracturação não pode ser explicada por factores litológicos (pois ao longo de toda a sondagem a litologia é bastante homogénea), a justificação deve-se a factores estruturais, ou seja a partir dos 40 metros aproxima-se uma zona fracturada. O facto deste aumento de densidade estar relacionado quer com a família B, quer com a família C, parece indicar que a(s) zona(s) de acidente, a existirem, deverão ter uma posição bastante inclinada.

A sondagem SdH Sto.António das Paredes situa-se a cerca de 2.5 km a NE da povoação de Cabeço de Vide. Inicia-se na unidade de rochas ultrabásicas que constitui a única unidade a ser atravessada pela sondagem. Encontra-se quase exclusivamente representada por rochas ultrabásicas (peridotitos a piroxenitos) mais ou menos serpentinizadas, localmente atravessadas por filões máficos cuja natureza se encontra ainda por identificar.

O log sumário das formações atravessadas pode ser visualizado na **figura 23**.



Figura 23 -Log da SDH Sto. António das Paredes

Para caracterizar a fracturação ao longo da sondagem procedeu-se de forma análoga à descrita para a SDH Azinhal. A distribuição das três famílias de fracturas ao longo da sondagem pode ser observada na **figura 24**.

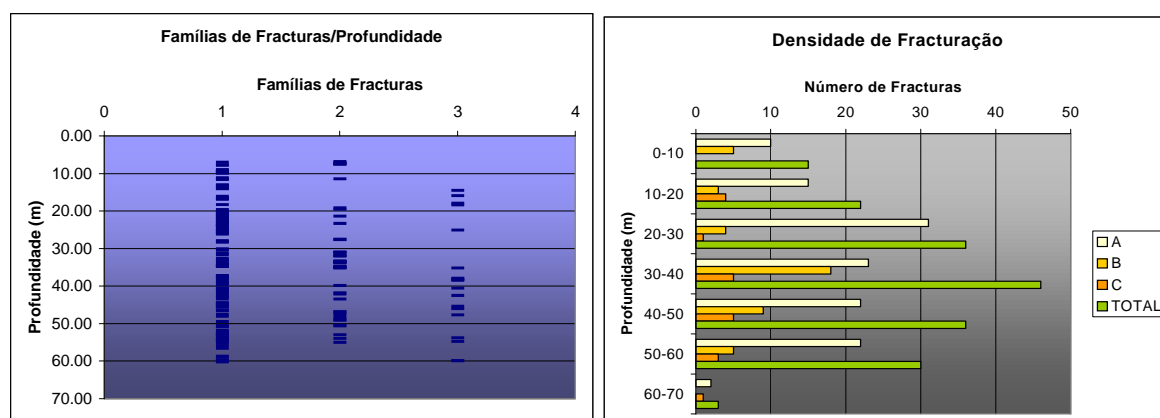


Figura 24 - Densidade das 3 famílias da fracturas versus profundidade na SDH Sto. António das Paredes

Verifica-se que a densidade de fracturação aumenta gradualmente até ao intervalo entre os 30 e 40 metros de profundidade onde atinge o seu máximo. Dos 40 aos 60 metros de profundidade decresce de uma forma gradual, muito embora se mantenha com valores relativamente elevados. O decréscimo acentuado que se verifica no intervalo entre os 60 e 70 metros de profundidade deve-se ao facto de a sondagem terminar aos 60.25 metros de profundidade.

O aumento de densidade da fracturação poderá ser atribuído à possível zona de falha descrita entre os 35.80 e 37.70 metros, uma vez que ao longo de toda a sondagem a litologia é bastante homogénea. A observação da **figura 24** mostra que o aumento brusco está associado à família de fracturas moderadamente inclinadas (família B), o que parece traduzir que a zona de falha aqui existente terá uma inclinação entre os 30 e os 60°. Com efeito, não se observa nenhuma variação da densidade das outras duas famílias em torno destas profundidades.

A sondagem SdH Vale Doce situa-se a cerca de 6 km a ENE da povoação de Cabeço de Vide, no flanco NE do sistema aquífero. A sondagem inicia-se na unidade dos ortognaisses graníticos e sienitos peralcalinos, cuja idade se encontra estimada entre 430 e 460 Ma (Ordovícico superior). Esta unidade é claramente dominante ao longo de toda a sondagem e encontra-se quase exclusivamente representada por sienitos. Entre os 46 e 50 metros de profundidade, a sondagem atravessa um nível de rochas vulcânicas ácidas de idade Câmbrica provável. A partir deste nível a sondagem parece intersectar novamente a unidade dos sienitos peralcalinos. O facto de encontrarmos a unidade dos sienitos sob o nível de vulcânicas ácidas da base do Câmbrico pode apenas resultar da geometria da intrusão ou, alternativamente, da presença de acidentes secundários associados ao cavalgamento de Alter do Chão. Em anexo encontra-se uma descrição exaustiva das carotes.

Para a caracterização da fracturação adoptou-se uma metodologia análoga à já descrita para as outras sondagens.

A distribuição das três famílias de fracturas ao longo da sondagem pode ser observada na **figura 25**.

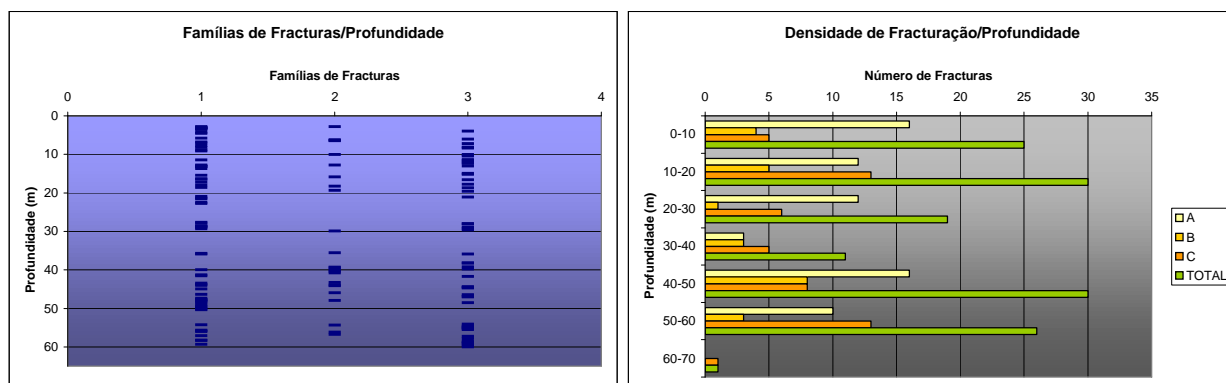


Figura 25 - Densidade das 3 famílias da fracturas versus profundidade na SDH Vale Doce

A densidade de fracturação apresenta um comportamento irregular, atingindo o seu máximo entre os 10-20 e os 40-50 metros de profundidade.

O aspecto que parece mais relevante tem a ver com uma queda acentuada da densidade de fracturação associada as profundidades entre os 30 e os 40 metros, que contrastam fortemente com uma densidade bastante homogénea para as restantes profundidades. Esta diminuição do número de fracturas para estas cotas pode ser facilmente explicada por factores litológicos. Com efeito entre os 31.3 e os 36.44 metros de profundidade os sienitos encontram-se bastante alterados, sendo a zona de alteração mais marcante ao longo de todo o corte. No entanto, o facto destes sienitos se encontrarem profundamente alterados, poderá talvez indicar que se está em presença de uma zona de falha ao longo da qual a circulação de fluidos terá contribuído para a alteração dos sienitos.

4.4.2 - 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 11 parâmetros por furo, designadamente Temperatura, Condutividade do Fluido, Fluxo, 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.

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. Esta

correlação mais detalhada projectar-se-á para uma fase posterior a este estudo. De qualquer forma, a interpretação inicial das diagrfias foi efectuada com o recurso às carotes disponíveis e respectiva descrição sumária, através de analogias com os furos melhor estudados.

Nas campanhas de diagrfias, foi utilizado um logger digital MGXII da Mount Sopris, **(figura 26)** adquirido no âmbito do projecto, cujo objectivo principal consistiu no conhecimento de parâmetros que permitam caracterizar as formações atravessadas **(quadro 8)**. O processamento dos dados no campo foi efectuada com o recurso ao software LOGSHELL, enquanto que em gabinete foram processados com o software VIEWLOG.



Figura 26 - Equipamento de campo - logger MGXII da Mount Sopris, com guincho 2500 e PC com processador 486

Quadro 8 - 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	UNIDADE
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 multielectrónica	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.
Temp	Temperatura do fluido e/ou temperatura das formações	Gradiente geotérmico, localização da água injectada	furo preenchido com fluido	graus Celsius
Condutividade do fluido	Condutividade/resistividade do fluido	Muito eficiente para localizar zonas de circulação de água e interface água doce/salgada	furo preenchido com fluido	$\mu\text{S/cm}$
Fluxo	Sentido e velocidade do fluxo	Zonas de entrada e saída de água	furo preenchido com fluido	m/min ou L/h

Com o equipamento disponível (**figura 27**), 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 diagrafias 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 11 parâmetros medidos e elementos adicionais fornecidos pelo estudo detalhado das carotes dos furos, a nível de fracturação.

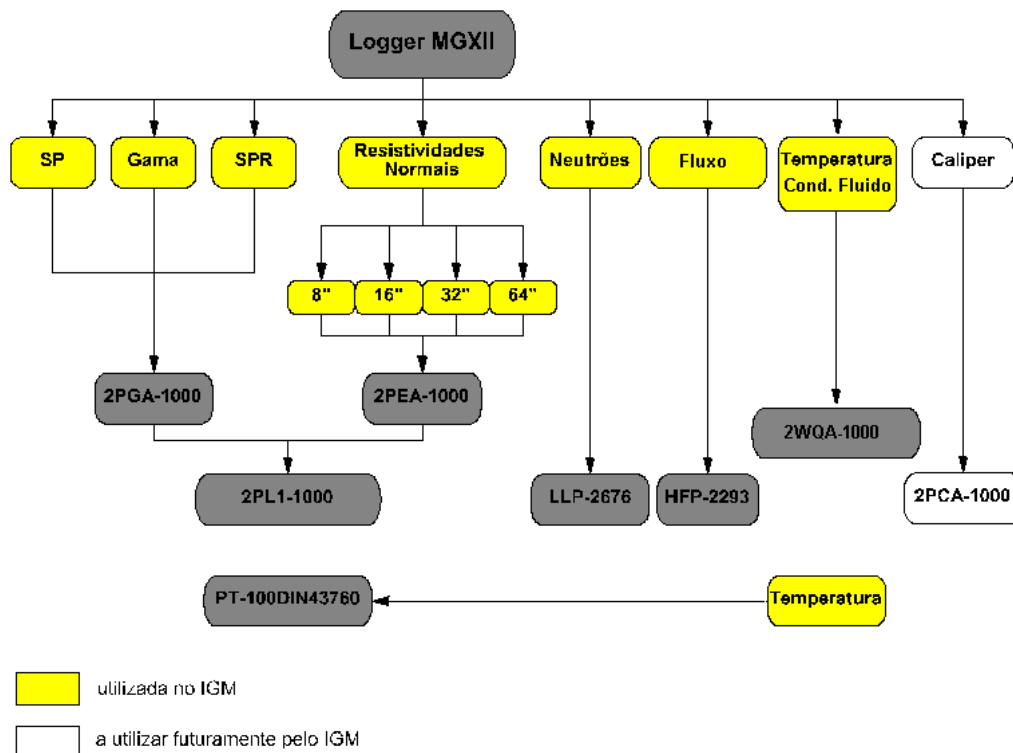


Figura 27 - Os 11 parâmetros medidos actualmente nas campanhas de diagrafias do IGM e referência das sondas. Nos furos de Monforte não se utilizou a sonda PT-100DIN43760, nas medidas de Temperatura

Todas as diagrafias de Radiação Gama Natural, SP, SPR, Resistividades Normais 8", 16", 32" e 64" realizadas com a sonda 2PEA-1000 e ainda as diagrafias de Temperatura e Condutividade do Fluxo, realizadas com a sonda 2WQA-1000, foram efectuadas com uma velocidade constante de 5 m/min. Por questões de operacionalidade, as diagrafias efectuadas com a sonda de Neutrões também foram realizadas com uma velocidade constante de 5 m/min. A aquisição de diagrafias de Fluxo foi efectuada com espaçamento constante de 5m. A partir das diagrafias de temperatura calcularam-se as diagrafias do gradiente geotérmico a cada 2 metros.

No **quadro 9** estão representados a metragem e os furos diagrfados no sistema aquífero.

Quadro 9 - Metragem e os furos diagrfados no sistema aquífero

	Metragem diagrfada (m)	Furos diagrfados
Diagrfias eléctricas em modo eléctrico (SP + SPR + Res.Norm. 8", 16", 32" e 64")	1550	SDH1-Azinhal; SDH2-Sto. António das Paredes; SDH3-Vale Doce
Diagrfias nucleares (Gama + Neutrões)	450	SDH1-Azinhal; SDH2-Sto. António das Paredes; SDH3- Vale Doce
Diagrfias da coluna de fluido (temperatura, condutividade do fluido e fluxo)	865	SDH1-Azinhal; SDH2-Sto. António das Paredes; SDH3- Vale Doce
Total	2865	

Através da observação dos Relatórios do LÍRIO e respectiva correlação com as diagrfias efectuadas, é possível atribuir valores e características genéricas a cada uma das principais formações atravessadas pelos furos estudados.

Embora em formações calcárias, 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 no **quadro 10**.

Quadro 10 – Tipos de formações principais atravessadas pelos furos 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 são	Muito baixo	Médio	Elevado
Calcários brechoides	Médio	Baixo	Médio
Calcários ferruginosos	Baixo	Médio	Médio
Rochas ultrabásicas	Muito baixo	Baixo	Baixo-Médio
Filões	Baixo	Médio	Baixo

Esta mesma distinção poderá ser feita para o equipamento utilizado, ainda que, pelas características muito resistivas das formações carbonatadas 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 acerca da resistividade aparente das formações que o furo atravessa. No que diz respeito às rochas ultrabásicas, constata-se a grande heterogeneidade de resistividades eléctricas registadas, que variam entre os 700 Ohm.m e os 3600 Ohm.m, para a Resistividade Normal 64". Embora seja de registar a baixa correlação entre as diagrfias eléctricas e a análise das carotes, salienta-se que a existência abundante de sulfuretos disseminados e minerais magnéticos influenciará localmente e de forma mais ou menos imprevista os valores registados para as diagrfias eléctricas, dificultando, por isso a sua interpretação.

O **Quadro 11** mostra os valores médios obtidos para as formações principais atravessadas pelos furos e respectivas características genéricas, com o equipamento existente no IGM.

Quadro 11 - Valores médios obtidos para as formações principais atravessadas pelos furos efectuados e respectivas características genéricas, com o equipamento existente no IGM

	Radiação Gama Natural (cps)	Neutrões (cps)	SPR (Ω)
Calcários sãos	<20	1500	Elevado
Calcários brechoides	100	700	Médio
Calcários ferruginosos	<50	1100-1200	Médio
Rochas ultrabásicas	<10	200	Baixo-Médio
Filões	<10	200	Baixo

Em todos os furos as diagrfias foram efectuadas imediatamente após a perfuração ou após algumas horas. Nestas, a sua interpretação serviu como um dos critérios fundamentais para o respectivo entubamento. Além disso, 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, condutividade do fluido e fluxo associadas às diagrfias eléctricas, na ausência das diagrfias do “caliper”, que dão indicações muito importantes acerca das variações do diâmetro do furo.

Em seguida, e apenas a título de exemplo, apresentam-se diagrfias de dois furos, que ilustram com alguma clareza a capacidade das diagrfias para identificação de formações **(figuras 28, 29 e 30)**.



Figura 28 - Diagramas eléctricos (RN8" e RN 64"), nucleares (neutrões e radiação gama natural) e diagramas da coluna de fluido (fluxo, condutividade do fluido, temperatura e gradiente geotérmico) efectuadas no furo SDH2 Sto. António das Paredes

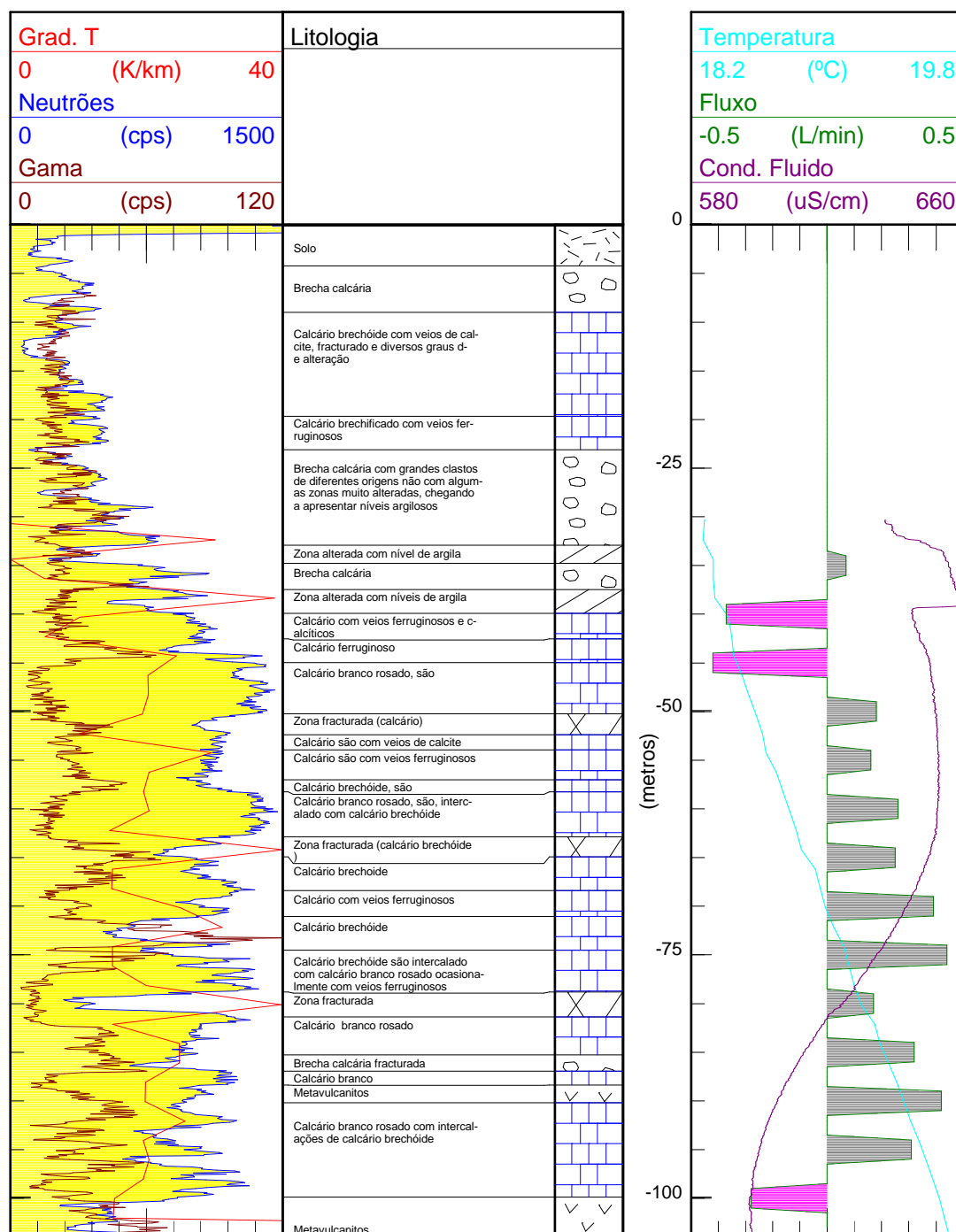


Figura 29 – Diagramas nucleares (neutrões e radiação gama natural) e diagramas da coluna de fluido (fluxo, condutividade do fluido, temperatura e gradiente geotérmico) efectuadas no furo SDH1 Azinhal

A **figura 28** mostra as diagramas eléctricas (RN8" e RN 64"), nucleares (neutrões e radiação gama natural) e diagramas da coluna de fluido (fluxo, condutividade do fluido, temperatura e gradiente geotérmico) efectuadas no furo SDH2 Sto. António das Paredes. Nestas, é visível a falta de correlação entre o conjunto de diagramas efectuado e as

diagrafias eléctricas (motivada pela existência de sulfuretos disseminados nas rochas ultrabásicas que dificulta a interpretação destas últimas).

A **figura 29** mostra o conjunto de diagrafias nucleares (neutrões e radiação gama natural) e diagrafias da coluna de fluido (fluxo, condutividade do fluido, temperatura e gradiente geotérmico) efectuadas no furo SDH1 Azinhal.

A **figura 30** mostra o gráfico dos registos da diagrafia de neutrões *versus* radiação gama natural relativamente ao furo SDH1 Azinhal.

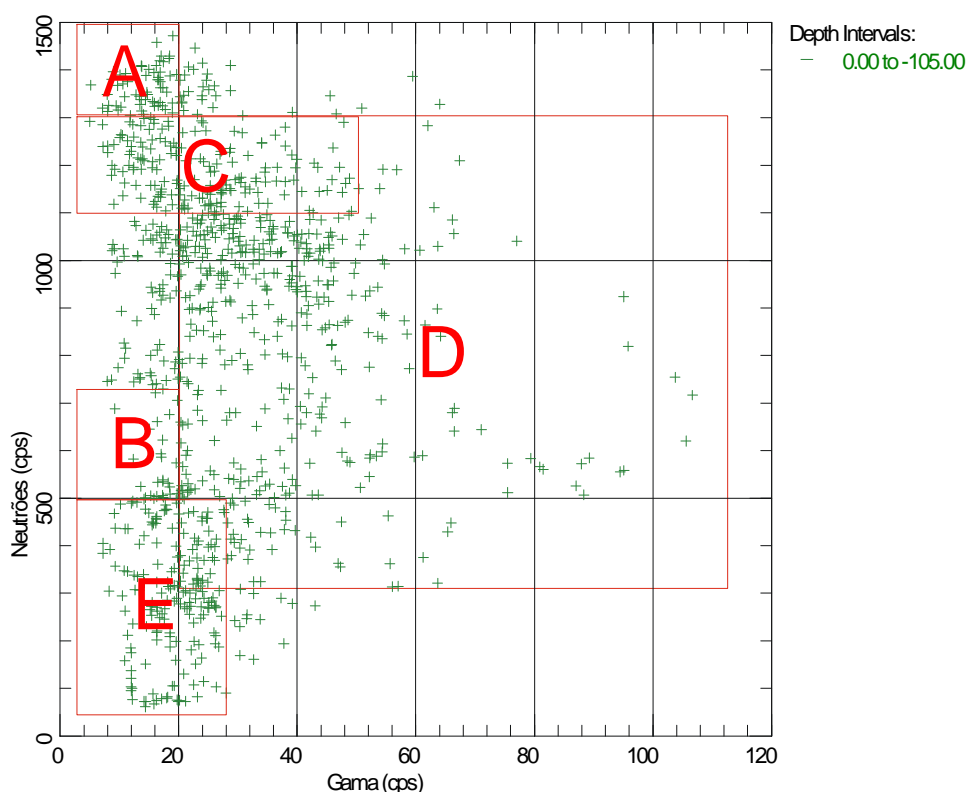


Figura 30 - Gráfico dos registos da diagrafia de neutrões *versus* radiação gama natural para o furo SDH1 Azinhal; A = calcários sãos; B = zonas fracturadas; C = calcários com veios ferruginosos; D = calcários brechóides; E = zona entubada

4.5 – Ensaios de caudal

4.5.1– Metodologia e interpretação de resultados

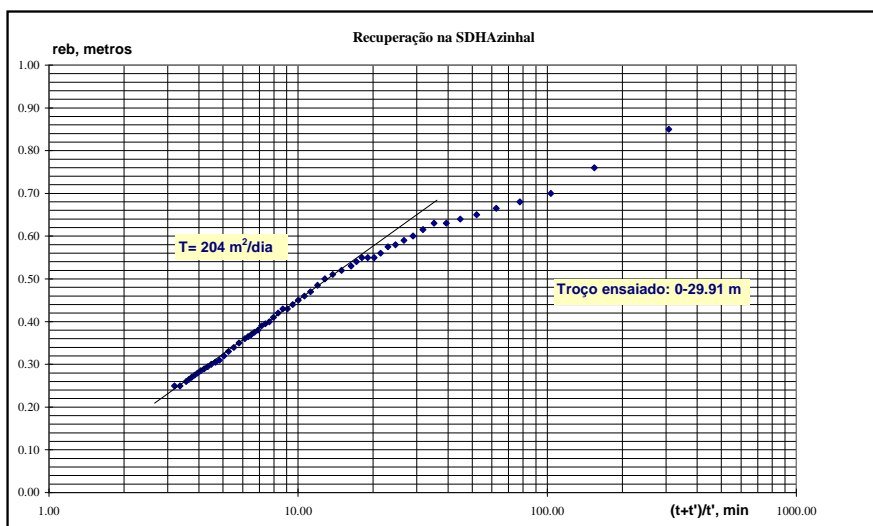
◆ Ensaios de air-lift nas sondagens de prospecção hidrogeológica

Os ensaios de bombagem utilizando a técnica de ar comprimido permitem estimar o grau de produtividade da captação em construção, assim como obter uma primeira aproximação sobre os valores dos parâmetros hidrogeológicos dos aquíferos bombeados

(Martinez & Iglesias Lopez, 1984). Por outro lado o ar comprimido tem um importante papel no desenvolvimento de sondagens para eliminar uma certa percentagem de finos que normalmente ficam retidos no maciço filtrante.

O fundamento teórico do método está baseado no sistema de vasos comunicantes. Ao injectar ar comprimido por um tubo a uma pressão superior à necessária para vencer uma coluna de água, ascenderá pelo tubo da água uma mistura de ar e água até à altura em que os pesos interior e exterior se equilibrem. Para o sucesso do ensaio é necessário ter atenção aos parâmetros pressão do ar e submersão, entendendo-se por submersão a relação entre o comprimento do tubo situado abaixo do nível da água e o comprimento total do tubo expresso em percentagem. Experimentalmente foi comprovado que a submersão mais conveniente deverá ser de 60 a 65% (Martinez e Iglesias Lopez, 1984). Como varia em função da evolução do nível dinâmico, para que seja atingida a submersão ideal é necessário estimar o rebaixamento provocado pela bombagem.

Neste tipo de ensaio a análise deve incidir sobre a evolução dos níveis da recuperação. Os resultados obtidos para as três sondagens encontram-se expressos nas **figuras 31, 32 e 33**. Os minutos iniciais da recuperação devem ser desprezados e a recta deve ser ajustada ao troço final (Martinez & Iglesias Lopez, 1984).



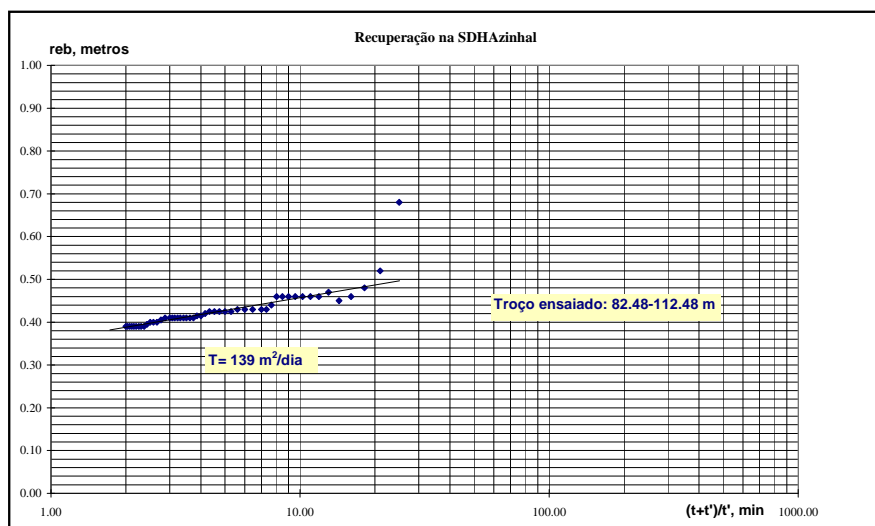
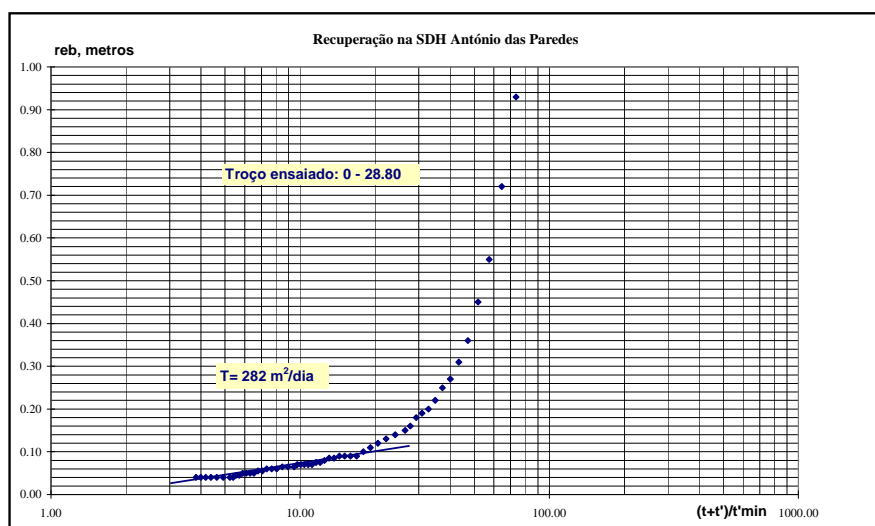


Figura 31 – Ensaio de recuperação na SDH Azinhal

Na sondagem do Monte do Azinhal obteve-se uma transmissividade de $204 \text{ m}^2/\text{dia}$ para o troço dos 0 aos 30 m. Para o troço de 82,5 aos 112, 5 m obteve-se um rebaixamento residual de 35 cm. Uma vez que a recta não passa na origem das coordenadas o valor de transmissividade de $139 \text{ m}^2/\text{dia}$ não é um valor real. No entanto como o rebaixamento residual não é grande pode-se admitir o valor calculado para transmissividade como válido numa perspectiva optimista.



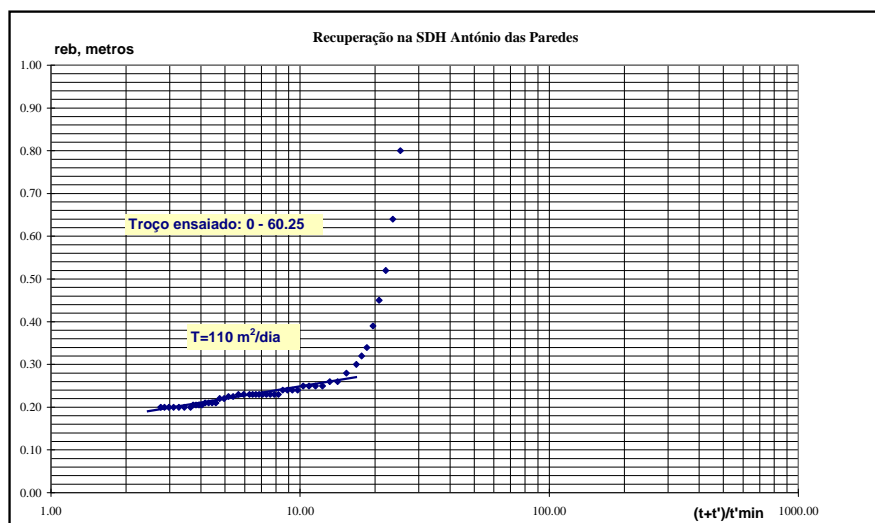
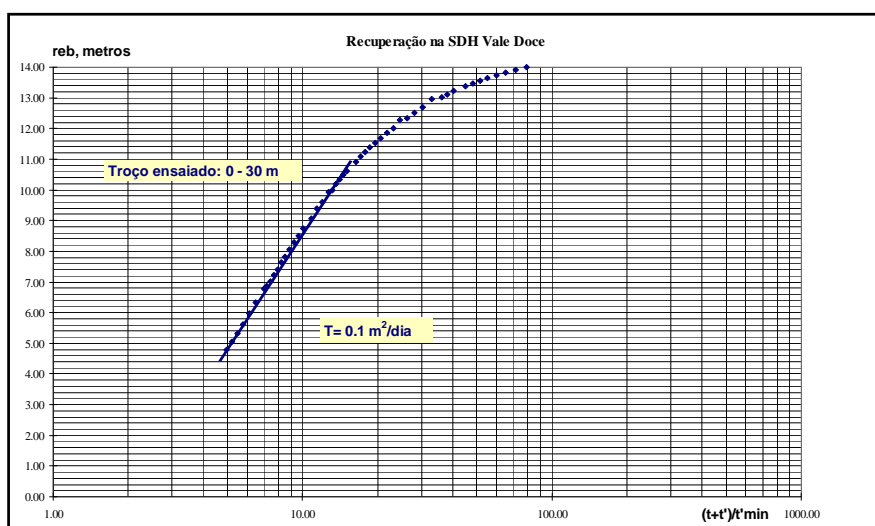


Figura 32 – Ensaio de recuperação na SDH António das Paredes

Na sondagem de Sto. António das Paredes ensaiou-se os primeiros 29 m nas rochas ultrabásicas e obteve-se uma transmissividade de 282 m²/dia. No segundo ensaio houve um rebaixamento residual de 15 cm que pode ser considerado pouco significativo. A transmissividade no segundo ensaio é de 110 m²/dia.



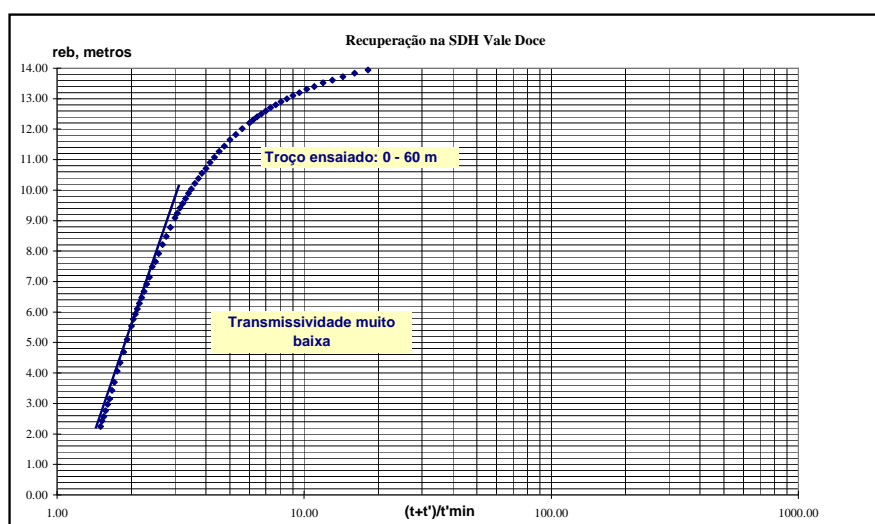


Figura 33 – Ensaio de recuperação na SDH Vale Doce

A SDH Vale Doce teve como objectivo avaliar as potencialidades hidrogeológicas dos ortognaisses graníticos e sienitos hipercalinos que contactam com os calcários e os conglomerados, no flanco NE da estrutura, e se encontram intruídos naqueles a norte e a sul do sistema. Por outro lado pretendia-se avaliar se existia alguma cedência de água dos calcários e conglomerados para estas formações, existindo uma divergência de fluxo para NE, ou se o fluxo se processava na totalidade para SW.

A sondagem foi construída numa zona potencialmente favorável, com acidentes transversais a ambas as formações. O log da sondagem comprova que foram intersectados acidentes dos 31.3 aos 36.4, dos 42.5 aos 43.3 m e dos 45.3 aos 46 m. No entanto os ensaios de bombagem mostram que a formação naquela área não consegue transmitir água em condições de ser explorada economicamente. Assim esta formação embora por vezes esteja englobada na unidade de gestão do sistema aquífero não faz parte do mesmo.

Confirma-se que não existe cedência de água dos calcários e conglomerados para estas formações e que a recarga existente nos cabeços da Herdadinha do Nabo e de Santo Cristo gera um fluxo no sentido no SW.

◇ Ensaio de bombagem e recuperação

Ensaio de bombagem e recuperação no Monte dos Esquerdos

Efectuou-se um ensaio de bombagem seguido de recuperação no furo 384G023 do Monte dos Esquerdos com bomba submersível. A bombagem teve a duração de 22 horas e 52 minutos com um caudal constante de 3.8 l/s. O ensaio foi interpretado pelo método de Jacob e calcularam-se os valores da transmissividade.

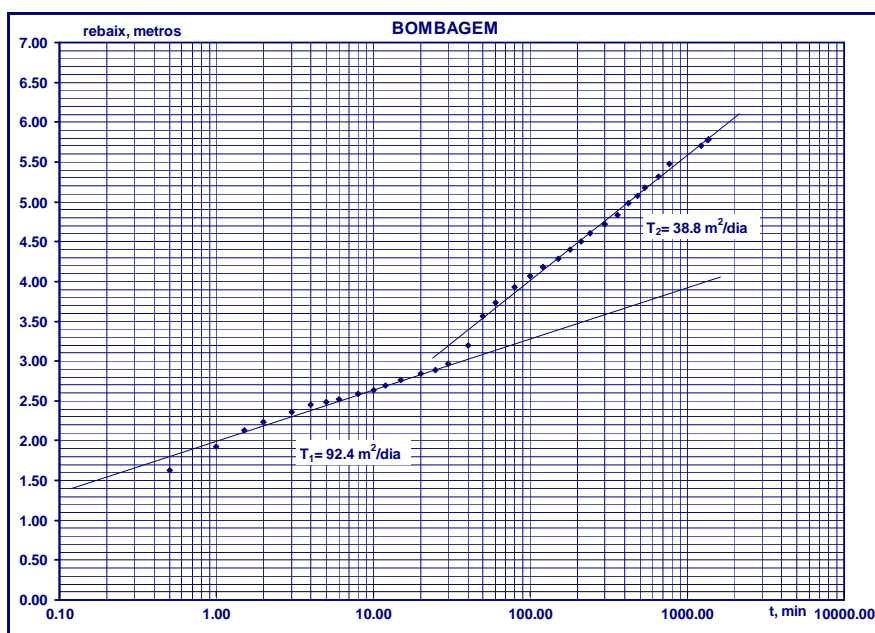


Figura 34 - Interpretação da evolução dos níveis durante a bombagem

A observação da **figura 34** sugere a existência de uma barreira negativa, impermeável. É possível definir dois troços rectilíneos onde o declive do 2º troço é praticamente o dobro do declive do 1º troço. A transmissividade real dada pelo 1º troço é de $92 \text{ m}^2/\text{dia}$ e a transmissividade do 2º troço é de $39 \text{ m}^2/\text{dia}$, ou seja sensivelmente metade do 1º. Esta afirmação é consubstanciada pelo contexto geológico do local. O furo onde se realizou o ensaio situa-se numa estreita faixa de calcários do Câmbrio a cerca de 70 metros do contacto com os ortognaisses graníticos e sienitos hiperalcalinos, pouco permeáveis.

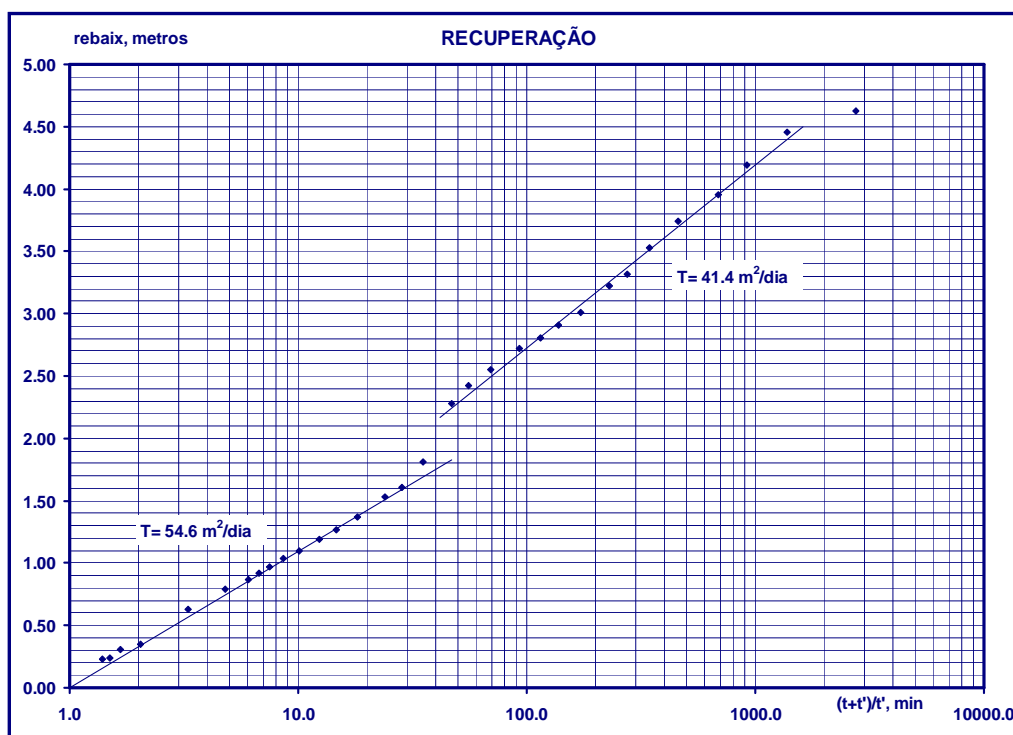


Figura 35 - Interpretação da recuperação dos níveis após bombeamento

No ensaio de recuperação (**figura 35**) é igualmente possível definir dois troços rectilíneos com diferentes transmissividades. Quer no ensaio de bombagem quer no de recuperação a quebra dos dois troços dá-se aos 40 min. A transmissividade obtida no ensaio de recuperação para o 2º troço é semelhante ao obtido no ensaio de bombagem e é de 41 m²/dia. O 1º troço tem uma transmissividade mais baixa relativamente ao ensaio de bombagem de 55 m²/dia.

Ensaio de bombagem e recuperação na Herdade de Palma realizados em Dezembro de 94 sob a responsabilidade de Marques da Costa.

Foi feito um ensaio de bombagem a caudal constante seguido de recuperação na Herdade de Palma com bomba submersível. A bombagem teve uma duração de 30 horas e 15 minutos e foi efectuada no furo 384G002. Os furos 384G001 e 384G003 foram utilizados como piezómetros.

Os dados foram tratados segundo o método de Theis e calcularam-se os parâmetros hidráulicos do aquífero. Importa referir o comportamento “anómalo” observado no piezómetro 384G003, que continuou a rebaixar após a paragem da bomba no furo de extracção.

O piezómetro 384G003 está localizado a 210 metros da captação e sofreu, após as 30 horas e 15 minutos de bombagem, um rebaixamento de 8 cm. Depois de parada a bomba, o nível piezométrico continuou a descer até aos 20 cm. Este comportamento poderá ser explicado partindo do pressuposto que a ele está associado um nível suspenso, que entra em regime de drenância quando se dá o rompimento entre o nível dinâmico regional e este. Assim, com o final da bombagem, o nível no piezómetro continuará a baixar até ao esgotamento dos recursos que lhe estão associados, ou até que se retome o contacto entre os dois níveis.

Os valores dos parâmetros hidráulicos encontrados para cada um dos furos estão apresentados no **Quadro 12**.

Quadro 12 - Parâmetros hidráulicos dos piezómetros 384G001 e 384G003 e da captação 384G002 determinados pelo ensaio de bombagem realizado na Herdade de Palma

Ponto de Água		Transmissividade	Coef. de Armazenamento
384G001	Piezómetro	176 m ² /dia	2,15x10 ⁻³
384G003	Piezómetro	257 m ² /dia	2,48x10 ⁻²
384G002	Captação	133 m ² /dia	---

O valor de coeficiente de armazenamento, calculado para o piezómetro 384G001 é excessivamente baixo para um aquífero livre, mas pode reflectir algum confinamento pelos níveis mais xistosos, que devem ter sido intersectados nos primeiros metros do furo de bombagem e do piezómetro. O valor mais representativo deste parâmetro, na maior parte do aquífero, e em especial na respectiva área de recarga, deve ser significativamente maior, mais próximo do verificado no piezómetro 384G003. Contudo, só um estudo regional poderá fazer uma estimativa mais aproximada deste parâmetro. Noutras zonas, com rochas carbonatadas do Câmbrio, têm sido encontrados valores em geral superiores a 2x10⁻², assim como valores mais elevados de transmissividade, o que também é habitual neste tipo de aquíferos carbonatados.

A transmissividade está directamente relacionada com a permeabilidade e a espessura do aquífero; assim, encontram-se normalmente nos aquíferos fissurados e, de forma ainda mais acentuada nos meios cársicos, grandes variações, uma vez que são meios muito heterogéneos e, por vezes anisótropos. Além das heterogeneidades que se reflectem nos

valores de transmissividade calculados, importa referir que a evolução de níveis observada é característica de um furo situado próximo dos limites do próprio aquífero.

Num sistema aquífero regional, a recuperação de níveis após uma extracção de cerca de 1500 m³ de água deveria ser completa, no entanto verificou-se um rebaixamento residual de 1,2 metros.

Este facto poderá ser explicado partindo do pressuposto que o sistema aquífero carbonatado, devido à sua heterogeneidade, seja composto por pequenos aquíferos locais independentes à escala temporal da duração da bombagem, mas ligados entre si considerando uma escala temporal sazonal. Não foi detectada qualquer barreira positiva, susceptível de representar comunicação hidráulica entre o aquífero captado e o sistema a nível regional.

4.6 – Distribuição espacial de caudais

4.6.1 - Resultados e interpretação

Os dados de caudais de captações e nascentes foram obtidos a partir da compilação dos caudais de exploração recomendados nos relatórios de execução das captações, estimados a partir da capacidade das bombas instaladas nos furos e sempre que possível medidos directamente no campo. A inexistência de contadores de caudal instalados nos furos camarários e particulares não permite saber concretamente quais os caudais extraídos e o volume de recursos utilizados ao longo do tempo. Os valores obtidos são muitas vezes função das necessidades do proprietário do furo e não correspondem às reais capacidades do aquífero. Neste contexto apresenta-se no **quadro 13** as principais estatísticas das produtividades de furos das formações carbonatadas em l/seg. Constatase que 50% dos furos tem caudais compreendidos entre 1,8 e 6 l/s. As heterogeneidades do meio cársico-fissurado contribuem para a variabilidade da produtividade que apresenta um valor mínimo de 0.04 l/s e um máximo de 16.5 l/s.

Quadro 13 - Principais estatísticas de caudais de furos nas formações carbonatadas

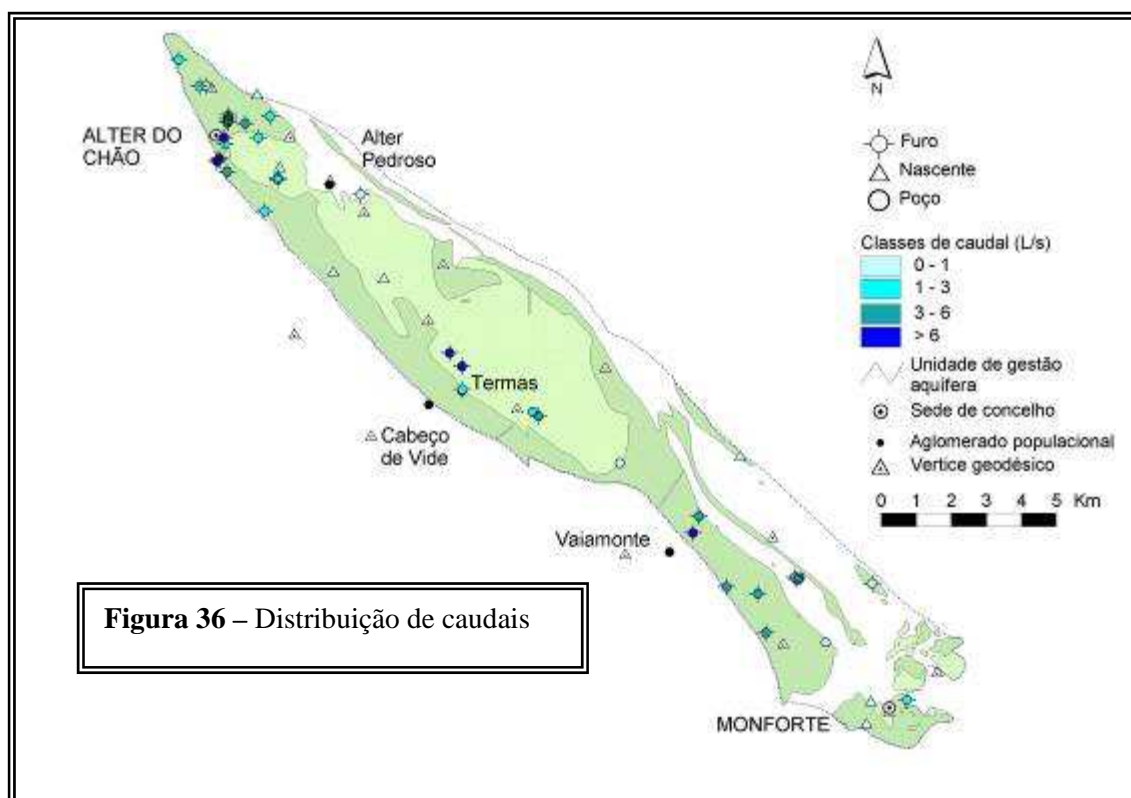
n	mínimo	1º Q	mediana	3º Q	máximo	média
27	0.04	1.81	3.33	5.97	16.50	4.88

Os caudais medidos nas nascentes do aquífero cársico-fissurado oscilam entre 0.09 e 0.86 l/s.

Nas formações básicas e ultrabásicas conhecem-se 5 valores de caudal de furos camarários. No extremo norte da mancha junto de Alter do Chão os furos fornecem 1.69 e 1.99 l/s. Junto a Cabeço de Vide os furos fornecem caudais de 5.5, 10.5 e 16 l/s. Os caudais das nascentes oscilam entre 0.2 e 2 l/s.

A formação dos ortognaisses graníticos e sienitos hipercalinos tem baixa produtividade com caudais compreendidos entre 0.04 e 1.67 l/s. Parte desta formação está incluída na unidade de gestão do sistema aquífero mas dada a fraca produtividade não é considerada aquífero. Salienta-se que os furos com maior produtividade localizam-se próximo do contacto com os calcários.

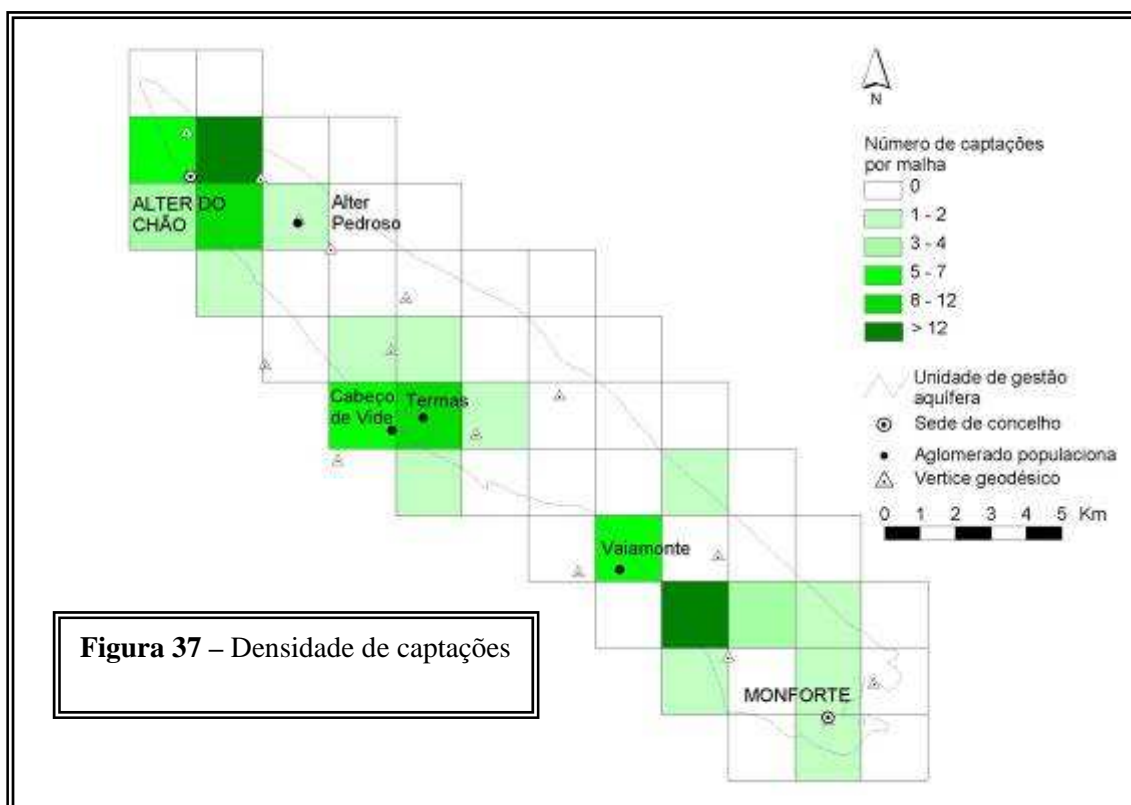
Em termos de distribuição espacial (**figura 36**) os furos mais produtivos situam-se no bordo sudoeste do sistema para ambos os tipos de formações.



4.7 – Densidade de captações verticais profundas

No mapa da **figura 37** é possível observar a distribuição do número de captações existentes no sistema por cada 4 km². Existem 3 áreas críticas onde se concentra um número superior a 8 captações por cada 4 km², nomeadamente em Alter do Chão,

Cabeço de Vide e a SE de Vaiamonte junto a Torre de Palma. Esta concentração de captações encontra justificação na proximidade das sedes de concelho e de freguesia. A abertura de novos furos para abastecimento público é normalmente feita na proximidade de pólos de extracção e sistemas adutores já existentes. As áreas em branco, sem captações, não tem forçosamente a ver com a menor produtividade das formações mas sim com o tipo de ocupação do solo e distribuição dos aglomerados populacionais. Contudo poder-se-á afirmar que o alinhamento de relevos no bordo nordeste do sistema são zonas menos produtivos e correspondem a áreas preferenciais de recarga. Ao longo do bordo sudoeste a organização do sistema de condutas reflecte-se no padrão de distribuição das nascentes.



4.8 - Caracterização e quantificação de usos

A água consumida na área do sistema, para diversos usos, é de origem subterrânea e provem na totalidade do sistema aquífero. Existem algumas charcas ou pequenas barragens para agricultura, que embora retenham alguma água de origem superficial, são construídas junto a nascentes ou são alimentadas por furos.

De um total de 152 pontos de água inventariados no sistema, 79 correspondem a furos dos quais 5 foram abandonados, 46 a poços e 22 a nascentes. O tipo de utilização dado a cada ponto de água pode ser visualizado no **quadro 14** e a respectiva distribuição espacial na **figura 38**. Do total de pontos de água 20% são para abastecimento público, 74% para abastecimento particular, 3% para monitorização do sistema aquífero e 3% encontram-se abandonados.

Quadro 14– Distribuição dos tipos de pontos de água pelos diferentes usos

Usos	Furos	Poços	Nascentes	Total
Abastecimento privado e agrícola	31	12	2	45
Abastecimento público	24	3	3	30
Abastecimento agrícola	16	31	17	64
Abastecimento industrial	3			3
Piezómetros	5			5
Abandonados	5			5
Total	84	46	22	152

O abastecimento público é assegurado por 30 pontos de água dos quais 6 pertencem ao concelho de Fronteira e abastecem Cabeço de Vide, 10 pertencem a Monforte e 14 a Alter do Chão. Os números aqui apresentados incluem os furos de reserva, e no caso de Cabeço de Vide, as nascentes existentes nas Termas utilizadas frequentemente pela população.

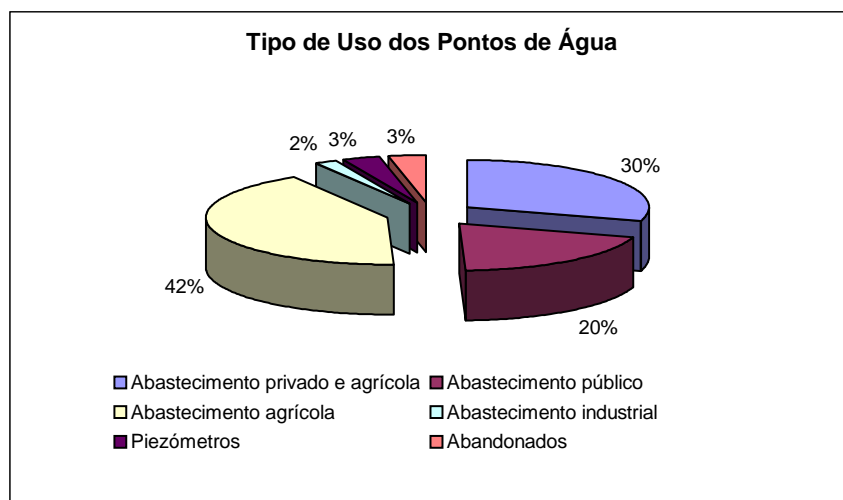
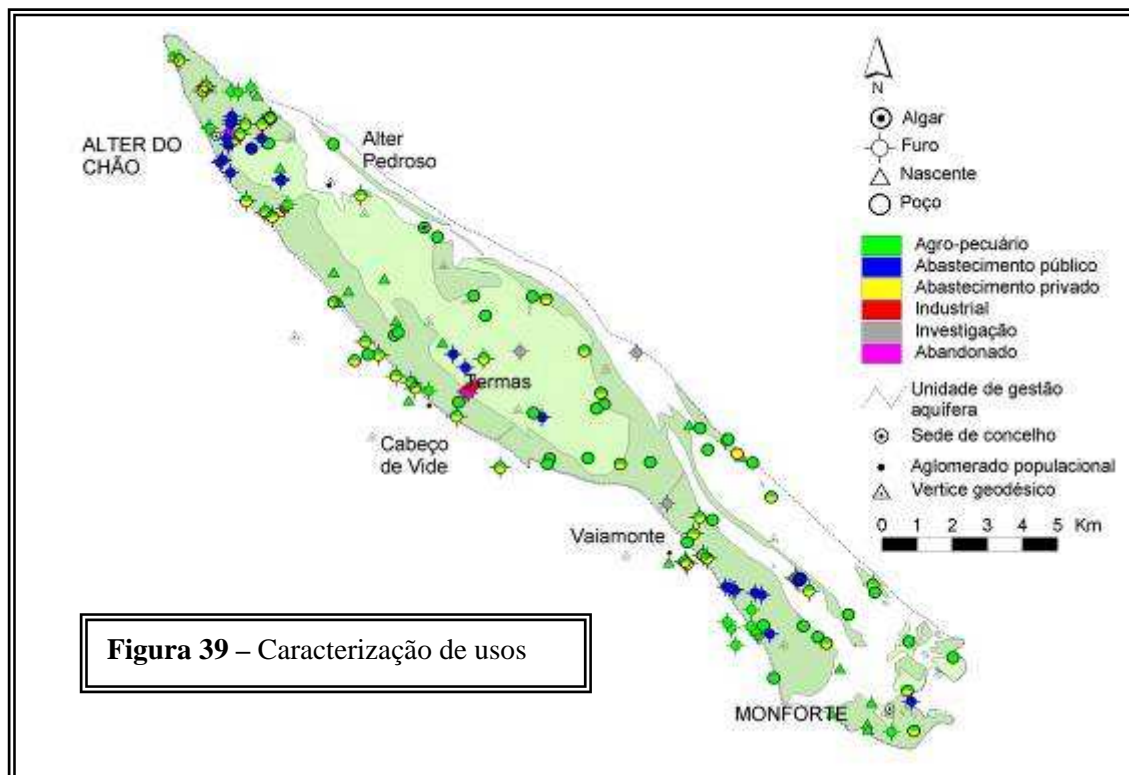


Figura 38 - Valores percentuais dos diferentes tipos de usos

A **figura 39** reflecte o carácter eminentemente agrícola da região e a dependência do sector das águas subterrâneas. Com efeito dos 74% para abastecimento particular verifica-se que 42% dos pontos de água são para abastecimento agrícola e 30% para abastecimento misto, agrícola e particular. Não existem registos de pontos de água exclusivamente para abastecimento particular. Apenas 2 % dos pontos de água são para abastecimento industrial.



4.9 - Previsões quanto ao futuro

A partir do sistema aquífero Monforte-Alter do Chão são abastecidas na integra as populações das sedes de concelho de Monforte, Alter do Chão, das freguesias de Cabeço de Vide e Vaiamonte e do lugar de Alter Pedroso. Actualmente as autarquias possuem um sistema de abastecimento dimensionado face às necessidades. Para tal foram construídos 3 novos furos para reforçar o abastecimento a Alter do Chão e Alter Pedroso e 1 furo novo para reforço do abastecimento de Monforte e Vaiamonte.

As previsões para os próximos anos quanto ao crescimento demográfico apontam para uma estabilização do número de habitantes através de um crescimento na ordem dos 1,4% que irá inverter o crescimento negativo registado nas últimas décadas (PDM's de Alter do Chão e Monforte). A evolução demográfica registada no período de 1864 a 1991 nas sedes de concelho de Monforte e Alter do Chão e no aglomerado de Vaiamonte podem ser observados no **quadro 15 e figura 40** . A sua análise evidencia uma tendência

negativa a partir da década de 50 e um decréscimo de população na ordem dos 50% desde os anos 50 até aos anos 90 (PDM's de Alter do Chão e Monforte). A principal causa é a emigração de jovens activos que contribui não só para um crescimento efectivo negativo mas também para a quebra do crescimento natural.

Quadro 15 - N.º de habitantes em Monforte, Vaiamonte e Alter do Chão desde 1864 até 1991

Ano	Monforte	Vaiamonte	Alter do Chão
1864	1342	775	-
1878	1540	823	-
1890	1721	862	-
1900	2029	1075	-
1911	2362	1119	-
1920	2276	1263	-
1930	2652	1197	-
1940	3264	1461	-
1950	3123	1563	-
1960	2839	1469	4838
1970	1660	788	3315
1981	1620	772	2880
1991	1471	684	2781

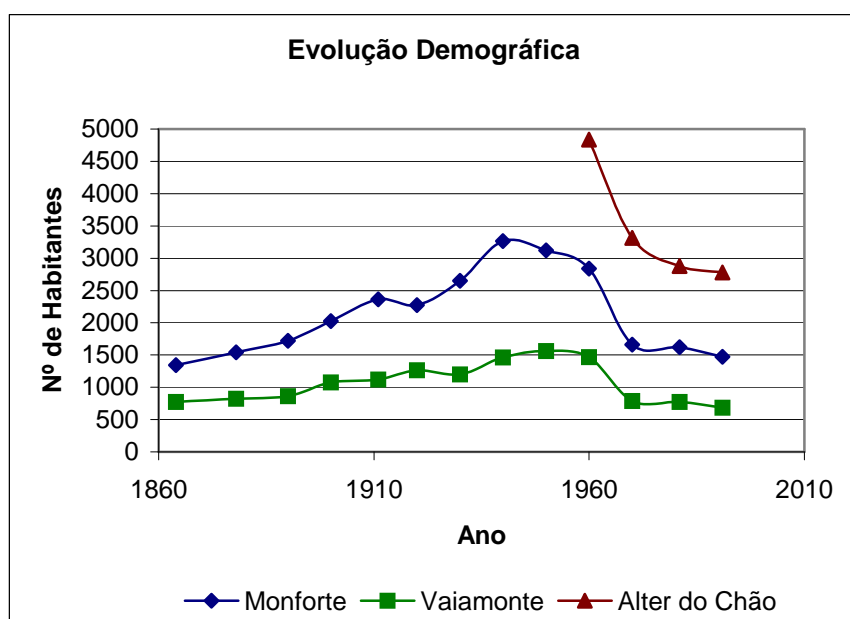


Figura 40 - Evolução demográfica em Monforte, Vaiamonte e Alter do Chão

Neste contexto prevê-se que os actuais sistemas de abastecimento estejam dimensionados para a evolução demográfica estimada. Contudo devem ser construídas captações de reserva por forma a prevenir situações inesperadas (ver capítulo Princípios e recomendações de planeamento e gestão dos recursos hídricos subterrâneos).

Considerando uma capitação média de 130 l/hab/dia na época das chuvas e de 150 l/hab/dia na estiagem e uma tendência de estabilização do número de habitantes estima-se que o volume de extracções no aquífero para abastecimento público não exceda os 641680 l/dia durante a época das chuvas e 740400 l/dia na estiagem, ou seja cerca de 243096 m³/ano.

Considerando que o cálculo da recarga do sistema é da ordem dos 5.67 hm³/ano pode-se afirmar que o volume de recursos renováveis é bastante superior ao volume de recursos extraídos para abastecimento público e particular. Neste quadro não se prevê a necessidade de complementar o abastecimento com origens superficiais (por exemplo barragens) encontrando-se o sistema em condições de fornecer caudais superiores aos actualmente extraídos.

5 – Caracterização e descrição hidrogeológica – HIDROGEOQUÍMICA

5.1 – Caracterização da informação disponível

A informação disponível e que serve de base à caracterização hidrogeoquímica pode ser discriminada da seguinte forma:

- 140 análises físico-químicas relativamente completas tendo em vista a caracterização dos aniões e catiões principais presentes nas águas;
- 11 campanhas para controlo da evolução dos parâmetros Temperatura, Condutividade, pH e Potencial redox, em 55 pontos de água, nos meses de Julho 97, Agosto 97, Fevereiro 98, Junho 98, Outubro 98, Dezembro 98, Abril 99, Junho 99, Setembro 99, Novembro 99 e Fevereiro 00;

Do total das 140 análises físico-químicas, 30 correspondem ao período compreendido entre 1960 e 1995, mais especificamente 2 de 1960, 1 de 1983 e as restantes ao período compreendido entre 1992 a 1995. As restantes 110 análises foram realizadas no âmbito do ERHSA em três épocas diferentes, que se podem dividir em época de águas baixas de 97 (40 análises), época de águas altas de 97/98 (44 análises) e época de águas baixas de

98 (26 análises). Determinaram-se algumas estatísticas dos principais parâmetros analisados, para as 3 épocas anteriormente referidas, que se encontram expressas nos **quadros 16, 17 e 18**. A condutividade está expressa em $\mu\text{S}/\text{cm}$ e os restantes parâmetros em mg/l à excepção do pH. A distribuição dos pontos amostrados observa-se na **figura 41**.

Quadro 16 - Principais estatísticas para a época de águas baixas de 1997

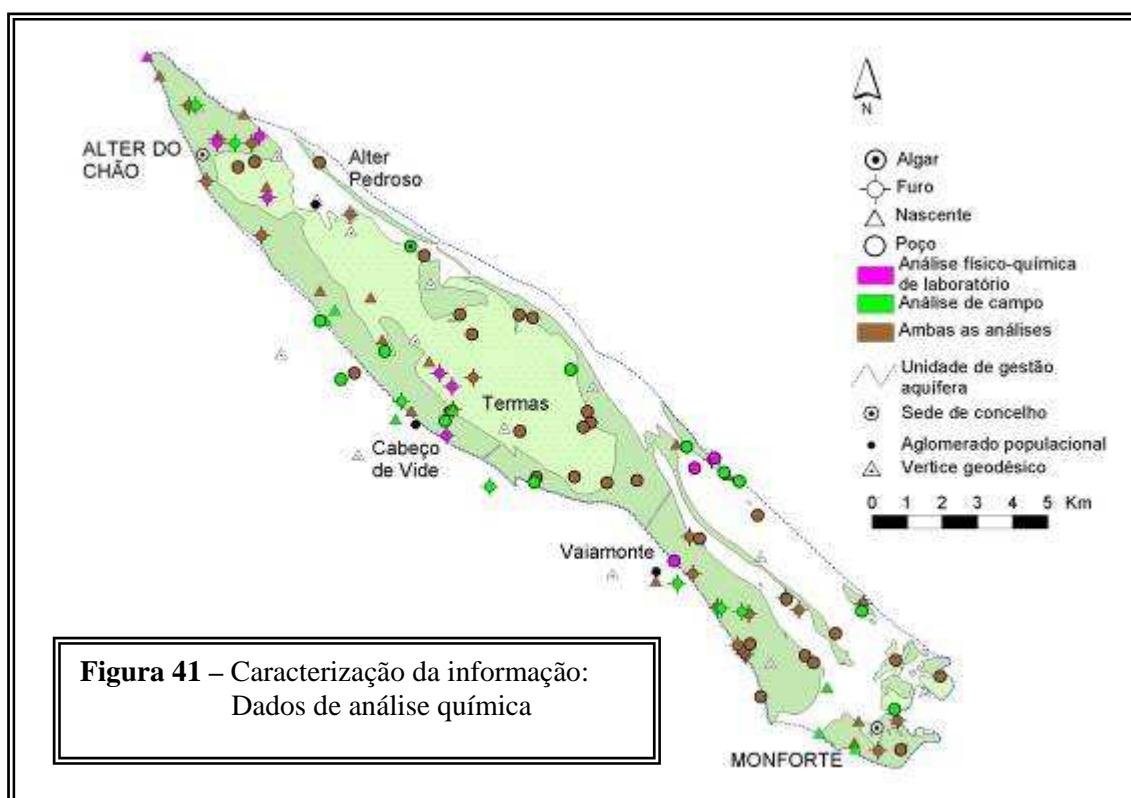
	n	média	Desvio padrão	mín.	Q ₁	mediana	Q ₃	máx.
Cond	40	710	294	334	630	712	776	2309
pH	36	7.5	0.3	6.8	7.31	7.48	7.62	8
Dureza	40	308	77	118	271	305	379	425
Alcalinidade	21	280	81	22	245	275	328	386
Resíduo	21	404	53	257	363	424	445	471
Na	31	18	7	9	13	16	24	39
K	31	1.2	0.9	0.4	0.5	1.2	1.6	4.2
Ca	31	87	31	30	52	95	108	143
Mg	31	25.8	18.4	0.2	12.8	24.4	30.9	83.3
Fe	10	0.2	0	0.09	0.14	0.19	0.21	0.22
HCO ₃	21	344	95	50	298	336	400	470
Cl	36	33	20	14	19	26	40	112
SO ₄	36	22	10	7	15	21	27	47
NO ₃	36	25.2	19.7	0	11.4	18.2	39.4	69.9
F	21	0.6	0.3	0.01	0.43	0.61	0.85	1.23
PO ₄	15	0.1	0.1	0.02	0.05	0.08	0.18	0.53
SiO ₂	40	34	14	18	23	31	42	73
CO ₂	21	23	11	10	17	19	27	48

Quadro 17 - Principais estatísticas para a época de águas altas de 1997-1998

	n	média	Desvio padrão	mín.	Q ₁	mediana	Q ₃	máx.
Cond	44	617	202	189	497	609	736	1134
pH	44	7.4	0.6	6.4	7.26	7.4	7.54	10.9
Dureza	44	343	139	48	274	336	426	680
Alcalinidade	44	255	110	13	204	265	325	606
Resíduo	44	423	139	133	358	405	510	854
Na	44	21	13	7	12	17	25	68
K	44	1.8	2.4	0.3	0.6	1.4	2	15.5
Ca	44	83	38	15	56	85	109	168
Mg	44	30	19	2	18	26	33	88
Fe	18	0.1	0.1	0.06	0.07	0.09	0.13	0.34
HCO ₃	44	302	114	47	235	306	371	606
Cl	44	37	28	10	15	25	54	136
SO ₄	44	27	16	1	17	27	35	77
NO ₃	44	46	47	2	15	31	61	205
F	26	0.7	0.7	0.04	0.2	0.47	0.93	3.29
SiO ₂	44	29	14	4	20	27	37	82
CO ₂	25	33	31	4	17	24	40	169

Quadro 18 - Principais estatísticas para a época de águas baixas de 1998

	n	média	Desvio padrão	mín.	Q ₁	mediana	Q ₃	máx.
Cond	6	655	164	447	526	655	731	918
pH	26	7.5	0.8	6.5	7.2	7.4	7.6	11.1
Dureza	26	330	108	94	259	351	422	494
Alcalinidade	26	277	93	34	220	301	344	411
Resíduo	26	440	149	235	317	421	485	784
Na	26	20	13	7	11	16	22	59
K	26	2.6	4.3	0.3	0.7	1.4	2	18.5
Ca	26	83	37	18	50	78	110	158
Mg	26	30	16	0.15	19	29	39	68
HCO ₃	26	291	107	34	220	312	368	480
Cl	26	35	28	8	18	22	50	111
SO ₄	26	25	13	3	17	22	26	60
NO ₃	26	36	42	0.2	13	19	40	149
F	6	0.7	0.2	0.58	0.61	0.64	0.86	0.98
SiO ₂	26	39	19	6	26	34	47	84
CO ₂	6	34	12	20	26	30	43	53



A análise comparativa das 3 épocas parece indicar relativa estabilidade no pH e nos iões Na, K, Ca, Mg, Cl, HCO_3 e F. Na época de águas altas verifica-se um incremento de iões externos, nomeadamente SO_4 e NO_3 , que pode ser justificado pela lexiviação de solos normalmente adubados em Setembro-Outubro nesta área. A condutividade e a SiO_2 tendem a diminuir na época de águas altas, provavelmente devido a processos de diluição. O ião Fe não foi analisado na época de águas baixas de 98 pelo que apenas se pode comparar as restantes duas épocas. Este ião apresenta uma tendência de diminuição na época de águas altas que poderá ser aparente ou eventualmente estar relacionada com fenómenos de oxidação devido à entrada de água mais oxidadas.

5.2 – Distribuições de pH, condutividade eléctrica, catiões e aniões

5.2.1 - Metodologias aplicadas

Seleccionaram-se as épocas de águas altas de 97-98 e águas baixas de 98 para representar a distribuição dos principais parâmetros analisados, à excepção da condutividade. Para este parâmetro apenas se disponham de 6 valores na época de águas baixas de 98 pelo que se optou por confrontar os valores da época de águas altas com a de águas baixas de 97.

A representação de cada parâmetro foi feita por classes cujos limites foram estabelecidos de acordo com o intervalo de variação e a frequência do parâmetro e os limites estabelecidos para a qualidade de água para consumo humano (Decreto-lei nº236/98).

5.2.2 - Resultados e interpretação

pH

As águas do sistema pertencem na maioria à classe 6,5-7,5 ou seja águas consideradas de pH neutro **(Figura 42)**.

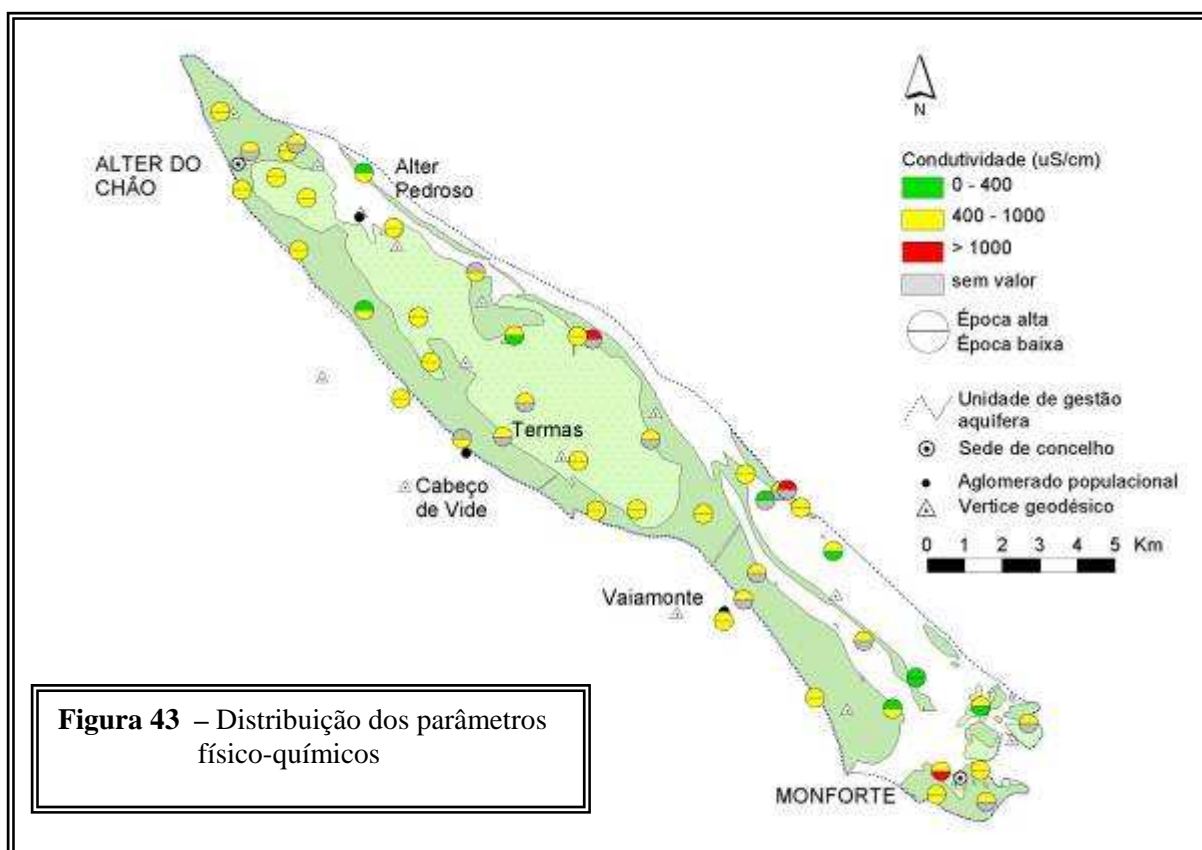
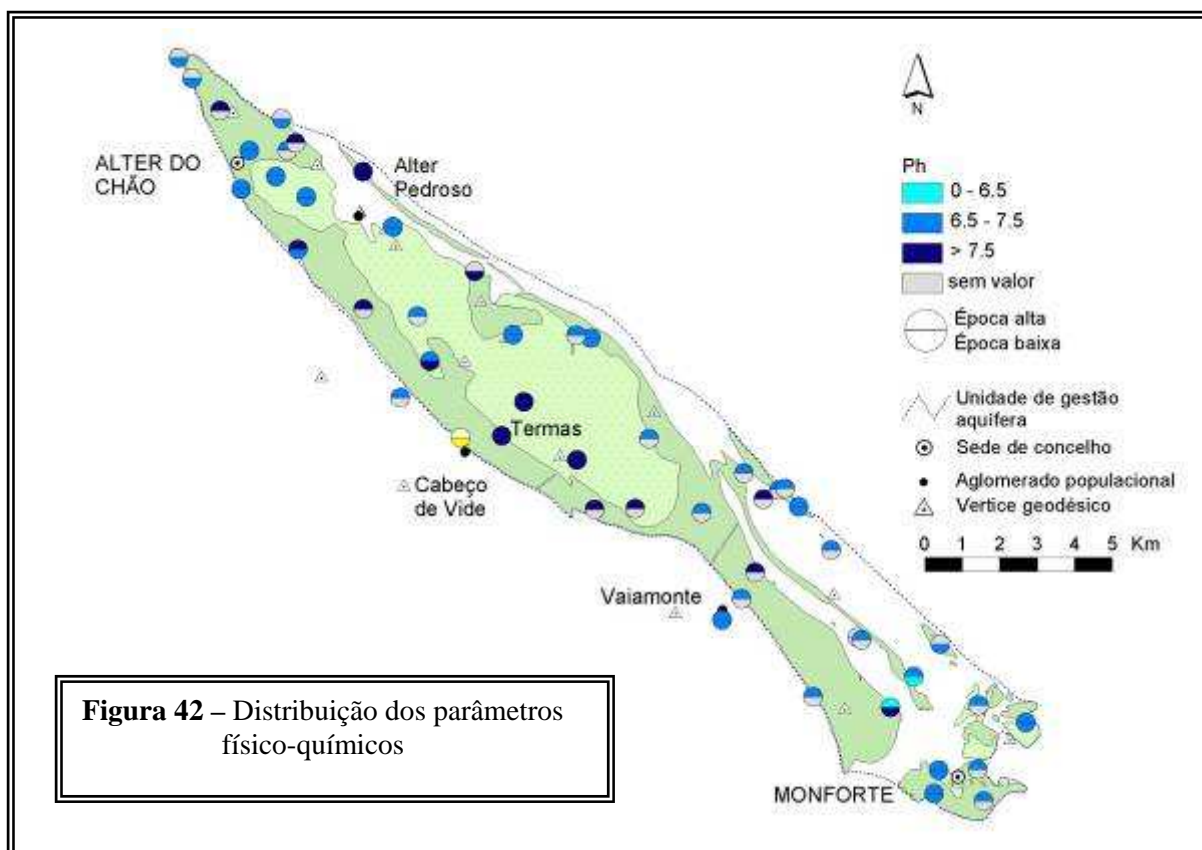
Os valores mais elevados deste parâmetro correspondem às águas das Termas de Cabeço de Vide com pH aproximadamente de 11. Globalmente as águas de circulação nas formações básicas e ultrabásicas (gabros, piroxenitos, dunitos, peridotitos e serpentinitos) têm o pH mais elevado (7,6-8,0) do que as águas que circulam em calcários.

Condutividade eléctrica

Este parâmetro apresenta maioritariamente valores da classe 2, entre os 400 e os 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, que se encontram acima dos valores desejáveis para águas de consumo humano **(Figura 43)**.

A análise estatística permite-nos verificar que na época de águas baixas de 98 50% dos valores estão compreendidos entre os 526 e os 731 $\mu\text{S}/\text{cm}$ que correspondem respectivamente aos 1º e 3º quartis. Na época de águas altas de 97/98 aos 1º e 3º quartis correspondem os valores de 497 e 736 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Os 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ são excedidos em três pontos amostrados, o poço 371G008 a norte, a nascente 384G032 a sul e entre ambos o poço 384G066. Estes pontos encontram-se associados a focos pontuais de contaminação:

- o poço 371G008 insere-se numa horta intensamente estrumada;
- o poço 384G066 situa-se junto a uma unidade de ordenha no Monte dos Esquerdos;
- a nascente 384G032 situa-se junto à fábrica de queijos de Monforte.



Dureza

As águas do sistema são de elevada dureza. A globalidade dos valores situa-se na classe 2 de 300 a 500 mg/l de CaCO_3 (**Figura 44**). O valor máximo admissível de 500 mg/l é excedido em 6 pontos apenas na época de águas altas. Para esta elevada dureza contribuem de forma idêntica o cálcio e o magnésio à excepção dos pontos 384G049 e 384G051 onde a contribuição do magnésio é preponderante.

Cálcio

O cálcio aparece maioritariamente representado pela classe 1 ou seja valores inferiores a 100 mg/l (**Figura 45**). Com efeito pela análise estatística verifica-se que 75% das amostras apresentam valores inferiores a 109 mg/l na época de águas altas de 97/98 e a 110 mg/l na época de águas baixas de 98.

Magnésio

A análise estatística deste parâmetro mostra-nos que 75% dos valores se encontram abaixo de 33 e 39 mg/l, respectivamente para as épocas de águas altas de 97/98 e baixas de 98. As 4 amostras que excedem os 50 mg/l (**figura 46**) correspondem a águas de circulação nas rochas básicas e ultrabásicas serpentinizadas pelo que o enriquecimento em magnésio deverá ter origem na serpentina que é um silicato de magnésio.

Sódio

A distribuição deste parâmetro no sistema corresponde maioritariamente à classe mais baixa com valores inferiores a 20 mg/l (**figura 47**). O 3º quartil calculado é de 25 mg/l para a época de águas altas de 97/98 e de 22 mg/l para a época de águas baixas de 98 o que significa que 75% da amostragem apresenta valores inferiores. Os valores mais elevados, entre 20 e 50 mg/l, situam-se próximo dos aglomerados populacionais de Monforte e Alter do Chão e nas zonas onde há criação de gado. Acima de 50 mg/l existem dois pontos, a norte o poço 371G008 que como já foi referido se situa numa horta intensamente estrumada e adubada, com criação de gado na envolvente, e a sul o furo das Termas de Cabeço de Vide que corresponde a uma água cujo perfil químico difere completamente do perfil das águas do sistema aquífero.

Potássio

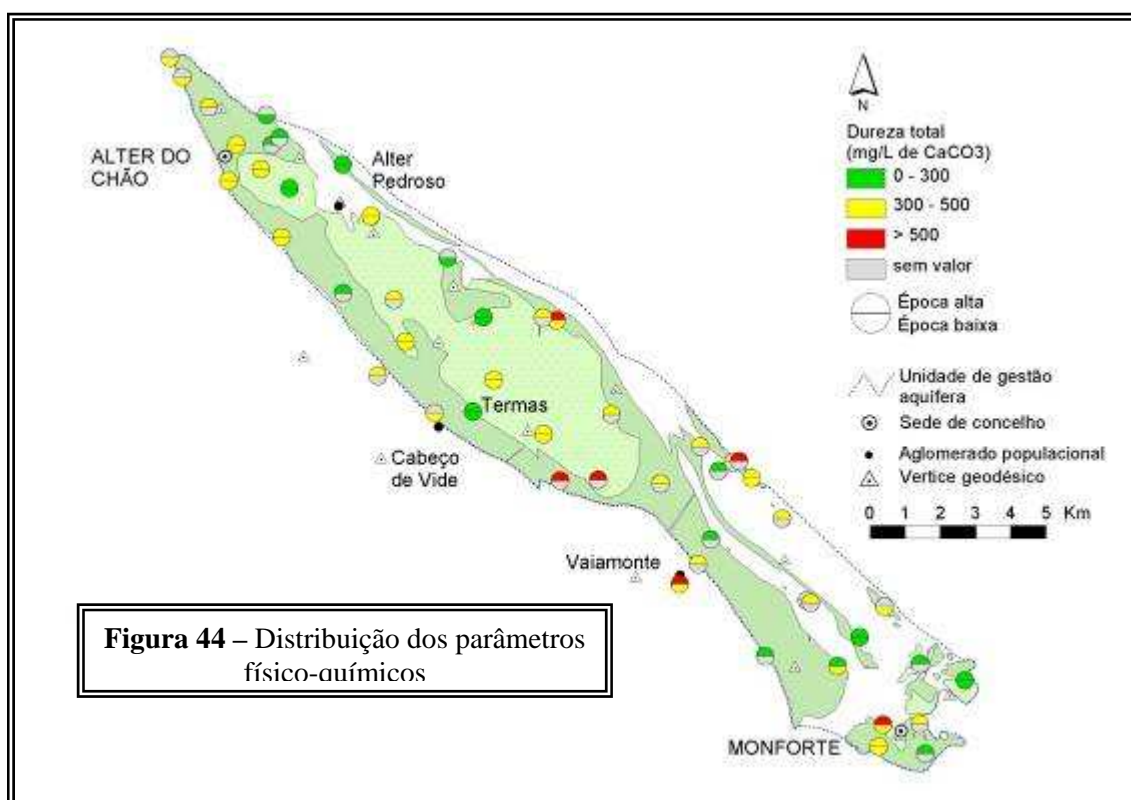
O potássio apresenta em todo o sistema aquífero valores inferiores a 10 mg/l com excepção de dois pontos de água (**figura 48**). Pela análise estatística verifica-se que 75 % da amostragem se situa abaixo dos 2 mg/l. Os pontos onde o valor é superior a 12 mg/l são o já referido poço 371G008 e na zona sul do sistema o furo 384G019, este último

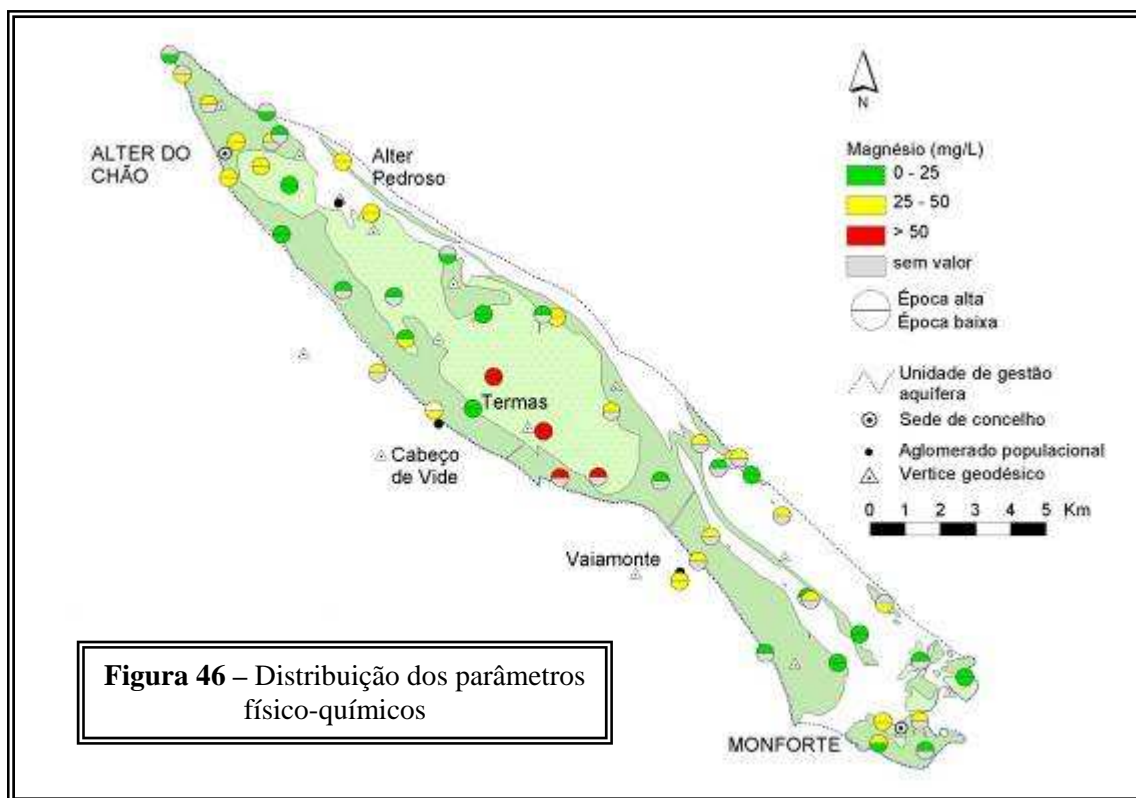
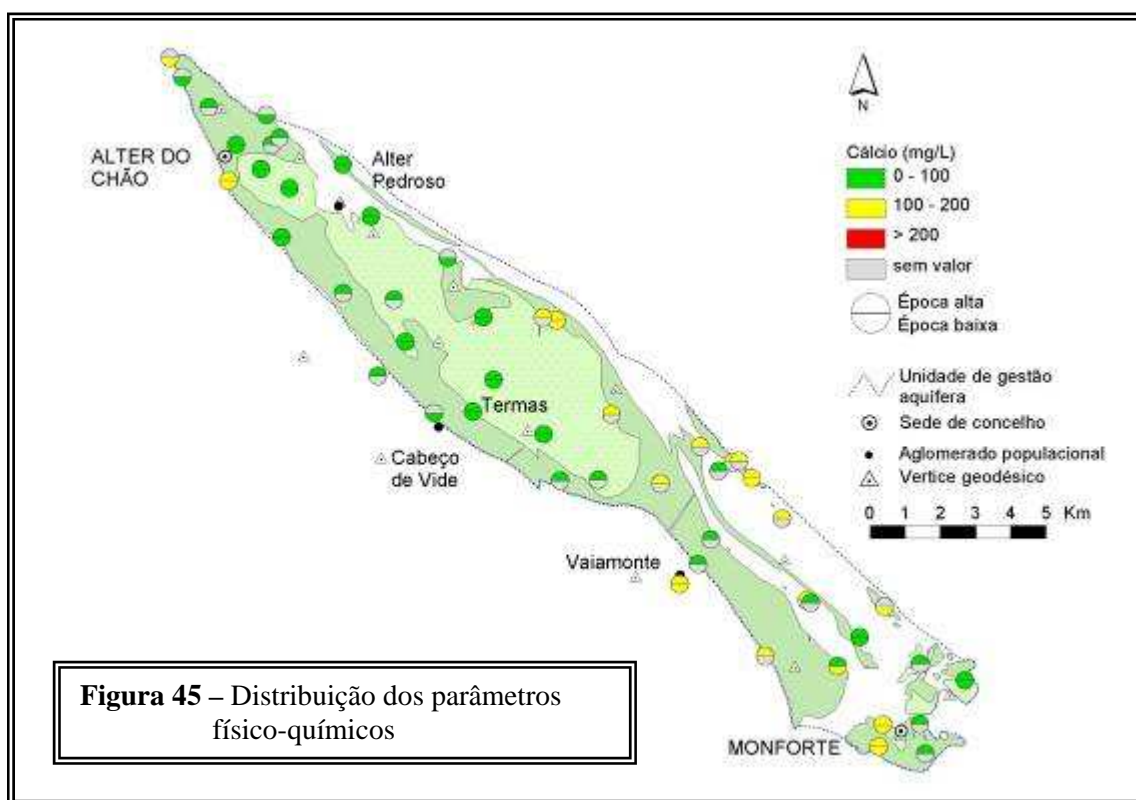
situado junto a uma zona de estacionamento de gado e a uns terrenos agrícolas com aplicação intensiva de adubos.

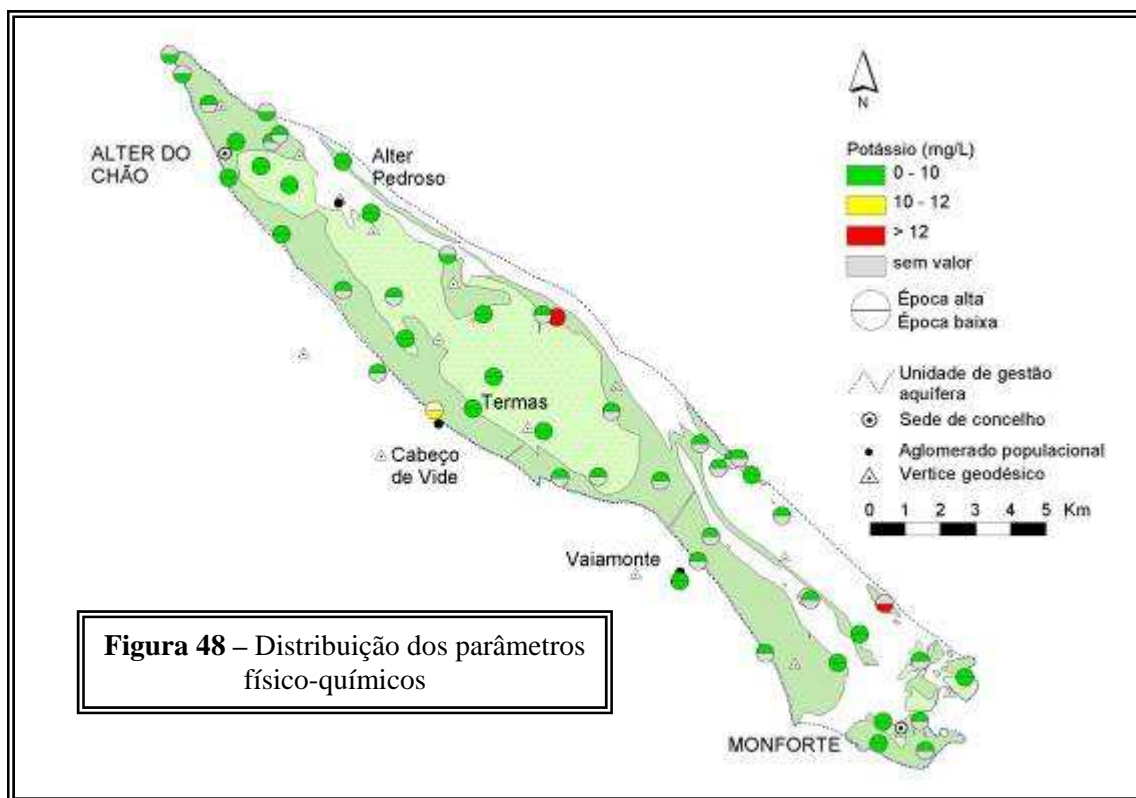
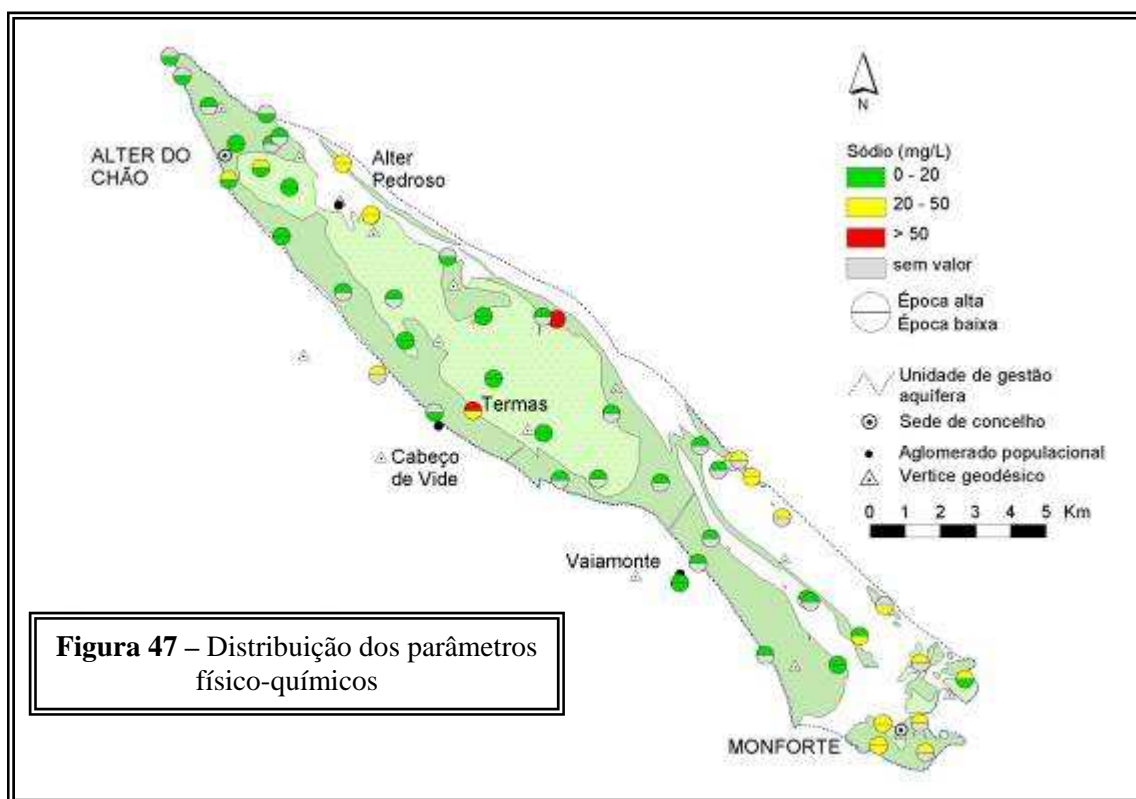
Cloreto

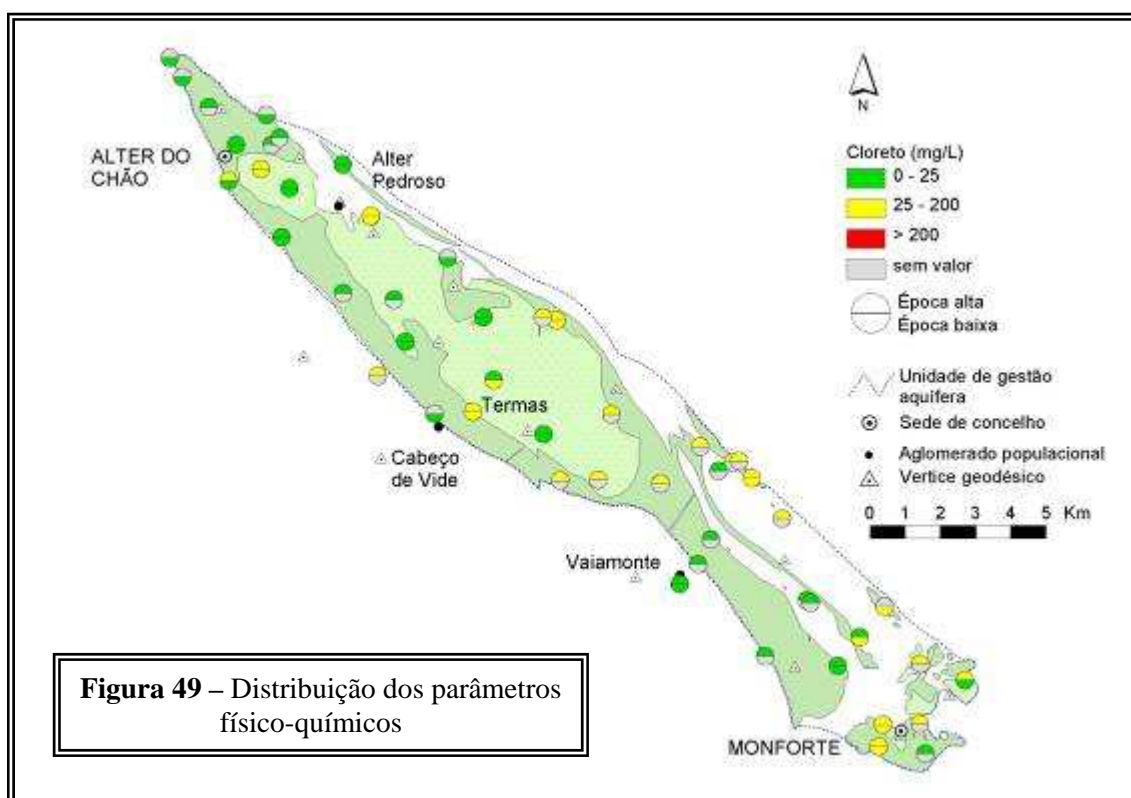
As medianas obtidas para o cloreto são 22 e 25 mg/l para as épocas de águas baixas de 98 e águas altas de 97/98, respectivamente. O que significa que aproximadamente 50% da amostragem se situa acima do valor máximo recomendável para águas de consumo humano. Aproximadamente 25% da amostragem encontra-se compreendida nos intervalos 50 a 111 mg/l (águas baixas de 98) e 54 a 136 mg/l (águas altas de 97/98).

Verifica-se que os valores mais elevados localizam-se essencialmente junto dos agregados populacionais e nas áreas onde há criação e estacionamento de gado (**figura 49**).









Sulfato

As medianas obtidas para o sulfato são 22 e 27 mg/l para as épocas de águas baixas de 98 e águas altas de 97/98, respectivamente. Os restantes 50% das amostras situam-se acima destes valores até aos limites máximos de 60 mg/l (águas baixas de 98) e 77 (águas altas de 97/98), ou seja nunca excedendo o valor máximo admissível. No entanto verifica-se um ligeiro incremento deste ião na época de águas altas (**figura 50**).

Bicarbonato

A análise estatística evidencia que, na época de águas baixas de 98, 50% da amostragem encontra-se compreendida entre 220 e os 368 mg/l que correspondem respectivamente ao 1º e 3º quartis. O valor mínimo encontrado é de 34 mg/l e o valor máximo é de 480 mg/l. No que respeita à época de águas altas de 97/98 os 1º e 3º quartis correspondem a 235 e 371 mg/l. O valor mínimo encontrado é de 47 mg/l e o valor máximo é de 606 mg/l.

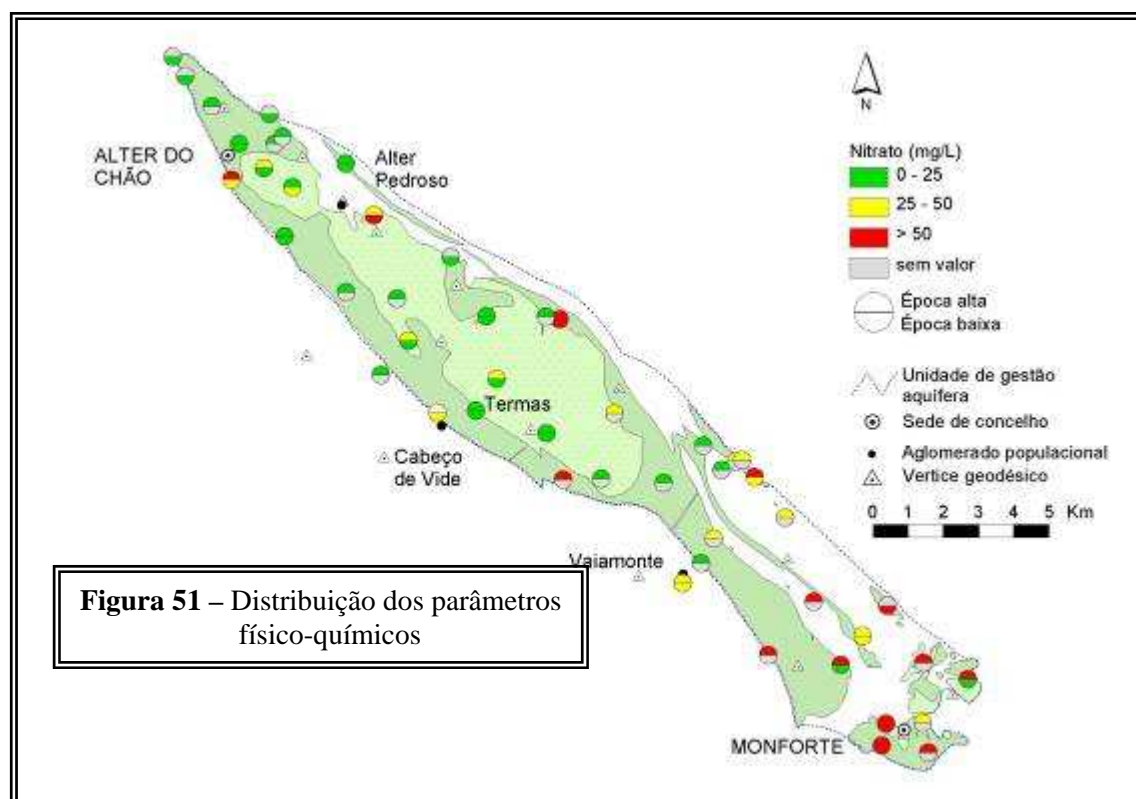
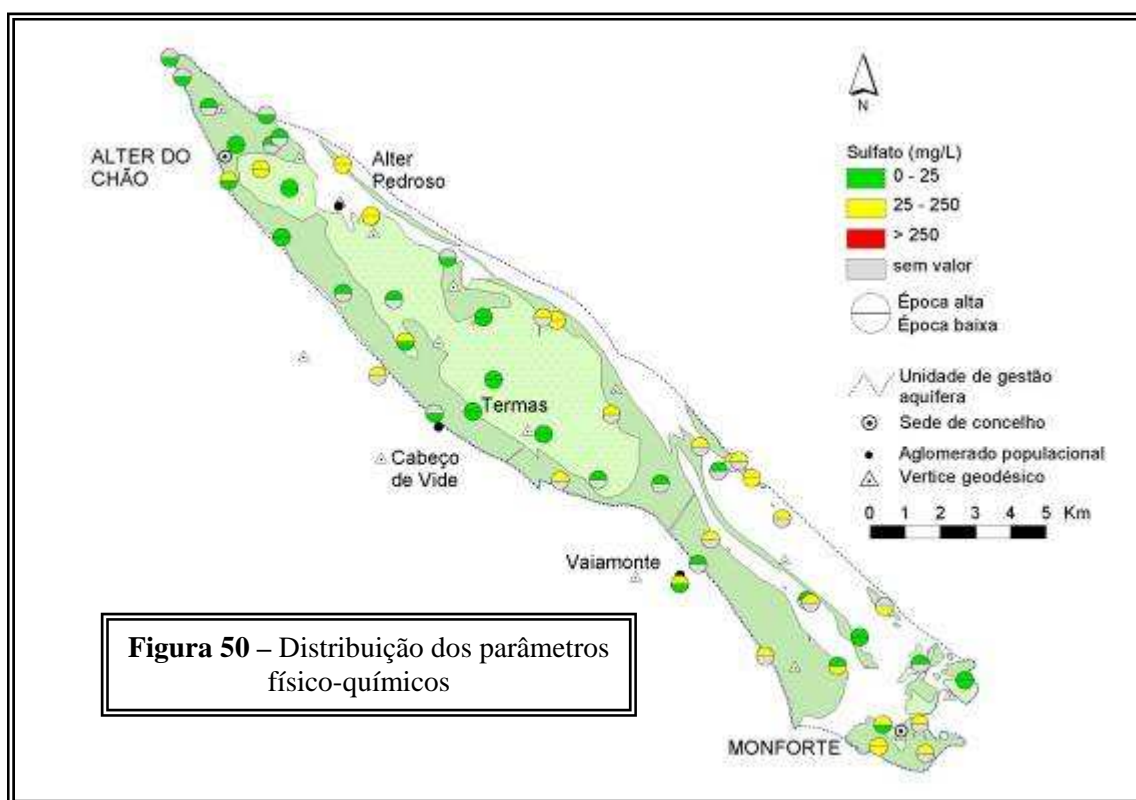
Nitrato

O nitrato aparece essencialmente representado pela classe 1 (0-25 mg/l) (**figura 51**). Na época de águas baixas de 98, 50% da amostragem encontra-se compreendida entre os 13 e os 40 mg/l, que correspondem ao 1º e 3º quartis. A mediana é de 19 mg/l e não foram detectados valores superiores a 149 mg/l. Na época de águas altas de 97/98 os 1º e 3º quartis são, respectivamente, 15 e 61 mg/l. A mediana é de 31 mg/l. Cerca de 25%

das amostras encontram-se compreendidas entre os 61 e 205 mg/l. É nítido o incremento do nitrato nesta época. Existem cerca de 14 pontos amostrados onde os 50 mg/l são excedidos:

- o ponto 370G001, furo de abastecimento público, situa-se no perímetro urbano de Alter do Chão junto a uma vala de drenagem de águas residuais que funciona como esgoto;
- os pontos 384G032 e 384G040, correspondem a nascentes situadas na periferia de Monforte, a primeira junto à fábrica de queijos de Monforte e a segunda a jusante do cemitério;
- os pontos 370G030, 384G049, 384G038, 384G019, 384G058 encontram-se em áreas, simultaneamente, de estacionamento de gado e agrícolas onde regularmente se aplicam adubos;
- os pontos 384G063, 384G002, 384G048, 384G060 inserem-se em áreas agrícolas com intensa aplicação de adubos;
- os pontos 371G008 e 384G056 situam-se em hortas intensamente estrumadas associados no primeiro caso a estacionamento de gado e no segundo à ETAR de Monforte que se situa a montante em termos de sentido de fluxo;

Poder-se-á afirmar que o excesso de nitrato existente nas águas subterrâneas do sistema provém essencialmente da lexiviação dos solos agrícolas intensamente adubados ou estrumados gerando uma contaminação difusa. Pontualmente existem algumas fontes que promovem descargas de águas residuais, tais como a fábrica de queijos de Monforte, colectores de águas residuais e provavelmente efluentes de ETAR's.



5.3 – Fácies hidrogeoquímicas

◈ Diagrama de Piper

Pela observação dos diagramas de Piper (**figuras 52, 53 e 54**) verifica-se que as fácies hidroquímicas dominantes nas águas do sistema aquífero são do tipo bicarbonatada cálcica e calco-magnesiana. Algumas amostras evidenciam uma fácies bicarbonatada magnésica. A observação dos três diagramas de Piper para as três épocas consideradas sugere que o perfil hidroquímico se mantém relativamente constante.

A água das termas de Cabeço de Vide apresenta um perfil hidroquímico distinto das restantes, do tipo cloretada-bicarbonatada sódica, com pH de 11, resíduo seco de 230 mg/l e uma temperatura de 22 °C. Esta água tem uma origem profunda e a sua ascensão dá-se ao longo de falhas.

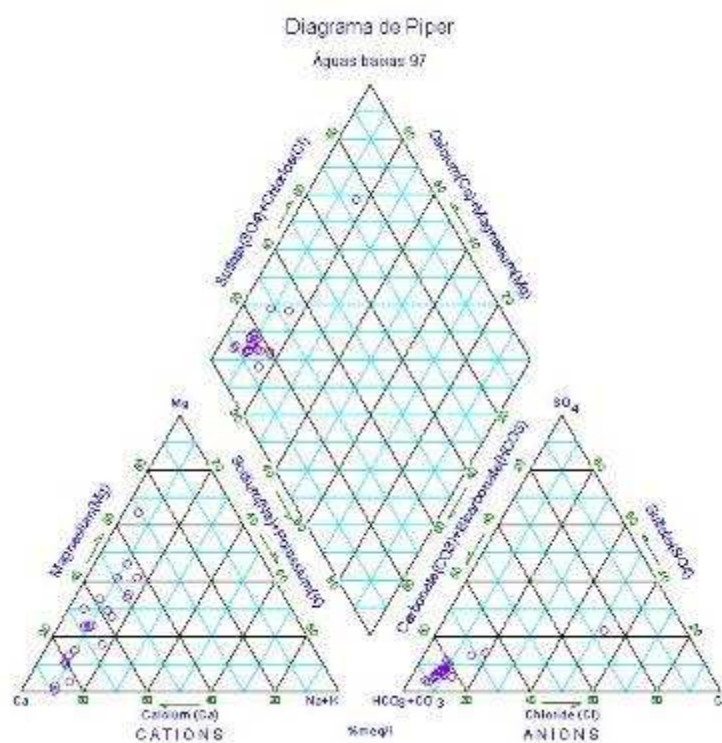


Figura 52 - Diagrama de Piper para águas baixas de 97

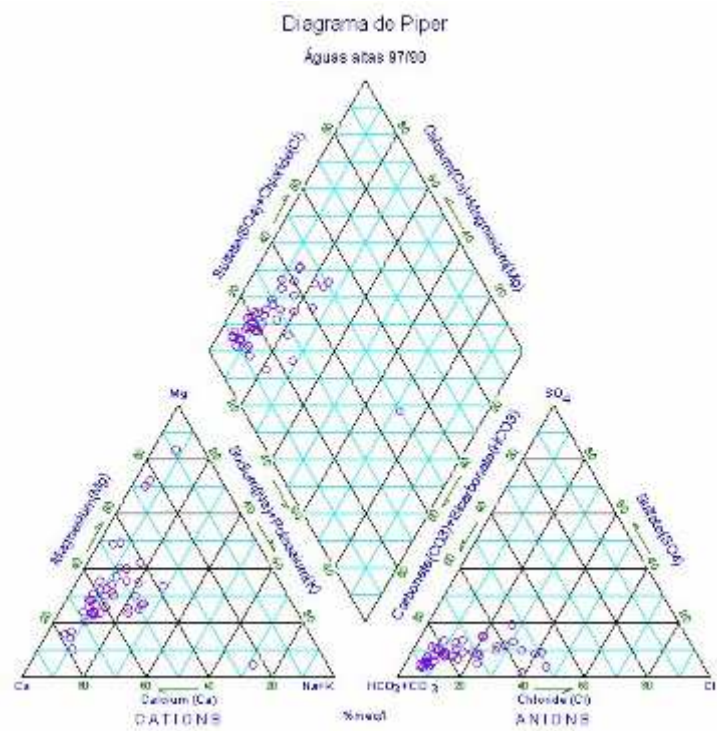


Figura 53 -Diagrama de Piper para águas altas de 97/98

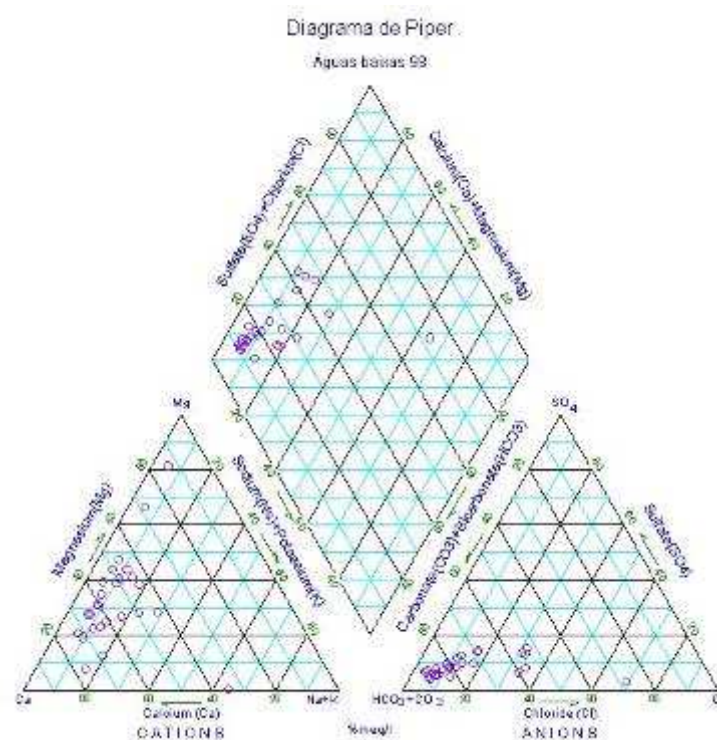
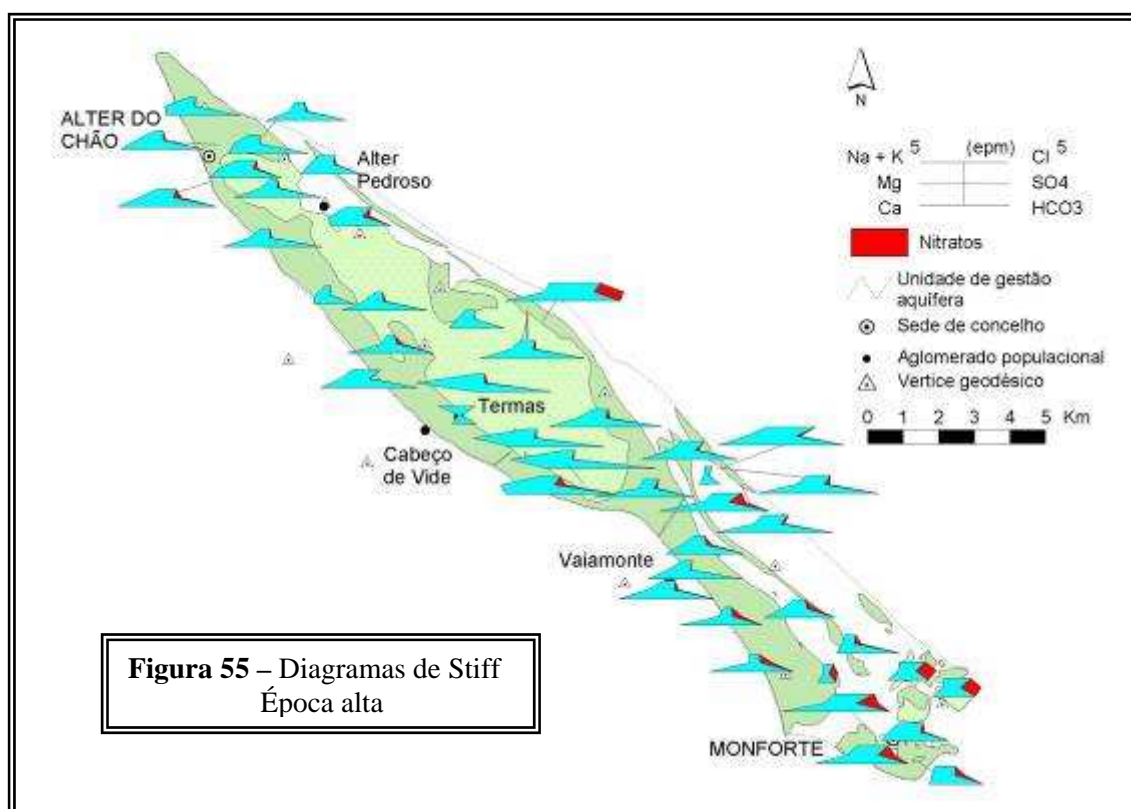
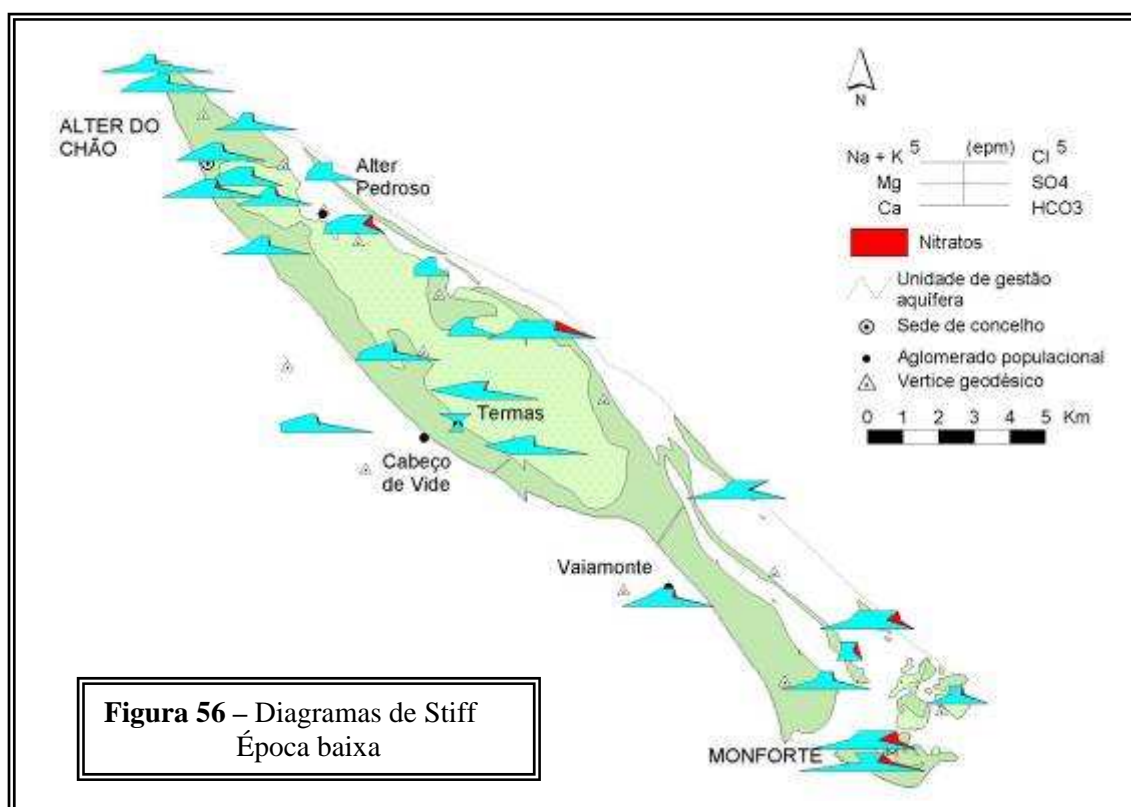


Figura 54 -Diagrama de Piper para águas baixas de 98

5.3.1 - Definição de manchas de fácies predominante e projecção dos diagramas de Stiff

No que respeita à distribuição espacial das fácies anteriormente referidas (**figuras 55 e 56**) as bicarbonatadas calco-magnesianas e cálcica são dominantes e distribuem-se de forma homogénea por todo o sistema. No bordo sul da mancha de gabros, junto a Cabeço de Vide, a fácies é bicarbonatada magnesianas e magnésica-cálcica, correspondendo a águas com algum tempo de circulação nos gabros serpentinizados pelo que apresentam enriquecimento em magnésio. A água das termas de Cabeço de Vide distingue-se das restantes, com uma fácies cloretada-bicarbonatada sódica-cálcica e baixa mineralização. Na zona de Monforte e ao longo do bordo norte do sistema nota-se um incremento do cloreto com fácies do tipo bicarbonatada-cloretada calco-magnesianas. O incremento de cloreto parece ter origem antrópica associado a áreas urbanas e de estacionamento de gado embora não se possa excluir a hipótese de resultar da mistura com águas de outras formações.





5.4 – Estados de saturação, problemas de incrustação e corrosão

Calcularam-se os índices de saturação em relação à calcite e dolomite para as épocas de águas altas de 97/98 e águas baixas de 98 recorrendo ao programa de especiação Hidspec (Carvalho & Almeida, 1989). Os resultados encontram-se expressos no **quadro 19** e a sua distribuição espacial nas **figuras 57 e 58**.

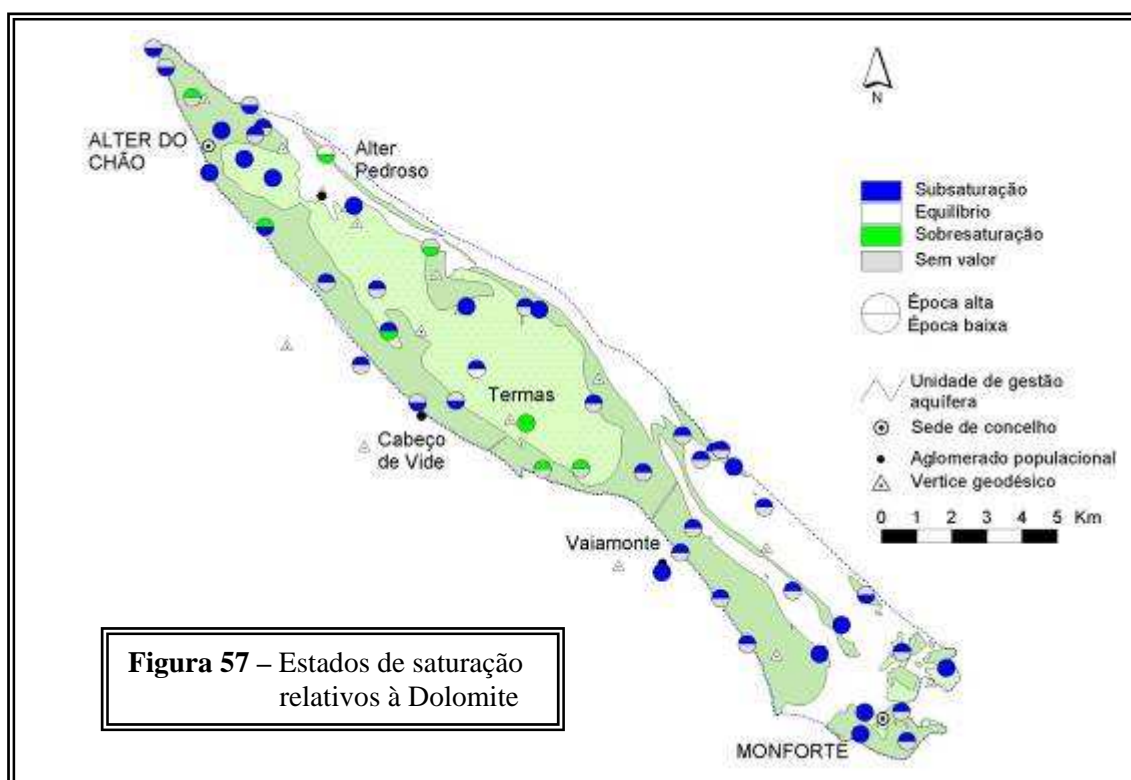
Quadro 19 - Distribuição do número de amostras relativamente ao estado de saturação

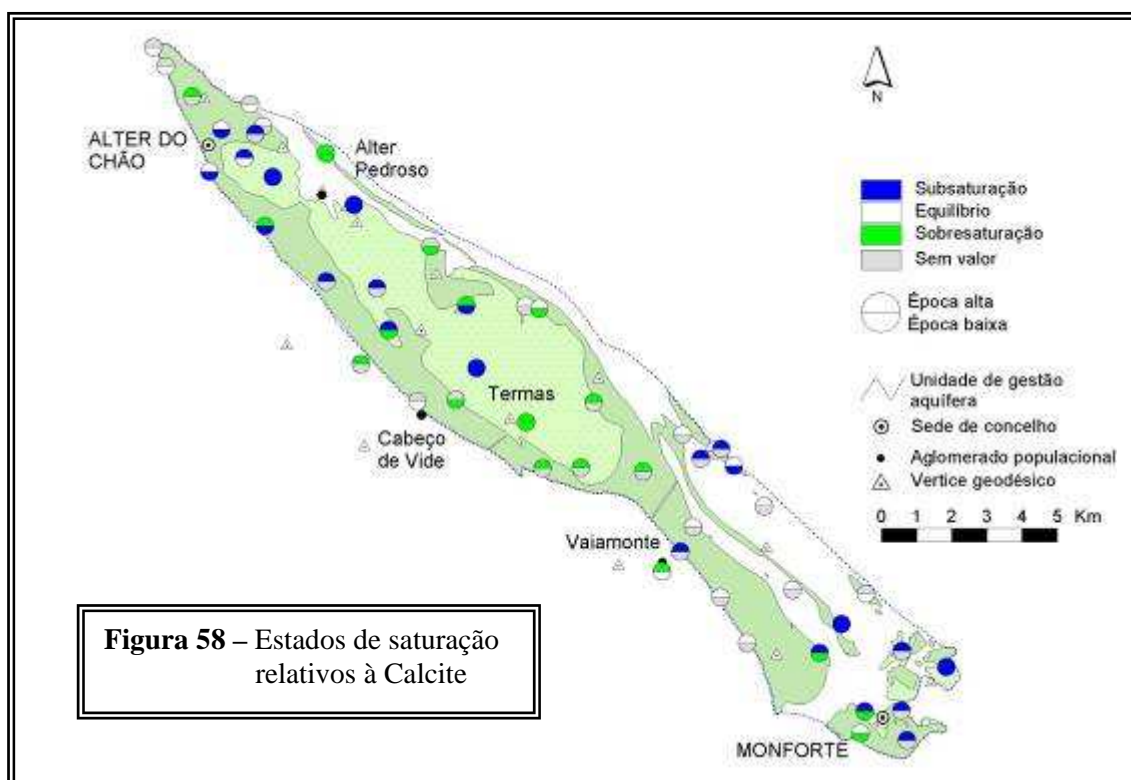
	Calcite (águas altas)	Calcite (águas baixas)	Dolomite (águas altas)	Dolomite (águas baixas)
Nº de amostras	43	26	43	26
Subsaturada	17	10	37	21
Equilíbrio	13	6	1	1
Sobresaturada	13	10	5	4

Verifica-se que em relação à dolomite as águas do sistema encontram-se geralmente subsaturadas, com percentagens de 86% e 81%, respectivamente, para as águas altas e

águas baixas. Na zona central do sistema junto as Termas de Cabeço de Vide e no bordo nordeste junto a Alter Pedroso as águas encontram-se sobresaturadas.

Relativamente à calcite a distribuição pelos diferentes estados de saturação é mais homogénea. Cerca de 40% das amostras estão subsaturadas, 30% em equilíbrio e 30% sobresaturadas para águas altas. Nas águas baixas 38% estão subsaturadas, 23% em equilíbrio e 39% sobresaturadas. Em termos de distribuição espacial a sobresaturação das águas em calcite é coincidente com as zonas em que existe sobresaturação em dolomite. Nestes locais poder-se-ão verificar problemas de incrustação nas captações e tubagens.

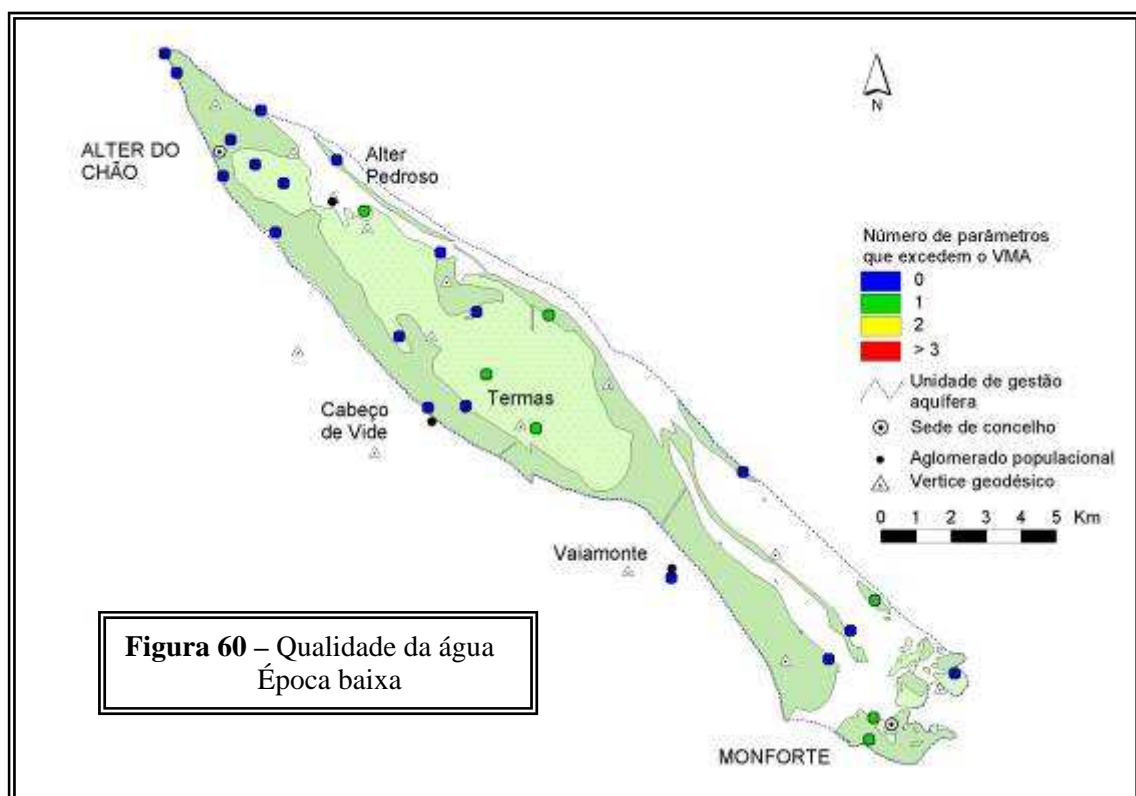
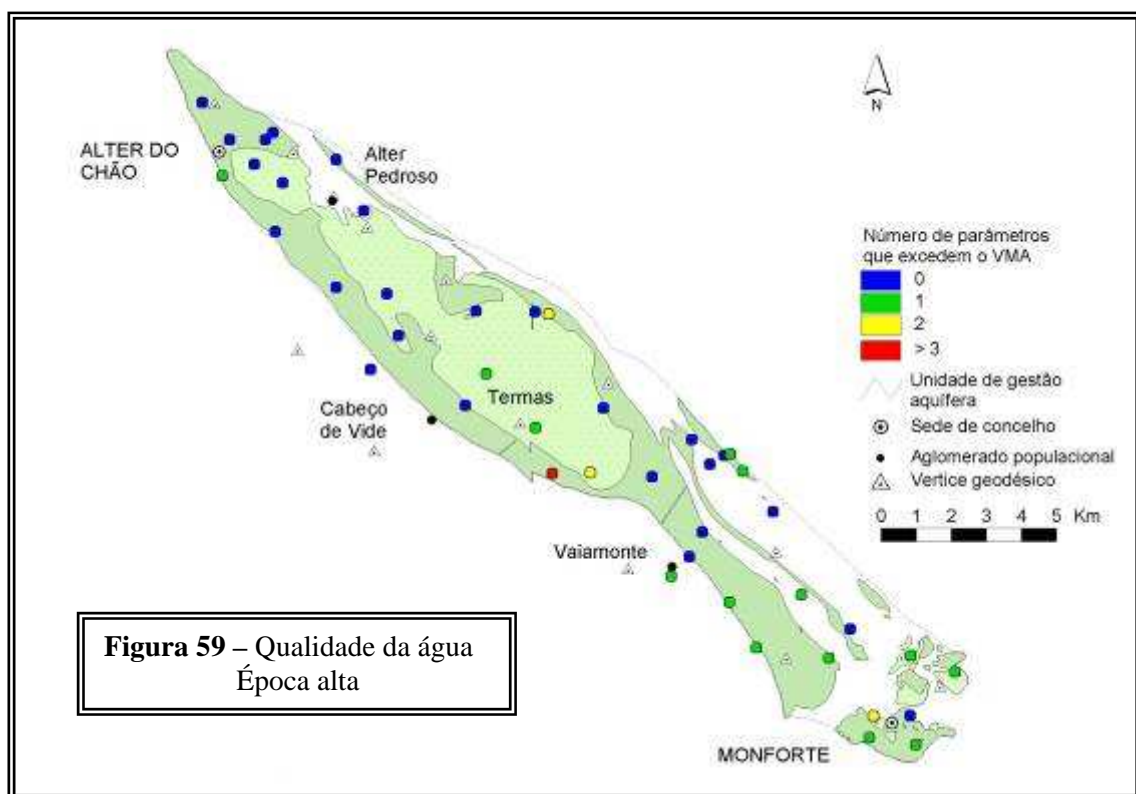




5.5 – Qualidade da água para os vários usos

5.5.1 - Qualidade da água

Para avaliar a qualidade da água para consumo humano foram tidos em conta os parâmetros sulfato, nitrato, sódio, cálcio, magnésio, dureza total e condutividade eléctrica e os respectivos valores máximos admissíveis que constam no Decreto-Lei nº 236/98, de 1 de Agosto. As **figuras 59 e 60** representam o número de parâmetros que excedem o VMA nas águas altas e baixas. Globalmente as águas do sistema não possuem valores que excedam aqueles parâmetros ou apenas excedem um. Na época de águas altas existem 3 casos onde são excedidos dois e 1 caso onde são excedidos mais do que 3 parâmetros.

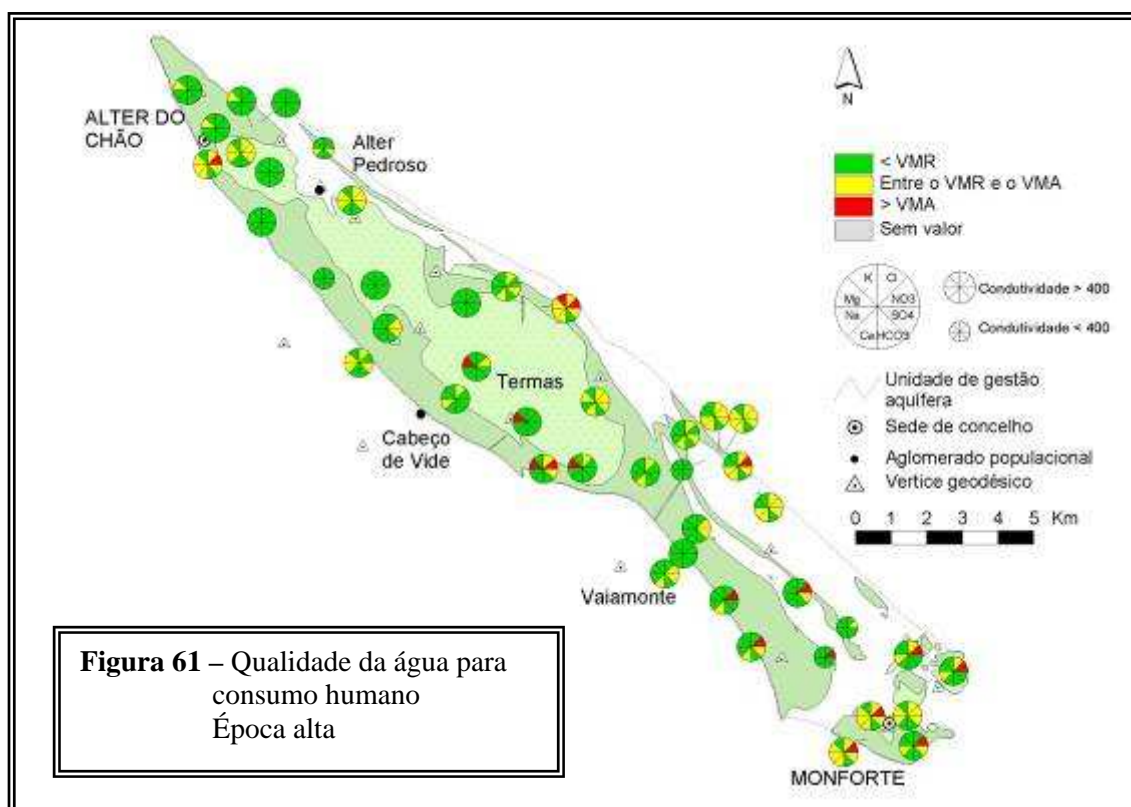


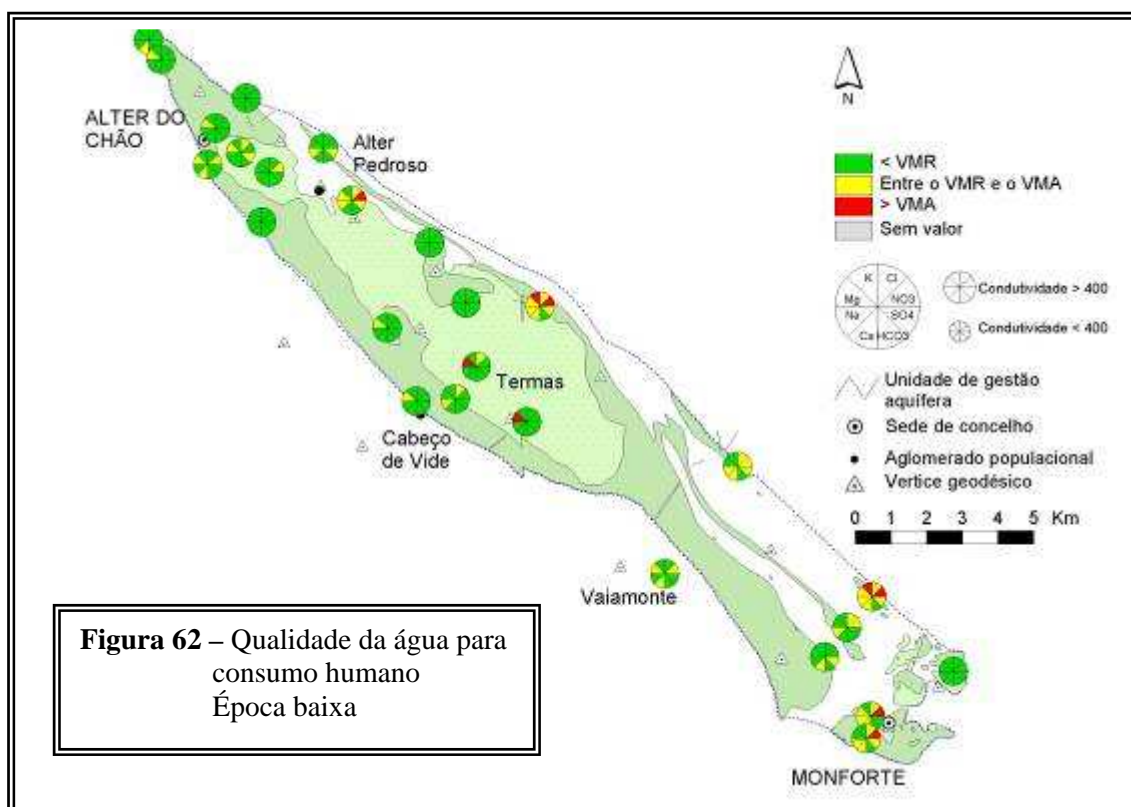
5.5.2 - Qualidade da água para consumo humano de acordo com os Valores Máximo Recomendado e Admitido

Nas **figuras 61 e 62** pretende-se avaliar como é que se distribuem os principais aniões e catiões relativamente aos valores máximos recomendáveis e admissíveis para cumprir os requisitos de qualidade da água para consumo humano. Os parâmetros considerados são o cálcio, sódio, potássio, magnésio, bicarbonato, sulfato, cloreto e nitrato. O diâmetro dos diagramas é função da condutividade.

Verifica-se que a sudeste do sistema o nitrato excede frequentemente o VMA. Na restante área apenas surgem alguns casos pontuais. Na zona central do sistema, mais especificamente no bordo sul o magnésio excede o VMA. O VMA do potássio é excedido em apenas dois pontos o 371G008 e o 384G019.

Os valores máximos recomendáveis são excedidos com maior frequência na área urbana de Alter do Chão e Monforte e ao longo do bordo norte do sistema aquífero.





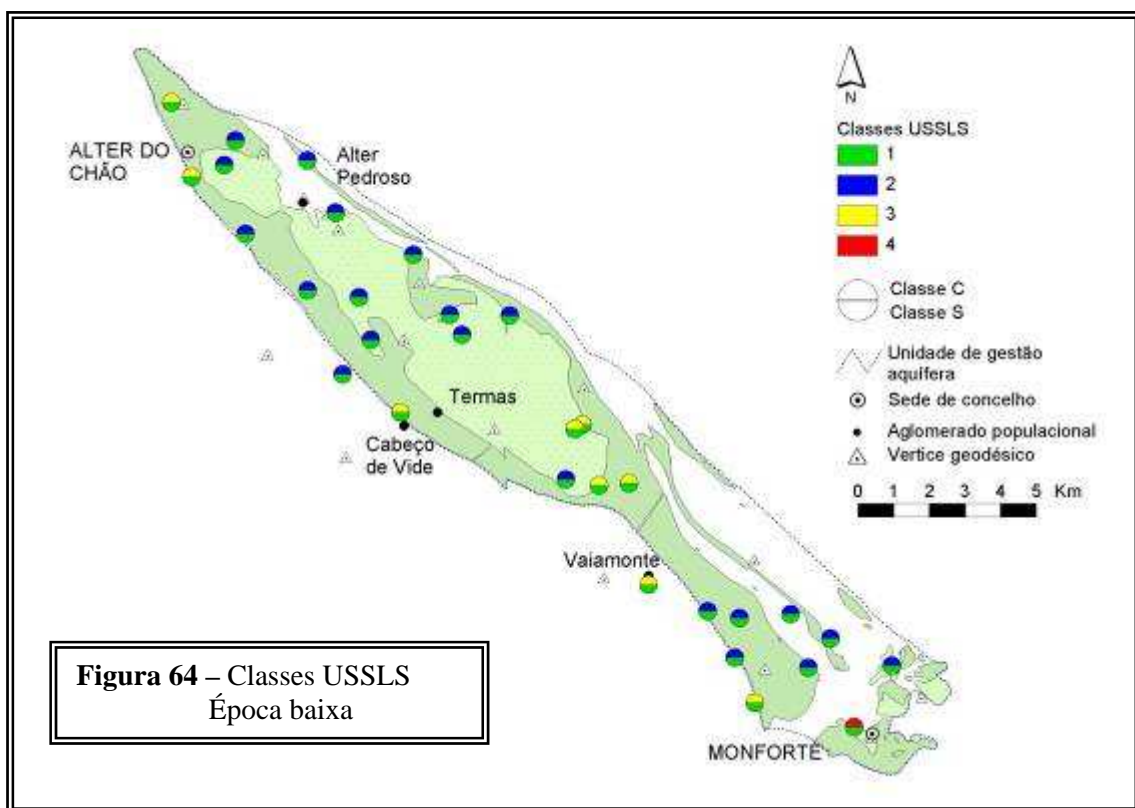
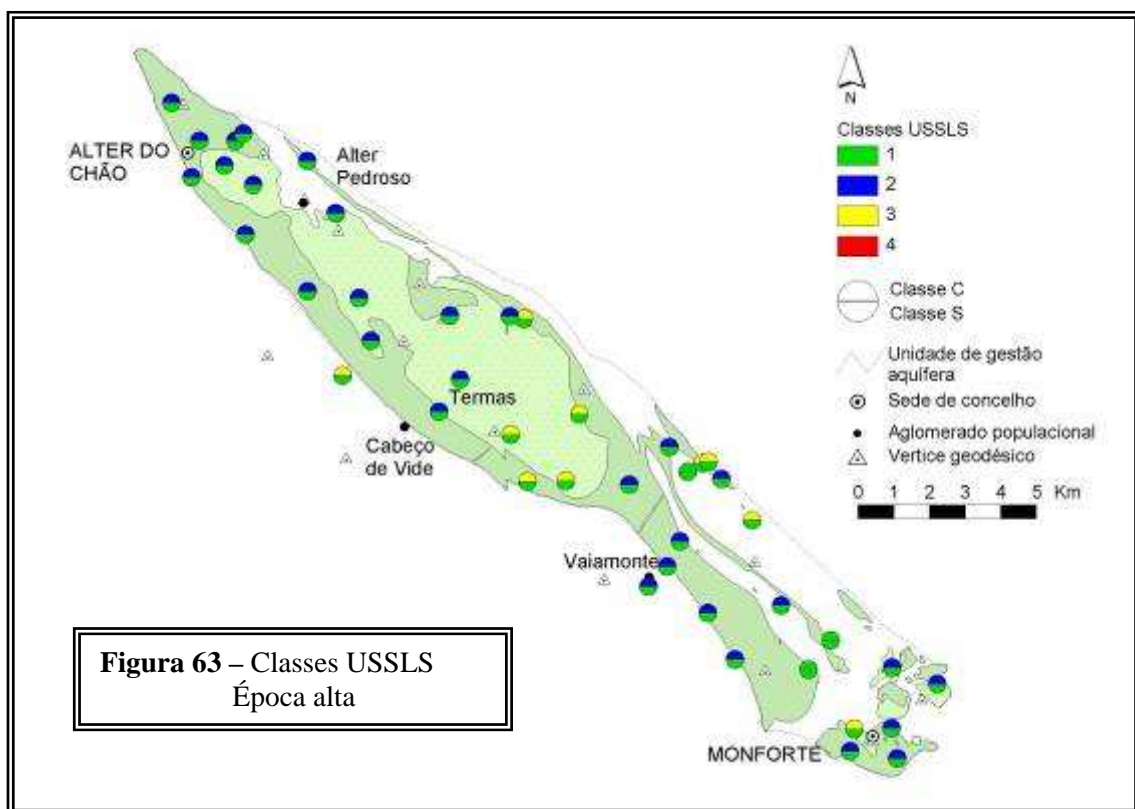
5.5.3 - Qualidade da água para a rega segundo os critérios da United States Salinity Laboratory Staff (USSLS)

Globalmente as águas do sistema possuem em termos de qualidade de água para rega um baixo perigo de alcalinização e um perigo de salinização médio, por vezes alto.

Em ambas as épocas de águas altas e baixas a classe dominante é a C2S1 (**figuras 63 e 64**) que representa um baixo perigo de alcalinização dos solos e um médio perigo de salinização dos mesmos.

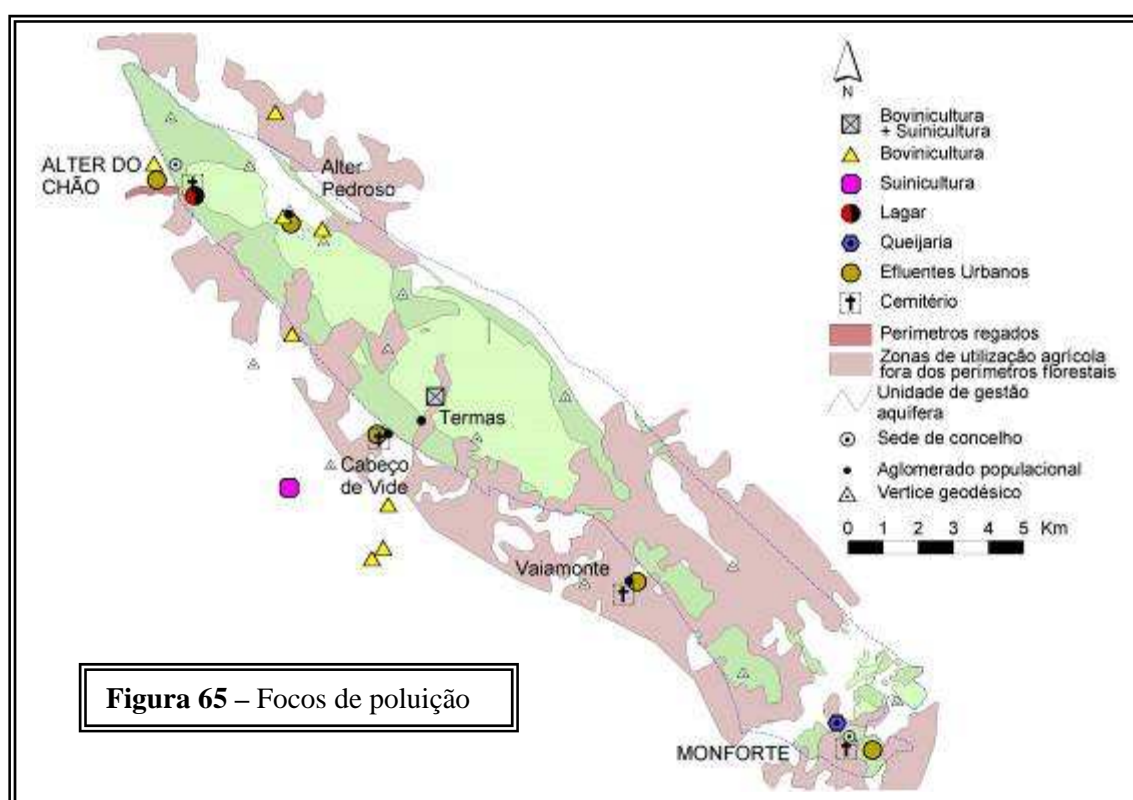
No entanto a classe C3S1 é frequente na zona central do aquífero e nalgumas situações pontuais o que significa que o perigo de salinização dos solos é alto.

Na época de águas baixas existe um caso pontual da classe C4S1 associado ao ponto 384G032 o que representa um perigo de salinização muito alto.



5.6 – Risco de contaminação - Focos de contaminação pontual e difusa

O sistema é afectado por diversos focos de contaminação pontual e áreas em que a contaminação é difusa (**figura 65**). Como áreas de contaminação difusa citam-se aquelas em que se pratica agricultura intensiva com aplicação de grandes quantidades de adubos azotados e fosfatados e as boviniculturas em regime extensivo. A cartografia destas áreas, nomeadamente perímetros regados e zonas de utilização agrícola fora dos perímetros florestais, foi retirada da cobertura Ocupação do Solo da Carta Corine Land Cover. Os focos de contaminação pontual são as suiniculturas, descargas de colectores de águas residuais domésticas e de pequenas indústrias transformadoras (lagar de azeite em Alter do Chão, queijaria de Monforte) nas linhas de água, descargas de ETARS, fossas sépticas, antigas lixeiras, cemitérios, entre outros. Esta informação foi cedida pela DRA – Alentejo e confirmada no terreno.



5.7 – Índice de Susceptibilidade

O índice de susceptibilidade à poluição de origem agrícola foi desenvolvido no âmbito do ERHSA e testado nalguns sistemas aquíferos. A metodologia subjacente à criação do índice, pode-se dizer de uma forma resumida que corresponde a uma adaptação do

DRASTIC, para o qual se retiraram os parâmetros Impacto da zona não saturada, tipo de Solo e Condutividade hidráulica, considerados dispensáveis ou redundantes em contaminantes do tipo conservativo, e se acrescentou o parâmetro Ocupação do solo.

A metodologia seguida na determinação de cada parâmetro é idêntica à já aplicada por Paralta e Francés (2000) no cálculo do DRASTIC e que seguidamente se descreve:

- **Parâmetro D** – profundidade do nível das águas subterrâneas: numa primeira etapa, foi criado por krigagem a superfície piezométrica do sistema aquífero a partir da campanha de Outubro de 1998. Os parâmetros estruturais do variograma e a superfície piezométrica obtida podem ser visualizados na **figura 66**. Dada a forte correlação entre a superfície piezométrica e a topografia (**figura 67**), foi utilizada a equação de regressão linear para calcular a superfície topográfica. A diferença entre aquela e a superfície piezométrica forneceu o mapa das profundidade do nível freático para a área do sistema aquífero.
- **Parâmetro R** – recarga: o valor da recarga no sistema aquífero varia entre 87 e 67 mm/ano, o que corresponde a um valor do parâmetro de 30.
- **Parâmetro A** – material do aquífero: foi escolhido um valor de 90 para os calcários, de 70 para as corneanas cálcicas e de 40 para os gabros. Estes valores foram determinados a partir das tabelas do capítulo 9.6.1.3 do Relatório Técnico tendo em conta o conhecimento de especificidades da área.
- **Parâmetro T** – topografia: a partir do Modelo Digital de Terreno (MDT) (ver capítulo 1.1) foi calculada a carta de declives. Na **figura 68**, pode-se visualizar o histograma das classes de declive.

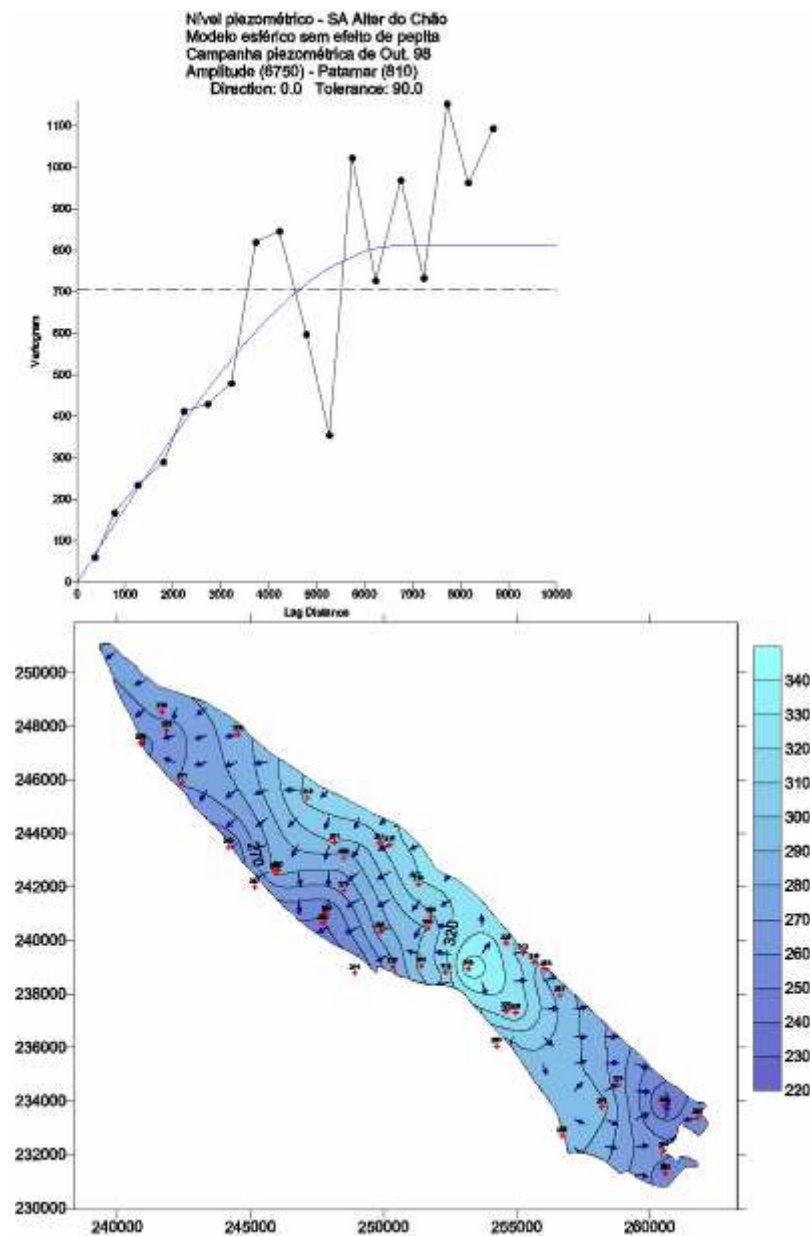


Figura 66 – Variograma e superfície piezométrica gerada por krigagem.

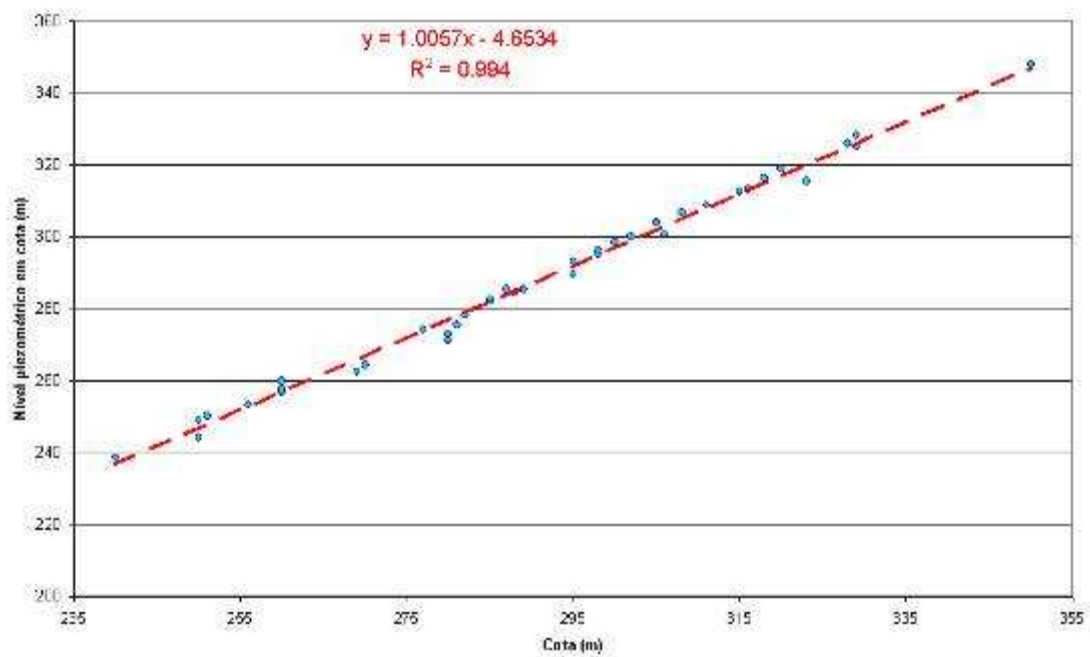


Figura 67 – Regressão linear entre a cota topográfica e a cota do nível piezométrico.

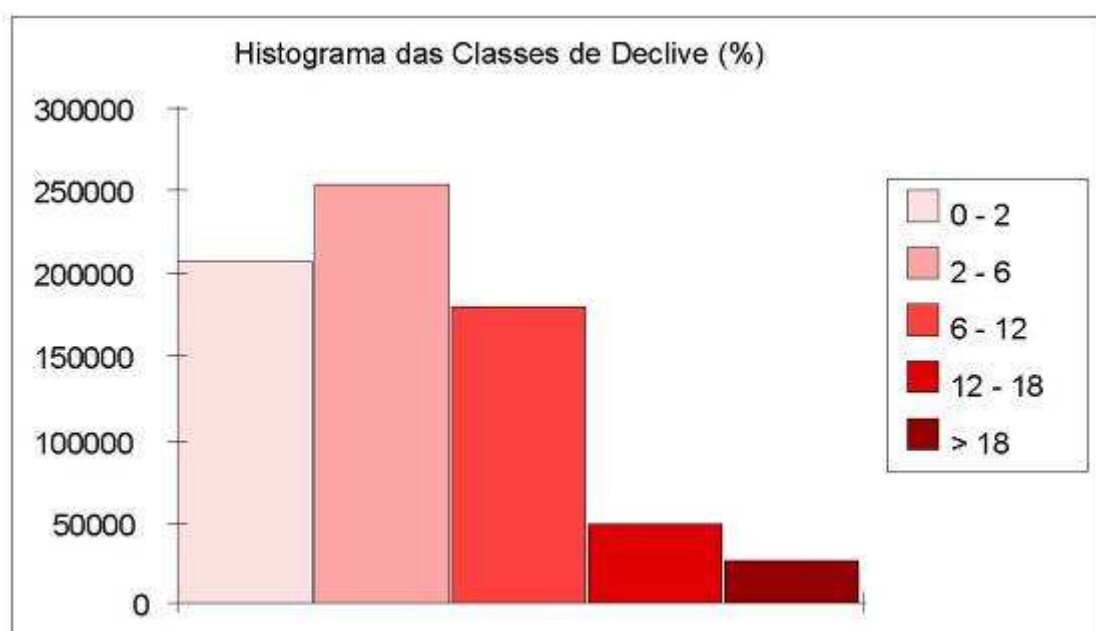


Figura 68 – Histograma das classes de declive na área do sistema

▪ **Parâmetro OS** – ocupação do solo: foi utilizada a carta de ocupação do solo Corine Land Cover à escala 1:100000, disponibilizada pelo CNIG através do SNIG (www.snig.cnig.pt). Como os dados correspondem ao período de Agosto 1985 a Agosto 1987, procedeu-se a algumas correcções, nomeadamente em relação às zonas incendiadas nesta altura. O resultado pode ser visualizado na **figura 69**.

O índice foi obtido através da sobreposição ponderada das coberturas geradas para cada parâmetro, que consideraram uma malha quadrada de 25 metros de largura.

O mapeamento do índice encontra-se na **figura 70**. As zonas com maior índice de susceptibilidade correspondem essencialmente às áreas com agricultura intensiva e às formações carbonatadas. Neste sistema os parâmetros que determinam os resultados observados é a ocupação do solo, seguido do material do aquífero. Não é notória a influência dos restantes parâmetros.

Ao cruzar o mapeamento do índice com os valores obtidos para os nitratos nas águas subterrâneas, verifica-se que as áreas de maior susceptibilidade são coincidentes com os valores mais elevados de nitrato (compare-se a **figura 70** com a **figura 51**), ou seja os valores de nitrato confirmam a susceptibilidade do sistema à contaminação de origem agrícola.

Obviamente que se trata de uma primeira abordagem e para se validar o índice ter-se-á que testar e analisar resultados em diversos tipos de aquífero. No caso dos contaminantes conservativos existe um outro parâmetro que poderá exercer alguma influência que é a descarga do aquífero. Com efeito um aquífero com boa descarga, autodepura-se com maior facilidade, o que diminuirá a sua susceptibilidade.

Salienta-se que não se trata de um índice de vulnerabilidade do aquífero, como o DRASTIC, que tem em conta apenas parâmetros intrínsecos do aquífero. Sempre que se alterar a ocupação do solo o índice terá resultados diferentes, o que significa que as zonas com menor susceptibilidade são-no em grande parte devido ao uso do solo considerado. Este índice poderá eventualmente ter alguma aplicação no ordenamento do território, por exemplo na definição de áreas para futuras captações.

