

Estudo Hidrogeoquímico do Sistema Aquífero Moura-Ficalho

Augusto T. MARQUES da COSTA

*Geólogo Assessor Principal, Dpt de Hidrogeologia, INETI, Apartado 7586, 2720- 866 Alfragide,
+351.21.4705542, augusto.costa@ineti.pt*

Alain FRANCÉS

*Geólogo, Dpt de Hidrogeologia do INETI, Apartado 7586, 2720- 866 Alfragide, +351.21.4705539,
frances.alain@ineti.pt*

Judite FERNANDES

*Geóloga, Dpt de Hidrogeologia do INETI, Apartado 7586, 2720- 866 Alfragide, +351.21.4705540,
judite.fernandes@ineti.pt*

Carla LOURENÇO

*Geóloga, Dpt de Hidrogeologia do INETI, Apartado 7586, 2720- 866 Alfragide, +351.21. 214705559,
carla.lourenco@ineti.pt*

Carla MIDÕES

*Geóloga, Dpt de Hidrogeologia do INETI, Apartado 7586, 2720- 866 Alfragide, +351.21.4705538,
carla.midoes@ineti.pt*

Elisabete OLIVEIRA

*Geóloga, CVRM-Centro de Geossistemas, IST, Av.Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, +351.21.8417247,
eoliveira@popsrv.ist.utl.pt*

Luís F. T. RIBEIRO

*Professor Associado, CVRM-Centro de Geossistemas, IST, Av.Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa,
+351.21.8417247, nlrib@alfa.ist.utl.pt*

O sistema aquífero Moura-Ficalho é responsável por parte do abastecimento de água aos concelhos de Moura e Serpa, pela indústria de engarrafamento da água mineral natural Pisões-Moura e pelas termas de Santa Comba e Três Bicas, além de satisfazer as necessidades agro-pecuárias. Possui, desde 1997, uma rede de monitorização da qualidade formada por 13 pontos, equipada no âmbito do Projecto ERHSA, que tem permitido efectuar a análise de evolução temporal dos iões maioritários.

No âmbito do Projecto HIDROPARK foi efectuada, em Setembro de 2004, uma campanha para análise físico-química de iões maiores em 73 pontos de água (furos, poços e nascentes), dos quais 68 pontos foram sujeitos à pesquisa de metais pesados e elementos vestigiários. Foi também efectuada a pesquisa de hidrocarbonetos em 11 pontos de água.

Os dados obtidos permitiram um estudo hidrogeoquímico de pormenor do aquífero principal, que evidencia as relações e particularidades existentes entre águas com diferentes utilizações, as correlações entre determinados parâmetros físico-químicos, e ainda as relações de determinados grupos de parâmetros com a litologia. Para esse efeito foram utilizados métodos de Análise Univariada, Bivariada e Multivariada de Dados.

Os primeiros resultados da caracterização hidrogeoquímica no aquífero principal mostram uma predominância da fácies bicarbonatada cálcica, com águas duras. Mostram também níveis elevados de cloretos. É de notar uma influência antropogénica devido às actividades agrícolas, caracterizada por

valores altos de nitrato. Relativamente aos elementos vestigiários, encontram-se com mediana elevada os elementos Br, Fe, Sr, Ba, I, Zn, Sc, Al, Se e Li.

Palavras-chave: Aquífero Moura-Ficalho, Hidrogeoquímica, Análise Univariada, Bivariada e Multivariada de Dados

1. INTRODUÇÃO

O sistema aquífero Moura-Ficalho localiza-se na região do Alentejo, na margem esquerda do Guadiana. Constitui uma das grandes reservas de água subterrânea desta região, sendo actualmente responsável por parte do abastecimento aos concelhos de Moura e Serpa, pela indústria de engarrafamento da água mineral natural Pisões-Moura e pelas termas de Santa Comba e Três Bicas, além de satisfazer as necessidades agro-pecuárias.

Sendo investigado desde a década de 1980 pelo Departamento de Hidrogeologia do INETI (ex-IGM), o Sistema Aquífero de Moura-Ficalho foi e é objecto de diversos estudos no âmbito de projectos tais como o Estudo dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Alentejo – ERHSA (Costa, 2001) e o HIDROPARK - Metodologias para o desenvolvimento do Parque Natural Hidrogeológico de Moura (Costa, 2005).

Este sistema aquífero é constituído por um aquífero principal, o de Moura-Ficalho, com uma área total da ordem de 177 Km², e por três aquíferos de dimensões menores (aquíferos de Moura-Brenhas, Calcários de Moura e Ribeira da Toutalga), dependentes deste (Costa, 1991, 1998, 2001). O presente estudo pretende caracterizar, do ponto de vista hidroquímico, o Sistema Aquífero de Moura-Ficalho e analisar a evolução temporal dos diferentes parâmetros hidroquímicos, nomeadamente os de contaminação agrícola, devido ao incremento da área de regadio que se tem verificado nos últimos anos. De facto, em estudos anteriores (Costa, 2001), verificou-se que, apesar de já haver pontos de água com concentrações em nitrato acima do valor máximo admitido (VMA), na maior parte da região as concentrações situam-se abaixo do valor máximo recomendado (VMR) ou entre o VMA e o VMR. Os valores mais elevados foram detectados nas zonas de Machados (v.g.) e Atalaia Gorda (v.g.).

O sistema aquífero possui, desde 1997, uma rede de monitorização da qualidade formada por 13 pontos, equipada no âmbito do projecto ERHSA, que tem permitido efectuar a análise de evolução temporal dos iões maioritários. No âmbito do Projecto HIDROPARK foi efectuada, em Setembro de 2004, uma campanha para análise físico-química de iões maiores em 73 pontos de água (furos, poços e nascentes), dos quais 68 pontos foram sujeitos à pesquisa de metais pesados e elementos vestigiais.

Os dados obtidos permitiram um estudo hidrogeoquímico de pormenor do aquífero principal, baseado em métodos de Análise Univariada, Bivariada e Multivariada de Dados, nomeadamente estatística descritiva, matrizes de correlação, análise em componentes principais e classificação ascendente hierárquica.

2. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO

A área de estudo estende-se entre os paralelos 38°12'N e 37°56'N, isto é, desde cerca de quatro quilómetros a norte de Moura até cerca de um quilómetro a sul de Vila Verde de Ficalho. Os meridianos que delimitam esta área são os 7°31'W e 7°13'W, que passam a cerca de 4 quilómetros a oeste de Pias e na povoação de Safara, respectivamente (Figura 1).

A geologia da região é descrita em Costa (1998, 2001, 2005). Para o presente artigo, deve referir-se que a região é dominada pela existência de três alinhamentos de relevo principais, que se desenvolvem em direcções próximas de SE-NW, entre Sobral da Adiça e Moura, V.V. de Ficalho e Moura e entre Vale de Vargo e Moura. Os relevos alinhados correspondem a dobras anticlinoriais de rochas carbonatadas, essencialmente constituídos por dolomitos cinzentos, com algumas intercalações de metavulcanitos na base, e um nível descontínuo de rochas siliciosas no topo. Esta sequência litológica corresponde à " Formação Dolomítica ", atribuídas ao Câmbrico (Oliveira, 1991).

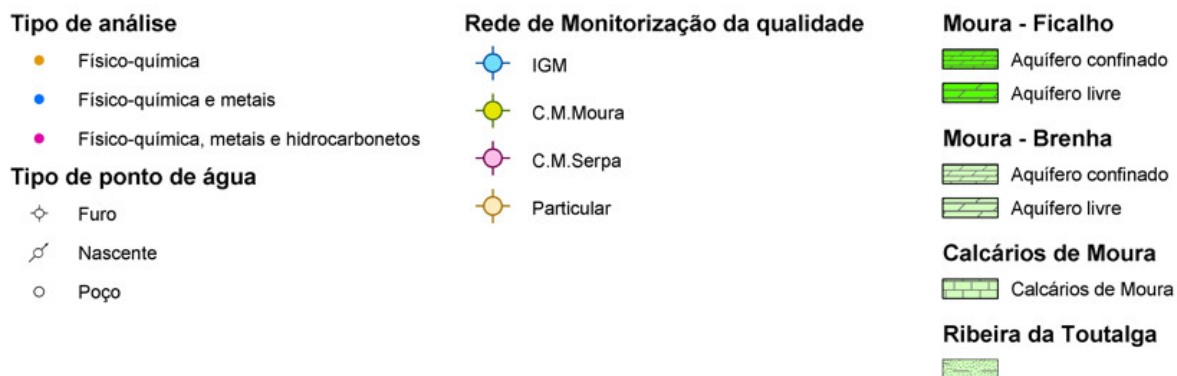
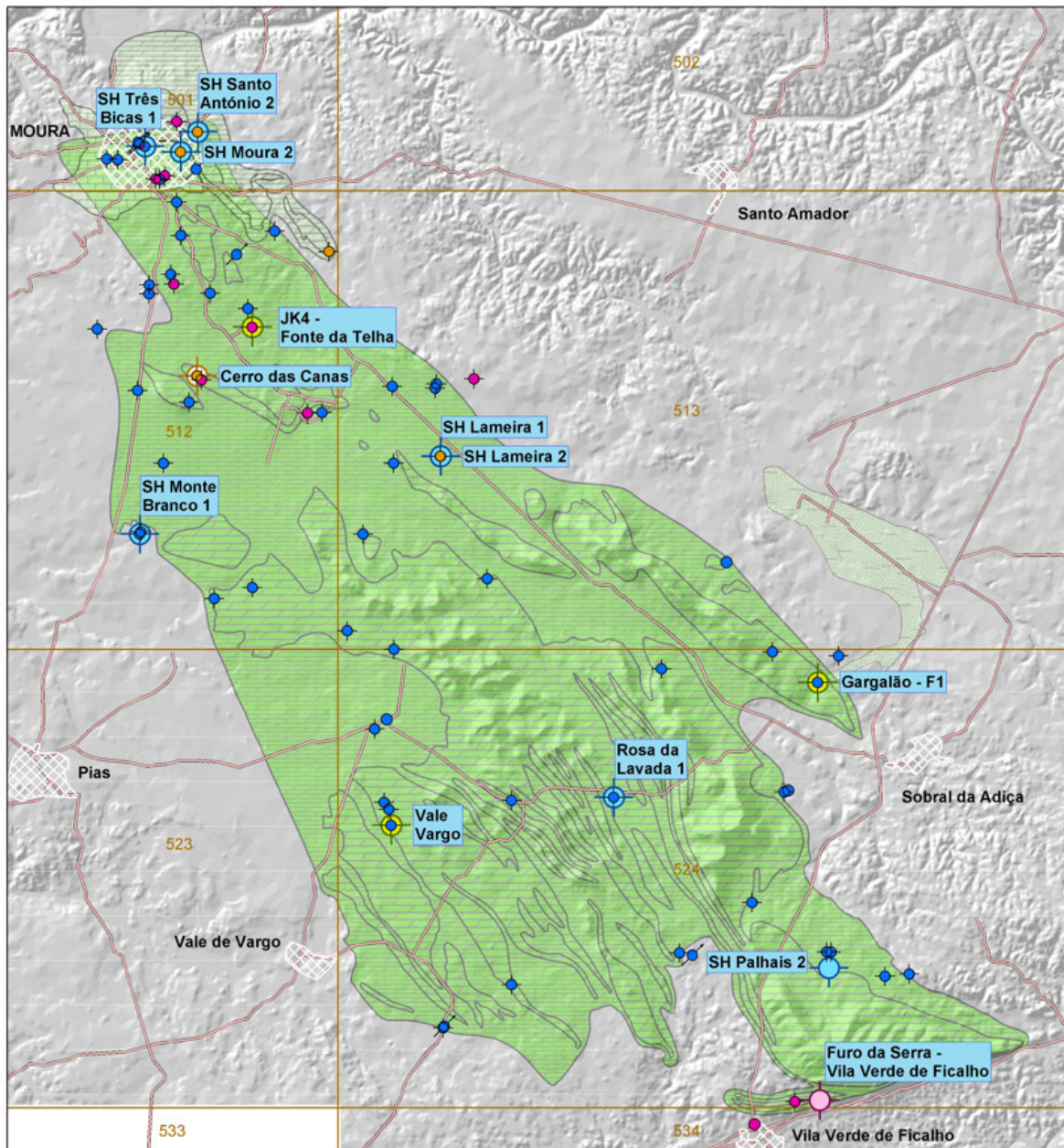


Figura 1 – Enquadramento da zona de estudo, do Sistema Aquífero, da rede de monitorização da qualidade e dos pontos de água amostrados em Setembro 2004

Algumas destas dobras chegam a apresentar afloramentos da zona nuclear, constituídos por xistos negros, com intercalações mais ou menos siliciosas, embora de reduzidas dimensões, que correspondem à chamada "Série Negra", de idade pré-câmbrica.

As zonas mais deprimidas correspondem a estruturas sinclinais, de rochas menos resistentes à erosão, que fazem parte do "Complexo Vulcano - Sedimentar de Ficalho - Moura", de idade ordovícica, constituído por níveis descontínuos de mármore calcítico e calcários dolomíticos (equivalente ao "Olho de Mocho"), com passagens laterais e para o topo, a metavulcanitos.

O suporte físico do aquífero Moura-Ficalho são as rochas carbonatadas do soco hercínico:

- Dolomitos do Câmbrio inferior ("Formação Dolomítica");
- Mármore calcítico e calcários dolomíticos, por vezes com intercalações de metavulcanitos, do Ordovícico médio ("Complexo vulcano-sedimentar de Ficalho - Moura").

Os limites do aquífero correspondem a contrastes litológicos, entre as formações essencialmente carbonatadas do aquífero e as formações impermeáveis ou menos permeáveis que as envolvem.

Este aquífero tem um comportamento cársico-fissurado, que embora se apresente livre em várias zonas, é na maior parte da sua extensão, um aquífero confinado. A permeabilidade reduz-se em profundidade, passando dos valores elevados característicos de um meio cársico a valores pequenos, característicos de um meio fissurado.

O fluxo subterrâneo tem na globalidade a orientação dos eixos das dobras, no sentido SE-NW, embora localmente se verifiquem situações diferentes (Costa, 2005).

3. REDE MONITORIZAÇÃO DA QUALIDADE HIDROQUÍMICA

3.1. Descrição da rede

No âmbito do projecto ERHSA foi definida uma rede de monitorização da qualidade da água subterrânea (Costa *et al*, 1998), formada por 13 captações do tipo furo (Figura 1 e Quadro 1). Algumas captações foram construídas no âmbito do projecto, para a monitorização piezométrica e de qualidade, sendo também integrados alguns furos particulares e de abastecimento público. O piezómetro SH Santo António 2 capta o aquífero de Moura Brenhas e o piezómetro SH Moura 2 o aquífero dos Calcários de Moura; o piezómetro Lameira 2 capta a cobertura cenozóica enquanto o piezómetro Lameira 1, adjacente, capta o aquífero Moura Ficalho, permitindo estudar as relações hidráulicas e hidroquímicas entre os dois. Os restantes furos captam o aquífero de Moura-Ficalho.

As análises foram realizadas entre Março de 1997 e Maio 2005, com uma periodicidade usualmente trimestral.

Quadro 1 – Rede de monitorização da qualidade do aquífero de Moura-Ficalho

| Referência | Designação | Entidade responsável | Profundidade (m) |
|------------|---------------------------------------|----------------------|------------------|
| 501F37 | SH Três Bicas 1 | IGM | 283 |
| 501F38 | SH Moura 2 | IGM | 26 |
| 512F29 | SH Monte Branco 1 | IGM | 86 |
| 512F21 | Cerro das Canas | Particular | --- |
| 512F4 | JK4 - Fonte da Telha | C.M.Moura | 26 |
| 524F25 | Vale Vargo | C.M.Moura | --- |
| 513F23 | SH Lameira 1 | IGM | 206 |
| 513F24 | SH Lameira 2 | IGM | 21 |
| 524F24 | Rosa da Lavada 1 | IGM | 139 |
| 524F1 | Gargalão - F1 | C.M.Moura | 18 |
| 524F23 | Furo da Serra - Vila Verde de Ficalho | C.M.Serpa | 100 |
| 524F26 | SH Palhais 2 | IGM | 99 |
| 501F39 | SH Santo António 2 | IGM | 136 |

3.2. Estatística descritiva

Da estatística descritiva apresentada no Quadro 2, destaca-se o seguinte:

- O pH é geralmente neutro, sendo o intervalo interquartis entre 7,2 e 7,5.
- A mineralização é elevada (mediana do resíduo seco de 548 mg/L).
- As medianas do sódio (40 mg/L), de cloreto (89 mg/L), de sulfato (27 mg/L), de cálcio (104 mg/L), de magnésio (37 mg/L) e de nitrato (27 mg/L) estão acima dos respectivos Valores Mínimos Recomendáveis (VMR, DL 236/98).
- Existem concentrações indesejáveis de nitratos, potássio e sulfatos.
- Os valores máximos da condutividade eléctrica, do sódio, do cloreto, do cálcio e do sulfato referem-se à captação Lameira 2. Este facto será discutido adiante.

Quadro 2 – Valores dos estatísticos básicos principais das colheitas efectuadas na rede de piezometria do Sistema Aquífero de Moura – Ficalho entre Março de 1997 e Maio 2005

| Parâmetros | n | Mínimo | q1 | Média | Mediana | q3 | Máximo | Desv. Padrão | Variância |
|--------------------------------------|-----|--------|-------|-------|---------|-------|--------|--------------|-----------|
| Condutividade ($\mu\text{S/cm}$) | 253 | 356.0 | 728.0 | 911.9 | 825.0 | 936.0 | 2740.0 | 412.1 | 169798.5 |
| pH | 269 | 6.9 | 7.2 | 7.4 | 7.3 | 7.5 | 9.3 | 0.3 | 0.1 |
| Dureza Total (mg/l CaCO_3) | 270 | 11.8 | 370.7 | 381.5 | 406.8 | 460.8 | 708.0 | 131.7 | 17334.2 |
| Resíduo Seco (mg/l CaCO_3) | 270 | 226.8 | 479.5 | 605.1 | 548.3 | 619.2 | 1858.6 | 289.3 | 83695.3 |
| HCO_3^- (mg/l) | 270 | 23.2 | 382.6 | 400.5 | 420.6 | 439.8 | 597.8 | 110.9 | 12308.8 |
| Ca^{2+} (mg/l) | 270 | 19.4 | 98.4 | 104.9 | 104.3 | 118.1 | 197.4 | 25.8 | 666.2 |
| Na^+ (mg/l) | 270 | 12.7 | 26.0 | 59.6 | 40.0 | 52.9 | 415.0 | 76.2 | 5801.3 |
| K^+ (mg/l) | 270 | 0.4 | 1.2 | 4.4 | 2.2 | 4.5 | 27.0 | 6.1 | 37.7 |
| Mg^{2+} (mg/l) | 270 | 0.7 | 28.5 | 35.1 | 37.0 | 41.3 | 61.7 | 11.5 | 132.9 |
| NO_3^- (mg/l) | 270 | 0.0 | 17.2 | 30.4 | 27.1 | 35.0 | 157.6 | 24.6 | 604.8 |
| F^- (mg/l) | 263 | 0.0 | 0.4 | 0.7 | 0.6 | 0.8 | 6.1 | 0.6 | 0.4 |
| Cl^- (mg/l) | 270 | 13.8 | 53.6 | 114.5 | 88.8 | 124.7 | 630.2 | 114.9 | 13204.1 |
| SO_4^{2-} (mg/l) | 270 | 0.6 | 20.6 | 39.2 | 27.4 | 35.8 | 220.6 | 44.2 | 1953.8 |

A fácies hidroquímica predominante no sistema Aquífero de Moura-Ficalho é a bicarbonatada cálcica, não obstante a presença frequente da fácies bicarbonatada calco-magnésiana em alguns sectores do aquífero (Quadro 3). O piezómetro Lameira 2 possui uma fácies cloretada sódica, devido ao facto de captar as formações detríticas cenozóicas. Em Monte Branco 1 registaram-se maiores variações de fácies, devido às conexões hidráulicas entre o aquífero e o Barranco da Parreira situado nas proximidades.

Quadro 3 – Distribuição da Fácies Hidroquímica por estação de monitorização no aquífero Moura – Ficalho.

| Estação de monitorização | Fácies |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------|
| SH Três Bicas 1 | Bicarbonatada Cálcica |
| SH Moura 2 | Bicarbonatada Calco - Magnesiana |
| SH Monte Branco 1 | Cloretada Sódica/ Cloretada Cálcica |
| Cerro das Canas | Bicarbonatada Cálcica/ Bicarbonatada Magnesiana |
| JK4 - Fonte da Telha | Bicarbonatada Cálcica |
| Vale de Vargo | Bicarbonatada Cálcica |
| SH Lameira 1 | Bicarbonatada Cálcica/ Bicarbonatada Sódica |
| SH Lameira 2 | Cloretada Sódica |
| SH Rosa da Lavada 1 | Bicarbonatada Cálcica |
| Gargalão - F1 | Bicarbonatada Cálcica |
| Furo da Serra - Vila Verde de Ficalho | Bicarbonatada Cálcica |
| SH Palhais 2 | Bicarbonatada Cálcica |
| SH Sto. António 2 | Bicarbonatada Calco - Magnesiana |

3.3. Análise temporal

Na análise temporal, foram analisadas 270 análises físico-químicas desde Março de 1997 até Maio de 2005 nas 13 captações da rede de monitorização.

A captação Lameira 2 (cobertura cenozóica) destaca-se do conjunto pela condutividade eléctrica alta (mediana de 2210 $\mu\text{S}/\text{cm}$), devido aos valores elevados em cálcio (mediana de 140 mg/L), sódio (mediana de 300 mg/L), cloreto (mediana de 447 mg/L) e sulfato (mediana de 186 mg/L). Observa-se também um aumento na mineralização em período de chuva mais intenso, devido ao incremento da lixiviação destes depósitos. A captação de Monte Branco apresenta também particularidades, como uma grande variabilidade no pH (entre 7,1 e 9,3) e valores da condutividade eléctrica (mediana de 472 $\mu\text{S}/\text{cm}$), de bicarbonato (mediana de 43,9 mg/L) de magnésio (mediana de 6,7 mg/L) e de cálcio (mediana de 38,7 mg/L) mais baixos em relação às outras captações. Este facto pode ser explicado pela conexão hidráulica entre esta captação e o Barranco da Parreira e a subsequente mistura de água subterrânea e de água superficial, menos mineralizada. De facto, existe um poço nas margens do Barranco que é inundado com alguma frequência. Entre Janeiro de 2001 e Julho de 2002 apresentou uma diminuição do pH e do nitrato e, conseqüentemente, um aumento do bicarbonato, cálcio, magnésio e da condutividade eléctrica.

As restantes captações mostram resultados mais homogéneos e estáveis ao longo do tempo. Os valores medianos da condutividade eléctrica situam-se em cerca de 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na zona de recarga, aumentando para cerca de 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ nas zonas terminais (Castelo, Gargalão). O pH varia entre 7 e 7,5, os valores medianos de concentrações iónicas rondam os 400 mg/L para o bicarbonato, 100 mg/L para o cálcio, 40 mg/L para o magnésio, e variam entre 20 e 50 mg/L para o sódio e entre 40 e 130 mg/L para o cloreto.

A captação de Moura 2, apesar de se encontrar nos “Calcários de Moura”, apresenta valores também semelhantes aos do aquífero principal. Este facto é devido às conexões hidráulicas existentes entre estes dois aquíferos, o principal recarregando os “Calcários de Moura”, sobrejacentes, devido a potenciais hidráulicos superiores (Costa, 1992). O aquífero dos “Calcários de Moura” apresenta, no entanto, mineralizações elevadas em outros pontos de água (nomeadamente na chamada Bica do Leão) devido às heterogeneidades litológicas destes depósitos cenozóicos.

O nitrato apresenta uma clara sazonalidade nas captações Lameira 1 (mínimo de 6,4 e máximo de 40,6 mg/L), Lameira 2 (mínimo de 26,5 e máximo de 77,1 mg/L), Fonte da Telha (mínimo de 18,4 e máximo de 36,9 mg/L) e Três Bicas (mínimo de 14,7 e máximo de 38,1 mg/L). São também atingidos valores altos em captações públicas, com medianas entre o VMR (25 mg/L) e o VMA (50 mg/L) na Fonte da Telha, no Gargalão e em Vale de Vargo. O potássio, apesar de ter valores normalmente abaixo do VMR (10 mg/L), mostra um padrão semelhante ao nitrato em termos de sazonalidade. Como já foi referido anteriormente, a origem destes elementos está associada a práticas agrícolas, nomeadamente a técnicas de adubagem e de rega.

A captação do Cerro das Canas possui valores de potássio e de nitrato muito altos, com um incremento brusco entre Abril de 1998 e Março de 1999, atingindo máximos de 158 mg/L de nitrato e de 27 mg/L de potássio. Os valores em nitrato baixam de uma forma regular até estabilizarem, em Março de 2004, em redor dos 65 mg/L. O potássio mantém os valores altos, oscilando regularmente entre 21 e 27 mg/L. Estes factos podem estar relacionados com o armazenamento de adubos perto da captação, com a contaminação pontual deste furo em 1998 e/ou com a mudança das práticas agrícolas nos arredores da captação, nomeadamente a implementação de sistema de rega gota a gota nos olivais. O facto desta captação não ser utilizada para extracção pode também explicar a permanência dos elementos na água.

3.4. Análise multivariada

A Análise em Componentes Principais (ACP) possibilita a visualização e redução de dados contidos em tabelas de grandes dimensões, cruzando um certo número de indivíduos com as variáveis quantitativas que os caracterizam. Aplicada a um conjunto de dados, permite encontrar os factores que melhor explicam as similitudes e oposições entre indivíduos e variáveis (CVRM, 2001).

No presente caso de estudo, o quadro de partida é composto pelos valores das análises químicas realizadas no Sistema Aquífero Moura-Ficalho, referentes a 181 colheitas efectuadas nos 13 piezómetros entre Janeiro de 1998 e Abril de 2002, e por 15 variáveis de natureza físico – química (Pereira, 2004). Estes valores foram introduzidos nos cálculos da análise em componentes principais. Para cada captação, foram também calculadas as médias das análises referentes às águas altas (entre Outubro e Março) e às águas baixas (entre Abril e Setembro) que foram igualmente introduzidas nos cálculos da ACP. Utilizou-se o programa ANDAD (CVRM, 2000).

Pela análise do Quadro 4 conclui-se que o primeiro eixo factorial fornece a maior parte da informação, cerca de 48%, o segundo eixo contribui com 23% e o terceiro com 12%, num total de 83% de explicação acumulada. À partida, estes três eixos são suficientes para que a nuvem de dados fique bem explicada, o que não implica que os restantes não apresentem informação útil.

No Quadro 5 pode observar-se as coordenadas das variáveis nos 3 primeiros eixos factoriais. A representação gráfica pode ser visionada em Pereira (2004). Verifica-se que à excepção do pH, da sílica, do potássio e do nitrato, todos os outros elementos químicos apresentam correlação mais ou menos forte com o eixo 1. De facto, este eixo é representativo da mineralização da água. O eixo 1 traduz, também, a oposição do pH com as restantes variáveis. O eixo 2 separa de um lado o sódio, sulfato, cloreto e de outro o bicarbonato e magnésio (ou seja, as águas cloretadas sódicas das águas bicarbonatadas calco-magnesianas). Uma vez que estes dois grupos contribuem fortemente para a mineralização, esta diferenciação pode ser explicada pela origem litológica destes elementos. O primeiro grupo deverá ser proveniente dos depósitos cenozóicos de cobertura, sendo os elementos lixiviados até o aquífero principal pelas águas meteóricas infiltradas. O segundo grupo deve ter por origem os fenómenos de interacção água/matriz rochosa, neste caso essencialmente dolomitos. O eixo 3 mostra duas variáveis com correlação fortemente negativa: o potássio e o nitrato, que deverão ter como origem as actividades agrícolas.

Quadro 4 - Explicação da nuvem de dados segundo os eixos factoriais encontrados

| Eixos | Valor Próprio | % Explicação | % Acumulada |
|-------|---------------|--------------|-------------|
| 1 | 7.1 | 47.6 | 47.6 |
| 2 | 3.4 | 22.7 | 70.3 |
| 3 | 1.8 | 12.2 | 82.6 |
| 4 | 1.0 | 6.7 | 89.3 |
| 5 | 0.6 | 4.1 | 93.4 |

Quadro 5 - Coordenadas das variáveis nos eixos

| Variáveis | Eixo1 | Variáveis | Eixo2 | Variáveis | Eixo3 |
|------------------|-------|------------------|-------|------------------|-------|
| RS | 0.9 | Na | 0.6 | NO ₃ | -0.9 |
| EC | 0.9 | SO ₄ | 0.6 | K | -0.9 |
| Ca | 0.9 | Cl | 0.6 | SO ₄ | -0.2 |
| Cl | 0.8 | pH | 0.5 | CO ₂ | -0.1 |
| Na | 0.8 | SiO ₂ | 0.5 | Mg | -0.1 |
| DT | 0.8 | RS | 0.4 | RS | 0.0 |
| SO ₄ | 0.8 | EC | 0.4 | Na | 0.0 |
| HCO ₃ | 0.7 | NO ₃ | -0.2 | EC | 0.0 |
| Mg | 0.6 | Ca | -0.2 | pH | 0.0 |
| CO ₂ | 0.5 | K | -0.2 | SiO ₂ | 0.0 |
| SiO ₂ | 0.5 | DT | -0.4 | DT | 0.0 |
| NO ₃ | 0.2 | CO ₂ | -0.5 | Cl | 0.1 |
| K | 0.1 | Mg | -0.6 | Ca | 0.2 |
| pH | -0.5 | HCO ₃ | -0.6 | HCO ₃ | 0.2 |

Através da projecção dos indivíduos nos dois primeiros eixos factoriais, verifica-se que não existem diferenças significativas na qualidade das águas captadas em época alta ou época baixa. As amostras de cada captação apresentam o formato de uma nuvem, mostrando alguma evolução ao longo do tempo. As águas cloretadas sódicas de Lameira 2 e de Monte Branco 1 são fortemente correlacionadas com o eixo 1. Lameira 2 situa-se na parte positiva do eixo devido a sua alta mineralização, e Monte Branco na parte negativa. Em relação ao eixo 2 são, obviamente, ambas positivas, em nítida oposição ao grupo bicarbonato-magnésio. Diferencia-se ainda um grupo de amostras que são mais ricas em cálcio e magnésio e que correspondem às amostras de Cerro das Canas (águas fortemente bicarbonatadas cálcicas/calco-magnesianas). As restantes amostras encontram-se aglomeradas no centro do círculo e como consequência não são explicadas por nenhum dos planos factoriais representados.

Na projecção do eixo 1 com o eixo 3 observa-se nitidamente a relação entre o eixo 3, as variáveis potássio e nitrato e as amostras com concentração elevada nestes iões, em particular as amostras de Cerro das Canas (concentração em nitrato geralmente superior a 100 mg/L).

O facto de as estações de Três Bicas, Moura 2 e Fonte da Telha não serem bem explicadas por nenhum dos eixos factoriais e de não existir uma correlação forte com qualquer uma das variáveis analisadas, indica que são águas onde não existem valores anómalos de concentração iónica. O

mesmo acontece com Lameira 1, Rosa da Lavada 1 e Santo António, apesar do eixo1 as diferenciar daquele grupo.

4. CAMPANHA AMOSTRAGEM

4.1. Inventário

Em Setembro de 2004, o inventário hidrogeológico foi actualizado através de uma campanha que permitiu adquirir ou completar a informação sobre 102 pontos de água, dos quais 55 são novos pontos, e colher amostras de água para análise físico-química de iões maiores em 73 pontos de água (furos, poços e nascentes), dos quais 68 pontos foram sujeitos à pesquisa de metais pesados e elementos vestigiais (Figura 1). Foi também efectuada a pesquisa de hidrocarbonetos em 11 pontos de água, que se localizam em áreas susceptíveis de serem afectadas por este tipo de contaminante, como sejam as áreas envolventes das estações de serviço.

4.2. Caracterização hidroquímica

Esta campanha, que se pretendeu o mais abrangente possível em termos espaciais, permitiu reconfirmar a predominância da fácies bicarbonatada cálcica no aquífero principal de Moura-Ficalho, bem como nos aquíferos Moura – Brenhas e calcários de Moura (Figura 2). Em 65 pontos analisados no aquífero principal, apenas 5 pontos possuem uma fácies diferente. Os pontos 512F19, 512F28 e 512F46 possuem uma fácies bicarbonatada magnesiânica-cálcica. Na nascente 524N5 (Banhos da Ferradura) a água é bicarbonatada sódica-magnesiânica e em Monte Branco é cloretada calco-sódica. No aquífero dos “Calcários de Moura” a água é, por vezes, bicarbonatada calco-magnesiânica. Outras captações na cobertura terciária possuem uma fácies cloretada sódica.

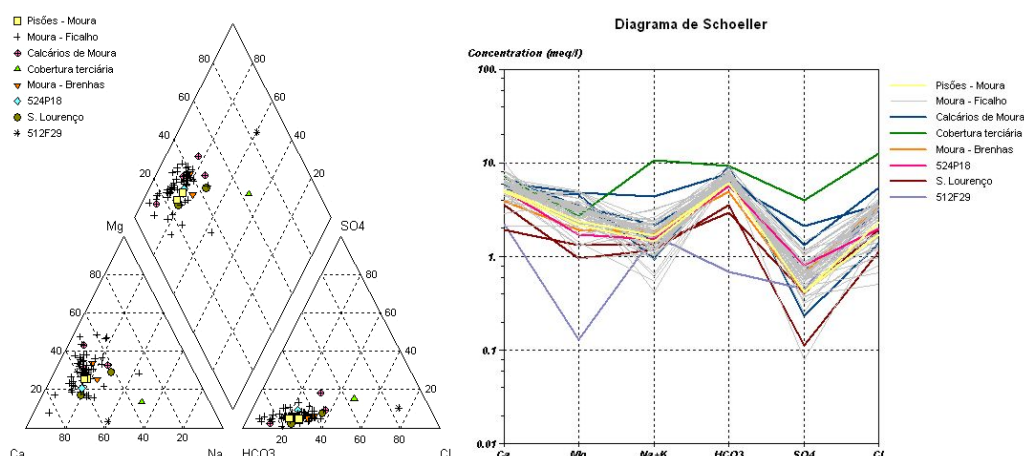


Figura 2 – a) Diagrama de Piper e b) Diagrama de Schoeller dos 73 pontos analisados em Setembro de 2004.

4.3. Análise univariada e bivariada

Foram analisados 13 elementos maiores em 73 amostras e 62 elementos, vestigiários e metais pesados, para 68 amostras. Efectuou-se uma análise estatística univariada e bivariada dos dados, com o cálculo dos principais parâmetros estatísticos, *boxplots* e matriz de correlação.

As águas apresentam um pH geralmente superior a 7 (mediana de 7,3), têm uma mineralização relativamente elevada (mediana do resíduo seco a 180° C de 596 mg/L), sendo águas duras (mediana de 440 mg/L de CaCO₃).

Os principais parâmetros estatísticos dos elementos maiores encontram-se expressos no Quadro 6 em mg/L, onde é visível a forte predominância dos iões bicarbonato e cálcio.

Quanto aos elementos menores verificou-se que o Berilo, Gálio, Ruténio, Paládio, Prata, Índio, Estanho, Telúrio, Ósmio, Platina, Mercúrio, Chumbo, Bismuto e Tório não têm expressão ou 75%

das amostras (3º quartil) correspondem ao valor do limite inferior de detecção de cada elemento. Os elementos Neodímio, Zircónio, Césio, Cádmiu, Cériu, Lantânio, Samário, Germânio, Praseodímio, Disprósio, Gadolínio, Nióbio, Érbio, Ouro, Európio, Itérbio, Hólmio, Térbio, Háfnio, Lutécio, Tálio, Tântalo, Túlio e Rénio, apresentam concentrações muito baixas, com médias inferiores a 0,07 µg/L, medianas inferiores a 0,03 µg/L, valores máximos inferiores a 0,6 µg/L e variâncias praticamente nulas.

Os principais parâmetros estatísticos dos restantes elementos encontram-se expressos no Quadro 7 em µg/L.

Quadro 6 – Estatísticas das análises a elementos maiores

| Parâmetros | n | Média | Mínimo | q1 | Mediana | q3 | Máximo | Variância |
|----------------------------------------|----------|-------|--------|-------|---------|--------|-------------|-----------|
| Condutividade (µS/cm) | 72 914 | 434 | 783 | 913 | 1020 | 2300 | 578981532 | |
| pH | 72 7.35 | 6.86 | 7.24 | 7.34 | 7.44 | 8.06 | 0.0348 | |
| Resíduo Seco (mg/l CaCO ₃) | 72 591.9 | 296.0 | 518.8 | 595.6 | 637.6 | 1460.6 | 228939943.0 | |
| K ⁺ (mg/l) | 72 2.4 | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 30.0 | 187282.0 | |
| Ca ²⁺ (mg/l) | 72 113.9 | 39.0 | 101.0 | 119.8 | 128.1 | 204.4 | 7763263.0 | |
| Mg ²⁺ (mg/l) | 72 35.8 | 1.6 | 27.1 | 37.3 | 42.0 | 62.0 | 1476091.0 | |
| HCO ₃ ⁻ (mg/l) | 72 431.1 | 41.5 | 416.0 | 438.5 | 466.7 | 573.4 | 62069769.0 | |
| SO ₄ ²⁻ (mg/l) | 72 34.2 | 3.8 | 23.7 | 29.1 | 39.1 | 191.6 | 5767168.0 | |
| Cl ⁻ (mg/l) | 72 100.7 | 17.8 | 64.6 | 106.7 | 129.4 | 448.7 | 32131452.0 | |
| NO ₃ ⁻ (mg/l) | 72 37.0 | 1.2 | 18.7 | 34.9 | 46.9 | 135.3 | 7517864.0 | |
| Na ⁺ (mg/l) | 72 39.4 | 9.2 | 26.5 | 37.0 | 43.0 | 244.0 | 787254.0 | |
| F ⁻ (mg/l) | 72 0.8 | 0.0 | 0.6 | 0.8 | 0.9 | 3.3 | 0.2 | |
| SiO ₂ (mg/l) | 72 20.2 | 4.7 | 15.7 | 18.3 | 22.7 | 56.9 | 63924.0 | |

n = número de amostras

Uma primeira análise do Quadro 7 sugere a agregação dos elementos em 3 grupos de acordo com a sua concentração nas águas. O 1º grupo (verde) corresponde aos elementos com concentrações mais importantes no Sistema Aquífero, onde se encontram o Brómio, Ferro, Estrôncio, Bário e Iodo, com a mediana compreendida entre 36 e 492 µg/L. Salienta-se que cerca de 25% das amostras de estrôncio excedem o limite superior de detecção do aparelho e não estão quantificadas. Um segundo grupo (amarelo), cuja mediana varia no intervalo de 1,5 a 7,3 µg/L, é constituído por Zinco, Escândio, Alumínio, Selénio, Lítio, Crómio, Titânio, Arsénio e Cobre. Os elementos Rubídio, Vanádio, Níquel, Manganês, Urânio, Molibdénio, Tungsténio, Antimónio, Cobalto e Ítrio, que constituem o 3º grupo (azul), apresentam uma mediana inferior a 0,7 µg/L e valores máximos superiores a 1 µg/L.

Através da análise dos *Boxplots* e da comparação do 3º quartil com os valores máximos, verifica-se que, para os elementos Manganês, Iodo, Zinco, Arsénio, Cobre, Bário, Alumínio e Prata, existem valores anómalos bastante elevados e que diferem 1 a 2 ordens de grandeza do 3º quartil.

Foi possível, através da matriz de correlação, perceber eventuais ligações entre os 75 elementos maiores e menores, nomeadamente:

- Na com SO₄ e Cl, com 0,83 e 0,84 de correlação;
- RS com Cl e SO₄, com 0,88 e 0,81;
- SiO₂ com Ti, com 0,86;
- Br com Cl, com 0,87;
- Al com Cr e V, com 0,90 e 0,82;
- As com Sb, com 0,87.

Quadro 7 - Estatísticas das análises a elementos vestigiários e metais pesados

| Parâmetros $\mu\text{g/L}$ | n | Média | Mínimo | q1 | Mediana | q3 | Máximo | Variância |
|----------------------------|----|--------|--------|--------|---------|--------|--------|-----------|
| Brómio | 68 | 465.70 | 137.56 | 383.26 | 492.06 | 570.41 | 730.78 | 23301.06 |
| Ferro | 68 | 188.11 | 70.07 | 122.55 | 194.33 | 240.47 | 387.42 | 4833.61 |
| Estrôncio | 68 | 162.48 | 51.73 | 142.63 | 176.25 | >200 | >200 | 1712.35 |
| Bário | 68 | 62.02 | 5.99 | 43.45 | 54.75 | 78.65 | >200 | 1458.52 |
| Iodo | 68 | 45.41 | 8.34 | 25.38 | 36.42 | 47.22 | 505.53 | 3692.92 |
| Zinco | 65 | 23.68 | 0.58 | 3.56 | 7.33 | 20.01 | >250 | 1857.17 |
| Escândio | 68 | 5.08 | 1.99 | 4.21 | 4.99 | 6.14 | 8.80 | 2.69 |
| Alumínio | 18 | 8.51 | 2.02 | 3.55 | 4.46 | 7.14 | 63.20 | 195.54 |
| Selénio | 67 | 3.63 | 0.33 | 2.16 | 3.36 | 4.63 | 11.96 | 3.80 |
| Lítio | 65 | 3.87 | 1.15 | 2.14 | 3.08 | 4.48 | 18.65 | 8.25 |
| Crómio | 66 | 1.96 | 0.53 | 1.34 | 1.87 | 2.28 | 13.73 | 2.53 |
| Titânio | 68 | 1.90 | 0.46 | 1.45 | 1.79 | 2.18 | 5.16 | 0.51 |
| Arsénio | 68 | 5.98 | 0.15 | 1.04 | 1.68 | 3.23 | 163.08 | 407.58 |
| Cobre | 33 | 8.87 | 0.20 | 0.99 | 1.45 | 5.28 | 162.61 | 801.48 |
| Rubídio | 68 | 1.04 | 0.16 | 0.48 | 0.68 | 1.00 | 7.72 | 1.76 |
| Vanádio | 67 | 1.17 | 0.11 | 0.47 | 0.67 | 1.09 | 12.66 | 2.97 |
| Níquel | 41 | 1.43 | 0.30 | 0.38 | 0.66 | 1.67 | 9.34 | 3.86 |
| Manganês | 44 | 15.72 | 0.10 | 0.20 | 0.51 | 1.21 | 599.97 | 8179.36 |
| Urânio | 68 | 0.62 | 0.01 | 0.34 | 0.45 | 0.67 | 2.88 | 0.30 |
| Molibdénio | 51 | 0.52 | 0.10 | 0.14 | 0.22 | 0.58 | 3.94 | 0.56 |
| Tungsténio | 68 | 0.30 | 0.04 | 0.06 | 0.09 | 0.13 | 7.36 | 1.08 |
| Antimónio | 66 | 0.14 | 0.02 | 0.05 | 0.07 | 0.12 | 2.00 | 0.07 |
| Cobalto | 54 | 0.12 | 0.01 | 0.03 | 0.04 | 0.06 | 3.87 | 0.27 |
| Ítrio | 66 | 0.14 | 0.00 | 0.01 | 0.03 | 0.16 | 1.01 | 0.05 |

n = número de amostras

4.4. Análise estatística multivariada

Aplicou-se a ACP a uma matriz com 68 indivíduos, 8 variáveis activas (Na, K, Ca, Mg, Cl, HCO_3 , SO_4 e NO_3) e 29 variáveis suplementares (F, SiO_2 , condutividade eléctrica, pH, RS e os elementos menores do Quadro 7).

O resultado obtido encontra-se na figura 3, onde se pode visualizar as projecções para os 3 primeiros eixos com 75 % de explicação acumulada.

Verifica-se que se reconfirma a interpretação da ACP para os dados da rede de qualidade do sistema aquífero (ver ponto 3.3). Quanto aos elementos menores, o seu posicionamento relativo sugere alguns agrupamentos, que serão discutidos, conjuntamente, com os resultados da aplicação da classificação ascendente hierárquica sobre os mesmos elementos. Alguns exemplos são Al-V-Cr, As-Cu, Se-Ba-Ti- SiO_2 , Mo-W, Sr-Br, Ni-Co, Sb-Li-As, Rb- SiO_2 , entre outros.

Aplicou-se a classificação ascendente hierárquica (CAH) à matriz de dados, utilizando o software ANDAD (CVRM, 2000), segundo o modo Q (agregação sucessiva de indivíduos ou linhas da matriz) e segundo o modo R (classificação das propriedades ou colunas da matriz).

Utilizaram-se diferentes critérios de distância (cos θ , coeficiente de correlação, distância do χ^2 , distância euclidiana), e a distância média como algoritmo de aglomeração. O programa produz, como *output* principal, um Dendrograma, gráfico dicotómico que descreve o modo como as entidades (indivíduos ou propriedades) se agrupam para distâncias sucessivamente crescentes. Pode-se ainda escolher, sobre o dendrograma, uma distância de corte e obter a constituição e caracterização dos grupos cuja similitude interna é superior à que corresponde à distância de corte.

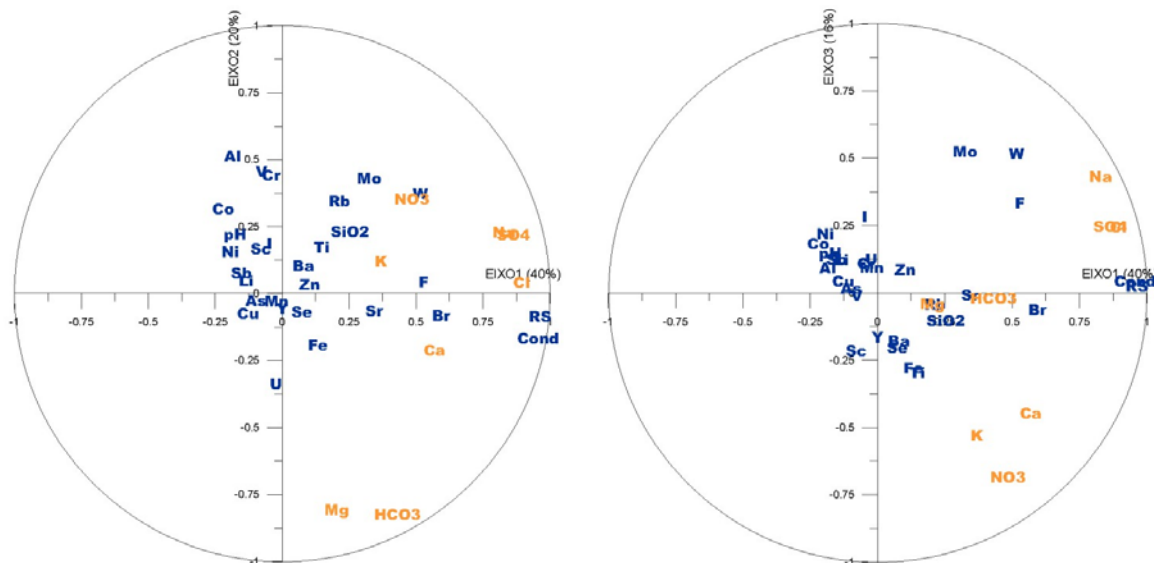


Figura 3 – a) Projecção das variáveis nos eixos 1 e 2; b) Projecção das variáveis nos eixos 1 e 3
Variáveis activas a laranja e variáveis suplementares a azul.

Foi realizada a CAH para as análises de amostras recolhidas em 73 pontos de água considerando os elementos maiores (Na, K, Ca, Mg, Cl, HCO₃, SO₄, NO₃, F e SiO₂), o pH, a condutividade eléctrica e o resíduo seco. O critério de distância utilizado foi o do χ^2 e como algoritmo de aglomeração a distância média.

No que concerne aos indivíduos foi possível obter um agrupamento coerente com os dados de campo e hidroquímicos e que está de acordo com o observado na ACP. Para uma distância de corte de 0,23 obtiveram-se 13 grupos, dos quais 11 apresentam um único indivíduo, 1 grupo apresenta 2 indivíduos e o último apresenta 59 indivíduos. Estes resultados confirmam a grande homogeneidade da fácies química dos pontos de água que captam o aquífero principal, como foi referido na análise dos diagramas de Piper e de Schoeller. Os pontos de água mais afastados deste conjunto têm, geralmente, em comum, uma mineralização mais elevada e/ou teores de nitratos mais elevados. A uma distância mais pequena do grupo principal, distinguem-se alguns pontos cujas águas possuem teores de sulfato mais baixos e são captadas a uma profundidade da ordem dos 100 metros.

Os indivíduos que se distinguem claramente do resto do grupo são:

- O 501F13, que capta o aquífero dos “Calcários de Moura” e apresenta uma mineralização muito elevada (resíduo seco de 767,6 mg/L), como também valores altos em cloreto, sódio, sulfato e nitrato entre outros;
- O furo 513F33 que, apesar de captar as formações dolomíticas até uma profundidade de 122 metros, mostra afinidades com o furo 501F13, certamente devido aos altos teores em nitrato em ambos (135,3 mg/L e 125,4 mg/L, respectivamente).
- A nascente da Bica do Leão, também com elevada mineralização (resíduo seco de 874,80 mg/L) e valores de nitratos altos (115,8 mg/L).
- A Nascente dos Banhos da Ferradura, por ter uma fácies química bicarbonatada sódica-magnésiana.
- O Cerro das Canas, que apresenta valores anómalos de nitrato e potássio (respectivamente 65,5 e 24,0 mg/L).
- O Monte Branco, pelo facto de ter uma mineralização mais baixa (resíduo seco de 316,6 mg/L) e uma fácies química diferente (cloretada calco-sódica).
- O Lameira 2, que capta depósitos cenozóicos e apresenta também uma elevadíssima mineralização (resíduo seco de 1460,6 mg/L);

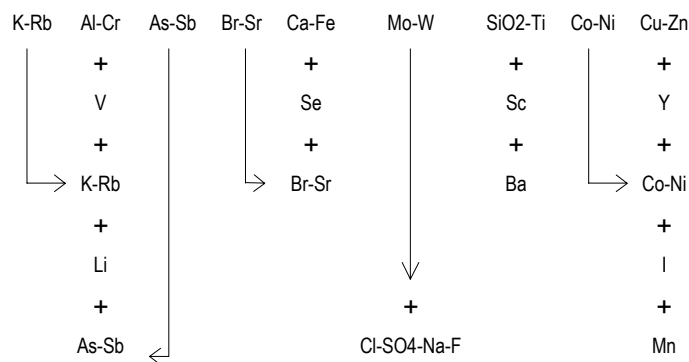
- As captações 512F13 e 513F28 apresentam mineralizações mais baixas e com teores de sulfato baixos.
- Os furos 513F6 e 513F27 apresentam valores semelhantes aos do grupo principal, mas com valores de sulfato mínimos. Este facto, associado à maior profundidade destas captações, pode indiciar que a origem deste elemento se encontra nos depósitos cenozóicos superficiais e não por oxidação da Pirite que se encontra nas formações carbonatadas.

Para os elementos maiores obteve-se uma ordem de agrupamento que está de acordo com os resultados da aplicação de outras técnicas de análise estatística. Ao 1º grupo Cond-RS, e para uma distância crescente, aglutina-se o Ca, o HCO₃ seguido do pH e do Mg. Ao 2º grupo Cl-Na junta-se o SO₄. A SiO₂ agrupa-se depois do Mg. De seguida junta-se o 2º grupo. Segue-se para maiores distâncias a junção de F, do NO₃ e por último do K.

Foi ainda aplicada a CAH à matriz utilizada na ACP. O critério de distância utilizado foi o coeficiente de correlação e como algoritmo de aglomeração a distância média.

No Quadro 8 encontram-se os resultados obtidos para as distâncias mais baixas e para os agrupamentos até à 8ª ordem.

Quadro 8 – Agrupamentos de 8ª ordem da CAH aplicada a elementos maiores e menores



Ao confrontar estes resultados com as formações geológicas existentes encontramos alguma sustentabilidade para estas associações. Com efeito, ocorrem importantes depósitos de sulfuretos, predominantemente, de Zn-Pb (Ag) nas Dolomias de Ficalho (Oliveira *et al*, 1992) que constituem parte da matriz rochosa do sistema aquífero. A mineralização aflora sob a forma de chapéu de ferro e óxidos de Zinco, os quais passam em profundidade a sulfuretos. Segundo V. Oliveira (informação oral) na zona de oxidação dos chapéus de ferro encontram-se, entre outros, sulfato de Ba (Barite) e sulfato de Sr (Celestite). Na paragénese mineral existem sulfuretos de Cu, As, minerais de Mn, entre outros. Na zona de Vale Vargo está assinalada uma ocorrência de Pb e Sb (Oliveira *et al*, 1992) e na zona da Preguiça uma de Zinco calaminar com V associado (Descloizite). Os metavulcanitos básicos podem explicar associações como Al-Cr-V, Ni-Co enquanto que o Mo-W pode ter origem nos metavulcanitos ácidos. Os feldspatos justificam K-Rb-SiO₂. Outras associações não serão tão evidentes, pelo que carecem do desenvolvimento de estudos que envolvam a geoquímica de solos e rochas.

4.5. Hidrocarbonetos

As colheitas de água subterrânea para análise aos hidrocarbonetos foram realizadas em captações públicas e particulares localizadas nos principais aglomerados urbanos, devido essencialmente à existência de gasolinhas, indústrias e uma lixeira. Foram também efectuadas em captações isoladas mas equipadas com motor a gerador.

Foram colhidas amostras de água em 14 locais dos quais apenas 11 foram analisadas devido à quebra dos frascos de vidro durante o transporte (Figura 1).

Destas 11 análises, duas evidenciaram valores superiores ao VMA (0,05 mg/L). O furo de abastecimento público a Vila Verde de Ficalho (524F23) possui um valor de 0.051 mg/L. Este facto deve ser devido à derrames acidentais de combustível na casa de protecção do furo, uma vez que foi assaltada pouco tempo antes da recolha da amostra. Os serviços camarários foram avisados e aconselhados a efectuar uma bombagem de limpeza do furo de 12 horas e a repetir a análise. É de referir que este furo apenas é utilizado em períodos de maior consumo. O furo 512F2, pertencente à Herdade dos Machados, é utilizado para rega. O valor encontrado é de 0.011 mg/L. Este valor também deve ser devido a uma contaminação pontual devido a derrame de gasolina na casa de protecção do furo aquando do abastecimento do motor do gerador da bomba de extracção. Foram também contactados os responsáveis desta herdade e aconselhados a efectuar uma bombagem de limpeza do furo de 12 horas e a repetir a análise. Dado que o furo de abastecimento doméstico da herdade se situa a poucas dezenas de metros deste furo contaminado, foi também aconselhada a realização de uma análise ao furo.

5. RECURSOS HIDROMINERAIS

No nosso país ocorrem águas com particularidades muito interessantes, às quais, desde tempos remotos, foram atribuídas capacidades únicas na cura de certas doenças e na preservação da vida, o que constitui uma mais valia importante em relação às restantes águas subterrâneas.

Para os efeitos pretendidos com o projecto HIDROPARK procedeu-se a uma inventariação de casos de água subterrânea da região que tiveram, têm, ou poderão vir a ter, um valor sócio-económico distinto do das águas comuns, dadas as suas características físico-químicas. O estudo abrange apenas os concelhos de Moura e Serpa. Foram tidos em consideração os seguintes grupos de recursos:

- Recurso hidromineral – águas minerais naturais qualificadas de acordo com a legislação em vigor (D.L. nº 90/90 e D.L. nº 86/90, ambos de 16 de Março), pertencentes ao domínio público do Estado. Englobam-se aqui os casos em que o direito de exploração se encontra definido, através da atribuição de uma concessão, independentemente de o recurso estar em situação de exploração ou de suspensão de exploração;
- Recurso hidromineral potencial - águas que foram qualificadas à luz de legislação anterior (caso dos recursos não concessionados) ou que nunca chegaram a ser qualificadas, sendo as suas propriedades terapêuticas conhecidas desde longa data, embora numa forma empírica (caso das águas não reconhecidas).

A revelação da existência de um recurso com valor económico passa pela realização de estudos geológicos, estruturais e geofísicos de grande detalhe, durante um período de tempo adequado, de forma a avaliar e minimizar o risco de danificação irreparável do mesmo.

Na abordagem do tema, pretende-se focar, de uma forma genérica, alguns aspectos relevantes, como sejam a geologia, o quimismo, o aspecto da utilização destes recursos (termalismo, indústria de engarrafamento), etc.

Chama-se a atenção para o facto de não estar mencionada nenhuma Água de Nascente em virtude de não existir nenhum caso de exploração de água assim qualificada na região abrangida pelo projecto. Dado que a legislação em vigor relativa a este tipo de recurso não exige que este tipo de águas tenha características invulgares, considera-se que nestas condições todos os aquíferos cujas águas satisfaçam os limites de qualidade exigidos a uma água destinada ao consumo humano, portanto conformes ao decreto-lei n.º 236/98, podem ser considerados alvos potenciais para exploração.

5.1. Localização e modos de ocorrência

Na região em estudo foram identificadas 6 ocorrências (Figura 4) que representam as águas que, de alguma forma, são ou foram inventariadas como recursos hidrogeológicos e/ou usadas em tempos em tratamentos termais. Duas das ocorrências estão qualificadas como águas minerais naturais e encontram-se concessionadas, estando sujeitas a programas de controlo por parte da Direcção-Geral de Geologia e Energia (DGGE) e as restantes quatro não se encontram concessionadas, tendo sido qualificadas à luz de legislação anterior (caso dos recursos não concessionados) ou então nunca chegaram a ser qualificadas, sendo as suas propriedades terapêuticas conhecidas desde longa data, embora numa forma empírica (caso das águas não reconhecidas).

É considerada uma ocorrência um conjunto de nascentes e/ou furos próximos, com um perfil hidroquímico comum.

Para uma análise sumária das características físico-químicas destes recursos hidrominerais, foram seleccionadas as últimas análises físico-químicas completas relativas a cada uma das ocorrências legalizadas e, em relação às restantes situações, procurou-se também utilizar a informação mais recente disponível.

As águas minerais naturais de Pisões-Moura e de Santa Comba e Três Bicas, que apresentam como sector de actividade o engarrafamento e o termalismo, respectivamente, possuem um perfil químico semelhante, sendo classificadas como águas bicarbonatadas cálcicas, fracamente mineralizadas e com reacção neutra. Estas águas estão associadas a circulação em mármores dolomíticos e dolomitos do Complexo Vulcano-Sedimentar de Ficalho-Moura, de idade câmbrico-ordovícica, subjacente ao depósito detrítico carbonatado miocénico que cobre a região. Ambas as águas minerais naturais têm demonstrado estabilidade química ao longo dos tempos, conforme se pode observar nomeadamente através dos diagramas de Schoeller e de Piper apresentados na Figura 5.

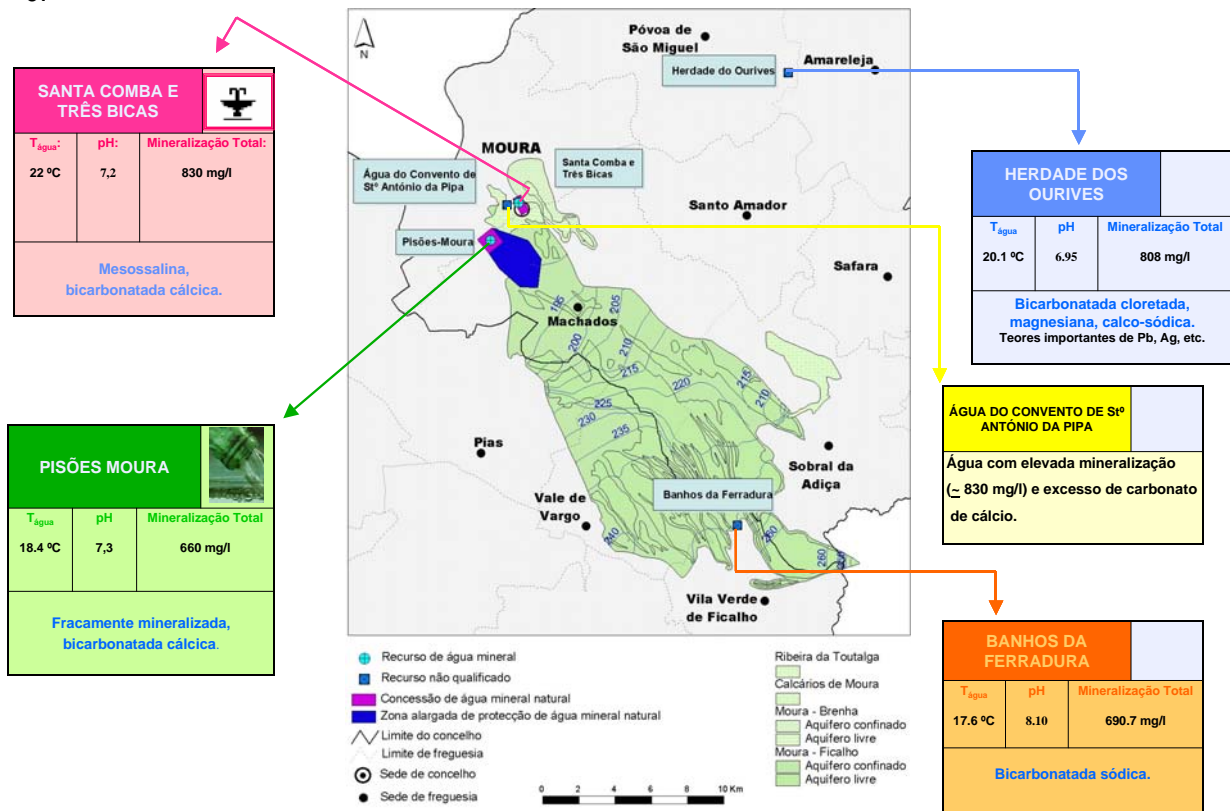


Figura 4 – Principais características dos recursos hidrominerais existentes na região de Moura

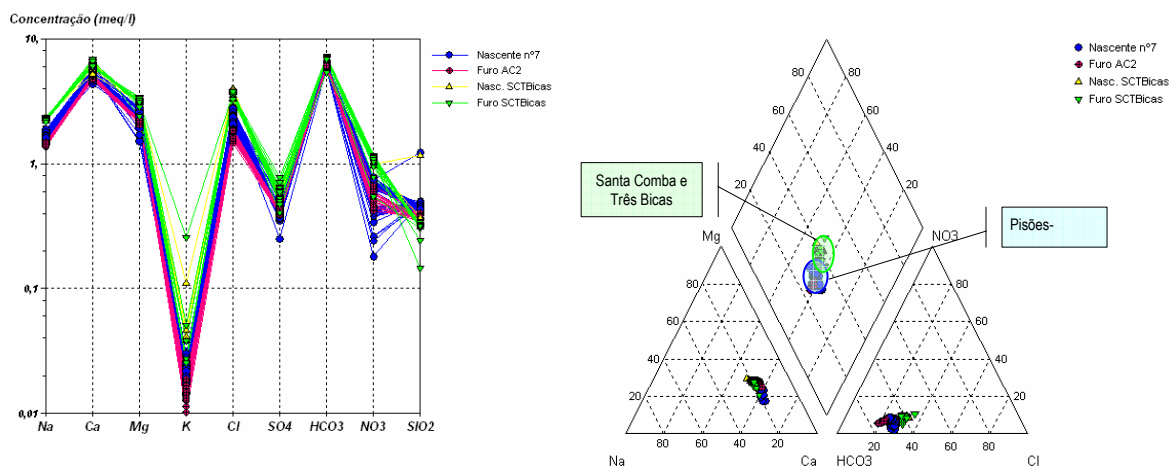


Figura 5 – a) Diagrama de Schoeller e de b) Piper para as captações de Pisões-Moura e de Santa Comba e Três Bicas

5.2. Comparação com outras águas subterrâneas da região

As características físico-químicas (e por vezes a sua temperatura de emergência) de grande parte das águas minerais naturais são distintas das chamadas águas subterrâneas da região, devido a circuitos bastante profundos na crosta terrestre; no entanto, é errado pensar-se em dois sistemas independentes. As águas subterrâneas de uma região devem ser encaradas como um todo, logo, geridas como unidades interactivas.

O Quadro 8 corresponde a uma síntese das principais características físico-químicas das águas minerais naturais de Pisões-Moura e de Santa Comba e Três Bicas e das águas subterrâneas inventariadas nas imediações das referidas ocorrências hidrominerais (campanha de amostragem de Setembro de 2004), designadamente dentro de zonas de protecção ou de área de concessão hidromineral. Pela análise deste quadro, verifica-se que a água das captações inventariadas apresenta um quimismo semelhante ao das águas minerais.

| Local | Captação | Date | pH | T(Wa) | Cond | TDS | Na | K | Mg | Ca | Fe | Ba | Zn | F | Cl | HCO3 | SO4 | NO3 | Br | SiO2 | Observações |
|--------------------------|--------------------|-----------|--------|-------|--------|--------|-------|------|--------|--------|-----------|----------|----------|-------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Pisões-Moura | Castello 1 * | 1990/2004 | 7,18 | 18,40 | 769,86 | 491,28 | 38,37 | 0,86 | 28,64 | 103,64 | 0,03 | 0,07 | 0,00 | 0,13 | 82,38 | 373,81 | 20,21 | 18,07 | 0,34 | 27,63 | captação água mineral natural |
| Pisões-Moura | Castello 2 * | 2001/2004 | 7,31 | 19,00 | 722,48 | 457,53 | 33,12 | 0,57 | 26,26 | 98,43 | 0,06 | 0,06 | 0,00 | 0,18 | 61,29 | 366,43 | 20,00 | 16,06 | 0,40 | 22,22 | captação água mineral natural |
| Pisões-Moura | 512F13 ** | set. 2004 | 7,36 | 23,1 | 498,0 | 362,60 | 24,40 | 4,20 | 11,67 | 70,54 | 120,2860 | 43,6806 | 30,2918 | 0,50 | 39,53 | 217,16 | 5,39 | 74,56 | 137,5569 | 32,42 | captação localizada na zona alargada do perímetro de protecção de Pisões-Moura |
| Pisões-Moura | 512F36 ** | set. 2004 | 7,52 | 21,3 | 656,0 | 466,60 | 31,00 | 1,00 | 31,62 | 80,16 | 138,1336 | 20,7700 | 2,1130 | 1,20 | 42,19 | 341,60 | 36,95 | 64,13 | 186,9941 | 15,63 | captação localizada na zona alargada do perímetro de protecção de Pisões-Moura |
| Pisões-Moura | 512F41 ** | set. 2004 | 7,28 | 22,5 | 783,0 | 548,40 | 32,50 | 1,50 | 37,94 | 101,72 | 222,4208 | 19,3767 | 2,8373 | 0,60 | 72,69 | 417,24 | 36,34 | 34,94 | 419,5628 | 15,52 | captação localizada na zona alargada do perímetro de protecção de Pisões-Moura |
| Pisões-Moura | 512F43 ** | set. 2004 | 6,86 | 23,7 | 434,0 | 296,00 | 30,50 | 1,90 | 16,29 | 38,96 | 70,0727 | 22,3422 | 14,8766 | 0,54 | 68,29 | 179,34 | 19,79 | 1,24 | 244,0368 | 17,75 | captação localizada na zona alargada do perímetro de protecção de Pisões-Moura |
| Santa Comba e Três Bicas | Nasc. 3 Bicas * | 1996/1997 | 7,4525 | 21,5 | 972,75 | 623,75 | 52,25 | 2,3 | 38,125 | 117,5 | 0,07 | 0,07 | 0,00 | 0,125 | 131,25 | 420,95 | 25,175 | 31,95 | 0,46 | 51,9 | captação água mineral natural |
| Santa Comba e Três Bicas | Nasc. Sta. Comba * | 1996/1997 | 7,3175 | 21,5 | 978 | 636 | 52,75 | 1,66 | 36,225 | 124,25 | 0,006 | 0,07 | 0,00 | 0,11 | 133 | 420,85 | 25,075 | 31,625 | 0,45 | 20,225 | captação água mineral natural |
| Santa Comba e Três Bicas | Furo Castello * | 1997/2002 | 7,17 | | 964,88 | 622,56 | 53,03 | 1,98 | 37,96 | 124,33 | 0,80 | | | 0,79 | 126,44 | 423,20 | 27,90 | 31,88 | | 18,20 | captação água mineral natural em fase de licenciamento |
| Santa Comba e Três Bicas | 501F37 ** | set. 2004 | 7,38 | 23,2 | 1006 | 695,61 | 42 | 1 | 39,28 | 114,47 | 122,84605 | 36,41758 | 0,948106 | 1,2 | 129,36 | 437,37 | 29,98 | 14,72 | 549 | 14,53 | furo Castello |
| Santa Comba e Três Bicas | 501N1 ** | set. 2004 | 7,54 | 22,8 | 1063 | 642,61 | 41,5 | 1,5 | 39,76 | 121,52 | 105,42145 | 60,12007 | 3,702214 | 0,67 | 134,19 | 445,91 | 29,17 | 39,23 | 580,90243 | 19,17 | Nasc.: 3 Bicas |
| Santa Comba e Três Bicas | 501N2 ** | set. 2004 | 7,28 | 22,8 | 1039 | 624,61 | 41,5 | 1,5 | 41,59 | 123,05 | 127,97212 | 54,75352 | 2,629834 | 0,08 | 126,99 | 473,36 | 29,77 | 36,36 | 615,30703 | 18,88 | Nasc.: Sta. Comba |

* - análises elaboradas pelas respectivas concessionárias

** - análises resultantes da campanha efectuada em Setembro de 2004

*** - média das análises efectuadas

Quadro 8 – Principais características físico-químicas das águas subterrâneas inventariadas nas imediações das águas minerais naturais de Pisões-Moura e de Santa Comba e Três Bicas (concentrações em mg/L)

O diagrama de Piper apresenta a projecção iónica da água mineral natural de Pisões-Moura e das águas mencionadas no parágrafo anterior (Figura 6). A comparação entre a água mineral de Pisões-Moura e as mesmas águas é feita a partir de um diagrama de Schoeller representado na mesma figura.

A observação dos diagramas da Figura 6 destaca a semelhança química entre a água mineral natural de Pisões Moura e as restantes águas subterrâneas, apresentando ambas o mesmo par iónico dominante: bicarbonato e cálcio. De referir que os valores dos parâmetros relativos à água de Pisões se referem à média das análises efectuadas às captações legalizadas, denominadas por Castello 1 e Castello 2, no período compreendido entre 1990 e 2004.

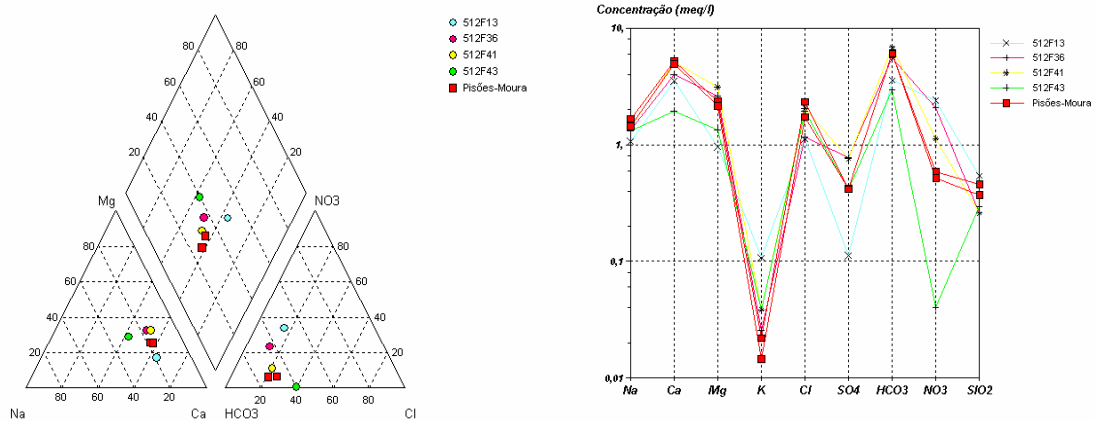


Figura 6 – a) Diagrama de Piper e de b) Schoeller: comparação entre os resultados das análises físico-químicas da água de Pisões e de algumas águas subterrâneas localizadas na zona alargada do perímetro de protecção.

O crescimento da actividade agrícola e de furos mal executados nas imediações da área de concessão de Pisões-Moura tem-se reflectido num aumento do teor de nitratos no circuito hidromineral na zona envolvente da concessão. A Figura 7 mostra a existência de várias captações, nas imediações da área de concessão de Pisões-Moura, com teores em nitrato acima do Valor Máximo Admissível (50 mg/L).

A política de aquisição de terrenos conduzida pela concessionária de Pisões-Moura (Nestlé Waters Portugal, S.A.) tem contribuído para que na zona de concessão e áreas envolventes os riscos instalados sejam cada vez mais reduzidos.

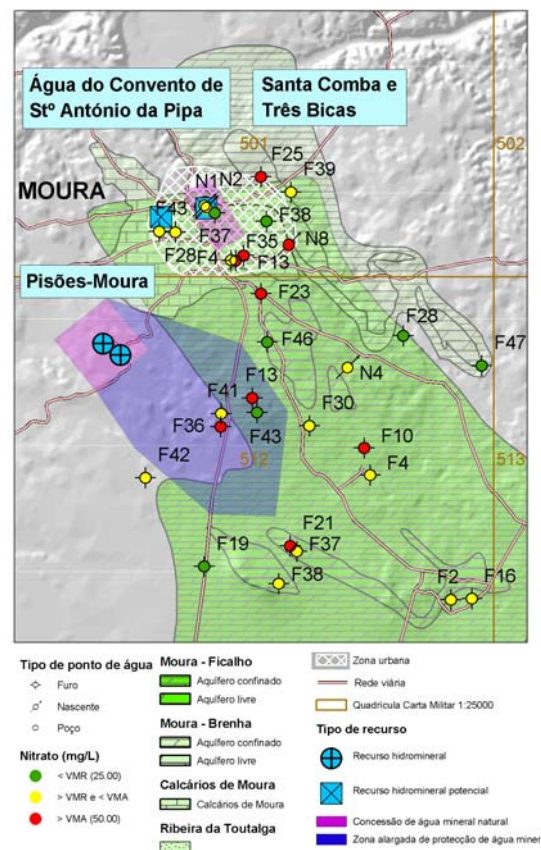


Figura 7 – Distribuição do teor em nitrato, em particular na zona envolvente da concessão hidromineral de Pisões-Moura (Setembro, 2004)

6. CONCLUSÕES

Para a caracterização hidroquímica do sistema aquífero de Moura-Ficalho foi implementada uma rede de monitorização da qualidade química das águas subterrâneas composta por 13 captações, com recolha trimestral, que permitiu recolher 270 análises a iões maiores entre Março de 1997 e Maio 2005. Em paralelo, foi realizada em Setembro de 2004 uma campanha de recolha de amostras de água para análise físico-química de iões maiores em 73 pontos de água (furos, poços e nascentes), dos quais 68 pontos foram sujeitos à pesquisa de metais pesados e elementos vestigiais.

A estes dois conjuntos de dados foram aplicadas várias técnicas de análise estatística univariada, bivariada e multivariada (ACP, CAH), que se complementaram na evidência e na explicação dos vários fenómenos e particularidades observadas na caracterização hidrogeoquímica do aquífero.

Estas águas são essencialmente do tipo bicarbonatado cálcico, com teores elevados em cloreto, sulfato e sódio, e a presença preocupante de nitrato.

Estes factos podem ser explicados por:

- Os sais da cobertura cenozóica, formados pelos elementos sódio, cloreto e sulfato, estão certamente associados com as intercalações de calcários lacustres formados em ambiente de fraca drenagem e clima sub-árido (Carvalhosa *et al.*, 1970) com forte evaporação e subsequente formação de salmouras. Barbosa (notícia explicativa da Amareleja, em publicação) refere que a fracção argilosa de uma amostra de crosta carbonatada na zona do Monte da Lameira inclui paligorskite e gesso.
- O bicarbonato e o magnésio têm por origem a matriz dolomítica do aquífero.
- Existem claros indícios de contaminação agrícola, pelos valores de nitrato e potássio encontrados ao longo do período de monitorização. A distribuição espacial mostra valores maiores na zona norte enquanto a área de recarga, essencialmente ocupada por olival, mostra valores mais baixos. Está em curso um estudo, em colaboração com associações de agricultores, para definir as práticas agrícolas, os tipos de cultura e a sua distribuição espacial anual, para melhor entender as relações com a contaminação encontrada. Merece referência que as taxas de adubação aplicadas na região são geralmente inferiores às recomendadas pelos serviços competentes, o que confirma a alta vulnerabilidade à poluição dos aquíferos cársicos.
- Foi possível agrupar os elementos vestigiários e metais pesados em 3 classes de acordo com a concentração observada. A classe dos elementos mais abundantes inclui o Fe, o Sr, o Br, o Ba e o I. Face aos agrupamentos encontrados nas análises estatísticas, a presença dos diversos elementos parece estar principalmente relacionada com mineralizações de sulfuretos polimetálicos nas “Dolomias de Ficalho”, (visíveis nas ocorrências da Preguiça, Ficalho e Enfermerias), e também com os metavulcanitos ácidos e básicos do Complexo Vulcano-Sedimentar de Ficalho. Perspectivou-se a necessidade de um futuro estudo que integre estes resultados com a geoquímica de solos e rochas.

7. BIBLIOGRAFIA

Arquivo Analítico da Divisão de Recursos Hidrogeológicos e Geotérmicos da Direcção-Geral de Geologia e Energia.

Carvalhosa, A. & Carvalho, A.M.G. – “Notícia explicativa da folha 43-B – Moura”. Serv. Geol. de Portugal, 1970, 30 p.

Costa, A. M.– “Sistemas Aquíferos da Região de Moura”, *in* Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal, tomo 77, 1991, pp. 133-146.

Costa, A. M. - “Características hidrogeológicas dos «Calcários de Moura»”, *in* Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal, tomo 78, fasc.1, 1992, pp. 3-11.

Costa, A. M. – “Sistema Aquífero Moura-Ficalho”, *in* 4º Congresso da Água, Lisboa, 1998, pp. 171-172.

Costa, A. M.; Dill, A., Müller, I. & Oliveira, V. – “Monitorização dos Aquíferos da Região de Moura-Ficalho - sondagens, construção e equipamento de piezómetros”, *in* 4º Congresso da Água, Lisboa, 1998, pp. 181-182.

Costa, A. M. - “Termas de Moura. Possibilidades de desenvolvimento”, *in* Alentejo - análise regional, n.º 18, CCRA, 1998, pp. 42-45.

Costa, A. M. - "Sistema Aquífero Moura-Ficalho". Anexo II - Fichas dos Sistemas Aquíferos do Alentejo do Relatório Técnico do Projecto de Estudo dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Alentejo. CCRA, Évora, 2001, 130 p.

Costa, A. M. *et al.* - Modelo numérico de fluxo em regime transitório: o caso do aquífero Moura-Ficalho, *in* 8º Congresso da Água, 2005.

Cruz, J. - "Objectivos e critérios para a elaboração de propostas de fixação dos perímetros de protecção. Preservação da Qualidade das Águas Minerais Naturais e de Nascente". Instituto Geológico e Mineiro, 1999, 80 p.

CVRM – Centro de Geo-Sistemas/IST (2000). Programa ANDAD versão 7.1. (Última actualização). Desenvolvido por Pedro Sousa e Jorge de Sousa

CVRM – Centro de Geo-Sistemas/IST (2001). Programa ANDAD Manual do utilizador. Desenvolvido por Pedro Sousa e Jorge de Sousa

Direcção-Geral de Geologia e Minas – "Recursos Geológicos – Legislação". Lisboa, 1990.

Oliveira *et al.* - Notícia explicativa da folha 8 da Carta Geológica de Portugal à escala 1/200000. Instituto Geológico e Mineiro, 1992, 91 p.

Oliveira, J. T. *et al.* - "Traços gerais da evolução tectono-estratigráfica da Zona de Ossa Morena", em Portugal. *Cuad. Lab. Xeol. Laxe*, 16, La Coruña, pp. 221-250.

Pereira, E. (2004). Vulnerabilidade e qualidade da água do Sistema Aquífero de Moura – Ficalho. Tese de Mestrado. I.S.T ,Lisboa,.2004, 157 p.

Piçarra, *et al.* (em preparação) – "Notícia explicativa da folha 41-C – Amareleja". INETI.