

Pereira, M. R., Almeida, C., L. Ribeiro (1998)

**Aplicação da Análise Factorial de Correspondências
à Caracterização Hidrogeoquímica de Águas
Subterrâneas em Rochas Ígneas e Metamórfica**

Vol. II dos Anais do VIII SILUBESA, Paraíba, Brasil,
363-374.

**APLICAÇÃO DA ANÁLISE FACTORIAL DE CORRESPONDÊNCIAS À
CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM
ROCHAS ÍGNEAS E METAMÓRFICAS**

Maria do Rosário PEREIRA Licenciada em Geologia pela Fac. Ciências da Univ. do Porto, 1985. Realizou trabalhos de geofísica e de hidrogeologia, na Empresa Sondagens e Fundações A. Cavaco, entre 1985/87. Em Março de 1987 entrou como Assistente Estagiária para a Secção de Geologia da Un. de Trás-os-Montes e A. D., tendo realizado as Provas de Aptidão Pedagógica e Capacidade Científica em 1990, sobre o tema "Prospecção e Pesquisa de Águas Subterrâneas em Algumas Zonas de Trás-os-Montes". Actualmente encontra-se a finalizar o trabalho para a Tese de Doutoramento sobre o tema "Hidrogeologia de Rochas Fracturadas da Região de Trás-os-Montes Oriental". Tem trabalhos publicados, nomeadamente sobre caracterização hidráulica e modelação hidrogeoquímica de aquíferos fracturados.

Secção Geologia - UTAD Quinta Prados 5000 VILA REAL PORTUGAL

Tel. 351-59-320213; Fax 351-59-320480; E-mail: rpereira@utad.pt

Carlos ALMEIDA Doutorado em Geologia (Hidrogeologia) pela Universidade de Lisboa. Professor Associado do Departamento de Geologia da Fac. de Ciências da Univ. de Lisboa. Tem desenvolvido actividade docente e de investigação nos domínios em Hidrogeologia regional, designadamente em meios cárscicos, fracturados e vulcânicos, hidrogeoquímica e modelação. Regeu cursos de pós-graduação em Hidrogeoquímica e Contaminação de Aquíferos, Modelação hidrogeoquímica e Modelação de escoamento e transporte, em Universidades portuguesas (Lisboa, Aveiro e Algarve) e na Universidade de Alcalá de Henares (Espanha) como professor visitante.

Departamento de Geologia da FCUL Edifício C-2 - Campo Grande - 1700 Lisboa - Portugal Tel. 351-1-7573141; Fax: 351-1-7500064; E-Mail: calmeida@esoterica.pt

Luís RIBEIRO Licenciado em Engenharia de Minas pelo Instituto Superior Técnico, 1978; Doutor em Engenharia de Minas pelo Instituto Superior Técnico, 1992, Prémio A.P.R.H. 1992/93, Prémio ÁGUA E PROGRESSO 1997. Responsável pela opção de Hidrogeologia do Mestrado em Georrecursos do Instituto Superior Técnico. Exerce actividade de investigação científica no Centro de Valorização de Recursos Minerais do IST, no domínio da modelação estocástica e determinística de Sistemas Hidrogeológicos, da análise multivariada de dados aplicada à Hidrogeologia e na modelação geomatemática da qualidade da água. É coordenador científico de 5 projectos de investigação apoiados pela JNICT, DGA, IGM e EPAL. Faz parte da equipa de especialistas (na área das águas subterrâneas) que assessora tecnicamente o INAG nos trabalhos de elaboração dos Planos de Bacia Hidrográfica e no Plano Nacional da Água. É autor de cerca de 70 comunicações. É o Presidente da Comissão Especializada das Águas Subterrâneas da Associação Portuguesa de Recursos Hídricos.

CVRM - Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais, 1096 Lisboa Codex, Portugal

Telef. 351-1-8417247; Fax: 351-1-8417442; E-mail: nlrib@alfa.ist.utl.pt

RESUMO

Com o objectivo de caracterizar a qualidade das águas subterrâneas de uma região de Trás-os-Montes Oriental (Portugal), ocupada predominantemente por rochas ígneas e metamórficas, foram colhidas águas em 45 captações que foram alvo de análise química e bacteriológica.

Os resultados obtidos foram tratados através da análise factorial de correspondências. A escolha desta metodologia justifica-se pelo facto de se pretenderem incluir na análise variáveis quantitativas e qualitativas, a fim de obter uma melhor compreensão dos processos envolvidos. A referida análise permitiu concluir que os factores topográficos, isto é, o local de implantação das captações em vale ou em encosta, não desempenham papel significativo na qualidade da água permitiu ainda evidenciar diferenças de composição entre as águas da Unidade Ígnea e da Unidade Metamórfica, não permitindo, por seu lado, estabelecer diferenças claras entre as várias litologias desta última. Os pesos das variáveis nos factores 2 e 3, sugerem que os factores de origem antropogénica são, por um lado, as actividades agrícolas, responsáveis pelo aumento de sulfato e cloreto, provavelmente relacionados com a concentração de sais, ao nível do solo, resultante da rega e por outro, a contaminação com efluentes urbanos, responsável pelo aumento de nitrato, cloreto e coliformes fecais.

INTRODUÇÃO

Grande parte do território de Portugal é ocupada por rochas fracturadas, predominando as rochas granitóides e metassedimentares. Apesar de se tratar de rochas com escassa aptidão hidrogeológica são bastante exploradas para pequenos abastecimentos domésticos familiares, ou, mesmo, de pequenas povoações e para regadio, pelo que o estudo das águas subterrâneas naquele meio tem vindo a suscitar cada vez maior interesse.

Para fazer a caracterização hidrogeológica de uma região de rochas ígneas e metamórficas do Terreno Ibérico, localizada na parte NW de Trás-os-Montes (fig.1), foram realizados diversos trabalhos com o objectivo de obter dados que permitissem uma melhor compreensão do funcionamento dos aquíferos ocorrentes bem como dos processos responsáveis pelas características químicas dessas águas. A partir do inventário de furos e nascentes na região foi seleccionada uma rede de amostragem.

Numa primeira fase optou-se por incluir na rede de amostragem apenas as captações para abastecimento público, dado os numerosos furos particulares não disporem, em geral, de qualquer informação sobre os terrenos atravessados e devido ao facto da sua exploração ser episódica por muitos deles pertencerem a não residentes. No entanto, posteriormente foram incluídos alguns desses furos particulares com o objectivo de aumentar a densidade da rede de amostragem.

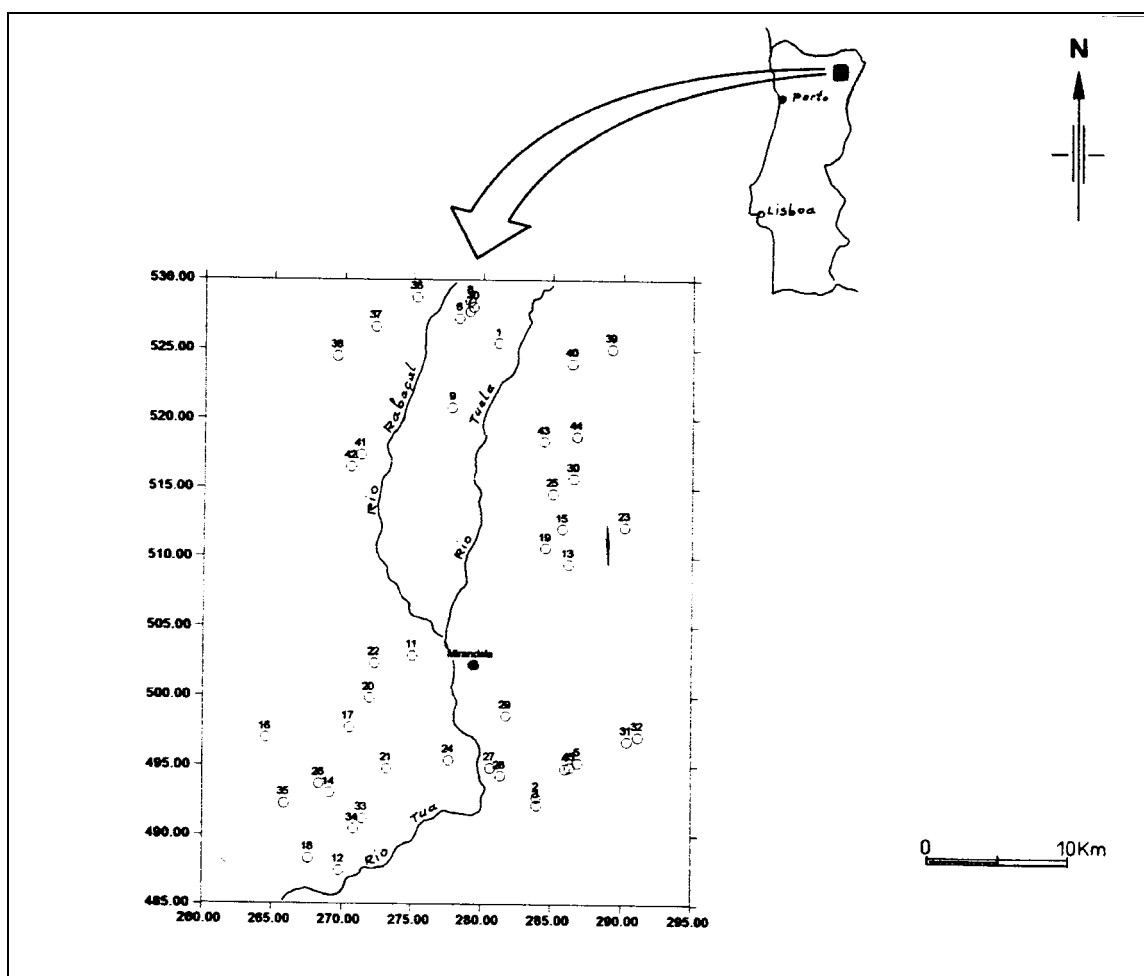


Fig. 1 - Localização da região estudada e localização dos pontos de água amostrados.

No final foram seleccionados 45 locais, de que fazem parte 35 furos, 9 nascentes e uma amostra no rio Tua, para colheita de amostras de água para análise química. Realizaram-se também análises bacteriológicas das mesmas.

As 45 amostras estudadas foram colhidas entre Setembro e Dezembro de 1994 e em Dezembro de 1995 e as análises químicas foram efectuadas no laboratório do Instituto Geológico e Mineiro, no Porto. Quanto às amostras para análise bacteriológica, foram efectuadas no mesmo período e analisadas no Departamento de Microbiologia da U.T.A.D..

CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA

Os parâmetros físico-químicos determinados laboratorialmente foram: condutividade, resíduo seco, temperatura, pH, CO_2 , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , F^- , NO_3^- e SiO_2 .

Numa primeira análise dos resultados e com o objectivo de tentar identificar populações com características diferentes, procedeu-se à análise dos valores da condutividade, através dum diagrama quantil-quantil. Este tipo de gráfico permite realçar as diferenças, quando existem, entre duas distribuições (HELSEL & HIRSCH, 1992). Quanto mais os quantis se afastam da linha a 45°, tanto mais distintas são as distribuições.

Consideraram-se duas populações: uma composta pelas amostras de água localizadas em formações ígneas - **Unidade Ígnea** (U.I.) - e outra composta pelas amostras localizadas em formações xistentas, quartzíticas e em metavulcanitos - **Unidade Metamórfica** (U.M.). As amostras localizadas em zonas de contacto entre formações ígneas e metamórficas foram excluídas desta análise, sendo consideradas posteriormente, o mesmo acontecendo com a amostra de água do rio.

Os resultados apresentam-se na figura 2 e permitem verificar que as diferenças entre as duas distribuições são significativas. Os valores da condutividade tendem a ser sistematicamente mais elevados na U.M..

Em função do exposto pode-se afirmar que no geral, as amostras de cada uma das unidades devem ter características químicas diferentes, pelo que se procedeu à análise estatística dos diversos parâmetros físico-químicos considerando separadamente as duas populações.

Comparando a distribuição dos valores de condutividade da U.I. com os da U.M. (fig.3) verifica-se que são distribuições assimétricas positivas, apresentando a U.M. valores centrais e extremos muito mais elevados do que a U.I. No Quadro 1, em que se apresentam as principais estatísticas pode-se confirmar que as duas populações têm condutividades muito diferentes.

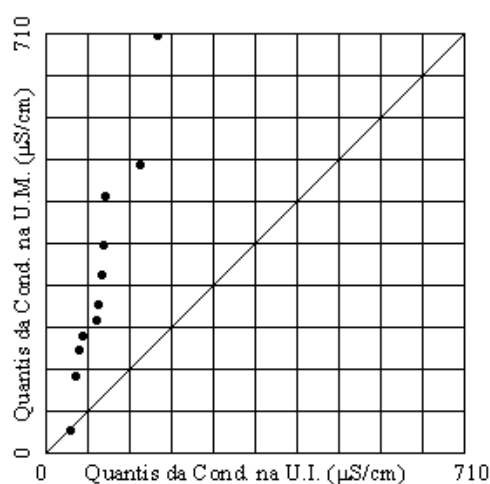


Fig. 2 - Diagrama quantil-quantil das distribuições dos valores da condutividade das amostras de água da unidade ígnea (U.I.) e da unidade metamórfica (U.M.).

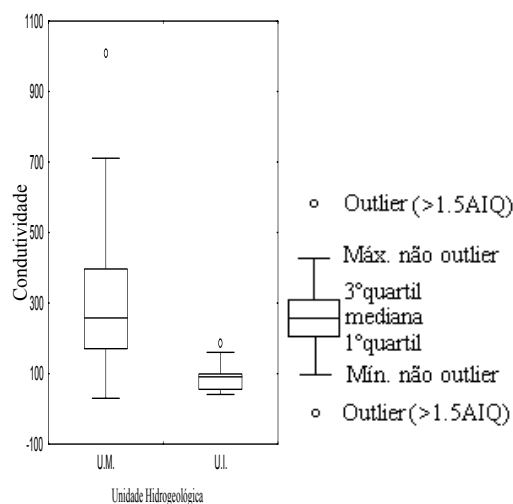


Fig.3 - Diagramas de caixa dos valores da condutividade (em $\mu\text{S/cm}$) nas amostras de água da unidade metamórfica (U.M.) e da unidade ígnea (U.I.)

Quadro 1- Principais estatísticas da condutividade, expressa em $\mu\text{S/cm}$.

| C($\mu\text{S/cm}$) | Média | Mediana | Mín | Máx | Q ₁ * | Q ₃ * | Variância | D.Padrão | C _v * |
|-----------------------|-------|---------|-----|------|------------------|------------------|-----------|----------|------------------|
| U. Meta. | 306 | 253 | 30 | 1010 | 170 | 395 | 42086 | 205 | 67 |
| U. Ígnea | 93 | 88 | 41 | 188 | 55 | 100 | 2067 | 46 | 94 |

* Q₁ - primeiro quartil

Q₃ - terceiro quartil

C_v - coeficiente de variação, em %

Quanto ao pH a distribuição estatística dos valores determinados em laboratório (fig. 4), apresenta muito maior dispersão na U.M.. Na U.I. o pH oscila entre 5,6 e 6,3, o que corresponde a um meio ácido associado às águas de rochas granitóides. No caso da U.M. a mediana indica pH neutro, contudo aparecem algumas amostras com pH ácido (mínimo = 5,4), assim como básico (máximo = 9,3).

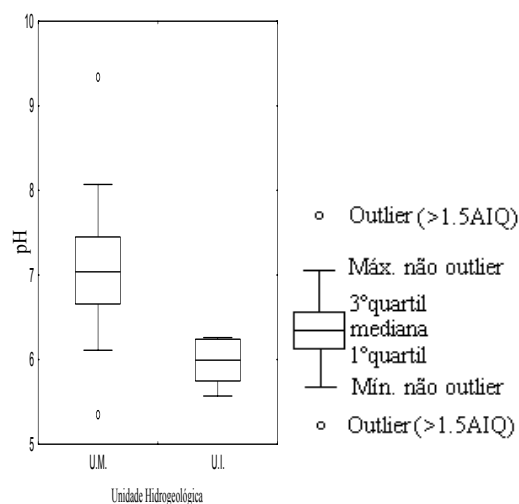


Fig.4 - Diagramas de caixa dos valores de pH nas amostras de água da unidade metamórfica (U.M.) e da unidade ígnea (U.I.)

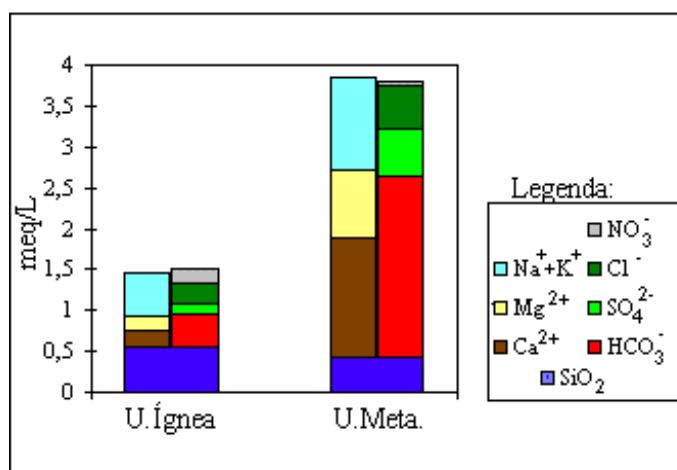


Fig. 5 - Composição média das águas subterrâneas associadas a rochas ígneas e a rochas metamórficas da região de Mirandela-Valpaços. A sílica está expressa em mmol/L e os iões em meq/L.

Com base nos valores médios obtidos para alguns parâmetros, construiu-se o gráfico de barras apresentado na figura 5. Representa-se a composição média das águas subterrâneas associadas a rochas ígneas e a rochas metamórficas, na região estudada.

As principais diferenças entre as águas subterrâneas associadas a rochas da U.I e a rochas da U.M., são:

- Menor mineralização global na U.I.
- Maior quantidade de sílica dissolvida na U.I.
- Predomínio do Na⁺, sobre o Ca²⁺ na U.I., ao contrário do que acontece na U.M.
- O HCO₃⁻ predomina sobre todos os outros iões na U.M.
- A quantidade de NO₃⁻ é mais significativa na U.I.

CARACTERIZAÇÃO BACTERIOLÓGICA

No estudo bacteriológico das 45 amostras efectuadas para este trabalho, foram considerados, entre outros, os seguintes parâmetros:

- Número total de coliformes, em 100ml de água analisada
- Número de coliformes fecais, em 100ml de água analisada

É de referir que as colheitas de amostras de água foram efectuadas à saída do furo, ou da nascente, ou quando isso não foi possível, a colheita foi feita na saída da água para o depósito, antes de qualquer tratamento de desinfecção.

Os resultados das análises indicam que das 45 amostras analisadas, foram detectadas bactérias do grupo coliforme em 25. Se o número de bactérias deste grupo for inferior a 10 em 100 ml de água analisada, considera-se que o risco para a saúde pública é moderado (CUSTÓDIO & LLAMAS, 1983). Quando o número de coliformes é superior a 10 em 100 ml, considera-se que o risco é elevado, sendo necessário o tratamento prévio, com hipoclorito. Encontramos nesta situação 10 amostras de água.

A presença de coliformes fecais, mesmo que apenas um, é um factor de risco para a saúde pública e é indicativo de uma contaminação precoce, através da infiltração de águas de fossas, ou da aplicação de estrumes. Nas 45 amostras analisadas, 11 apresentam contaminação por coliformes fecais. Este facto pode ser explicado pelas captações estarem, muitas vezes, localizadas no meio das povoações, em que não existem redes de esgotos e onde se praticam culturas de subsistência, em que a aplicação de estrumes orgânicos é frequente. Tal é a situação nomeadamente de 5 amostras (fig. 6), que apresentam os valores mais elevados em coliformes fecais - nº6 (Soutilha), nº43 (Vilares), nº30 (Regodeiro), nº31 (Caravelas1) e nº14 (Avidagos).

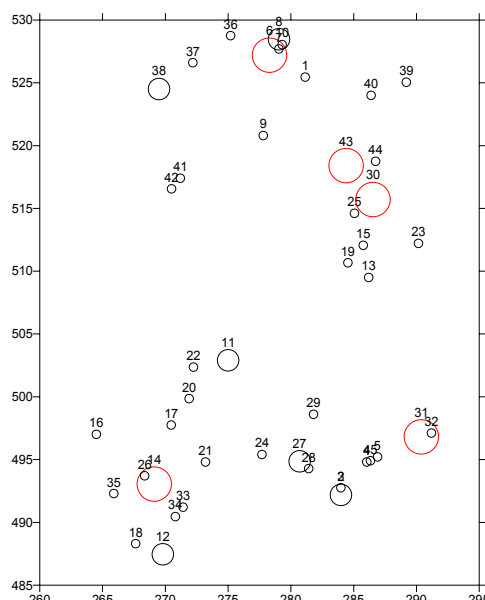


Fig. 6 - Distribuição do nº de coliformes fecais, em 100 ml de água, por classes:

◇ ≥ 0 e < 1 ; ○ ≥ 1 e < 10 ; ○ ≥ 10 e < 170

ANÁLISE DE CORRESPONDÊNCIAS

A análise de componentes principais está particularmente vocacionada para o tratamento de variáveis mensuráveis. Quando se dispõe de observações ordinais, que apenas se podem dividir em categorias, é necessário recorrer à análise dos dados em tabelas de contingência. Este método foi desenvolvido e aplicado por diversos autores, nomeadamente HIRSCHFIELD (1935) e FISHER (1940). BENZECRI (1980) escreveu extensivamente sobre o assunto e a expressão “análise factorial de correspondências” tornou-se mais utilizado para descrever este tipo de análise.

A análise de correspondências (AC) trabalha sobre tabelas de contingências, em que os seus elementos podem ser vistos como probabilidades condicionais (DAVIS, 1986). Dada a natureza da transformação, as relações entre as linhas e as colunas da tabela transformada são as mesmas que dentro da matriz de dados original. Isto significa que as soluções em modo-R e em modo-Q são equivalentes.

Para tratar dados contínuos com o método da análise de correspondências HILL (1974), sugeriu um processo que consiste em dividir em categorias discretas a escala de intervalos de observações e em contar o

número de medições que caem dentro de cada categoria. Desta forma os dados são reduzidos a uma classe ordinal. De facto, cada variável contínua é substituída por um determinado número de variáveis discretas. Isto diminui o conteúdo de informação dos dados originais, mas permite trabalhar simultaneamente com variáveis contínuas e discretas (GUILLAUME, 1977). A matriz resultante consiste num conjunto de zeros e uns, que são convertidos em probabilidades de ocorrência.

A escolha da análise de correspondências como algoritmo privilegiado para o tratamento de tabelas de contingência é justificado por certas propriedades do método (LEBART *et al.*, 1982). A leitura das projecções a duas dimensões é feita através da distância entre os pontos (distância “ponderada”, ou distância do chi-quadrado). Esta distância tem a propriedade fundamental de satisfazer o princípio da equivalência distribucional, tendo sido proposta a sua utilização por Benzecri. Quanto mais afastadas da origem se encontrarem as projecções, mais elas contribuem para explicar o significado do factor que representa o eixo em análise. A projecção simultânea das variáveis e das observações, sobre o plano de eixos factoriais, tomados dois a dois, facilita também a interpretação dos resultados (GUILLAUME, 1977).

Para a interpretação dos dados procedeu-se a uma análise factorial de correspondências, em que para além das variáveis que dizem respeito aos parâmetros químicos, até aqui referidos, também se tiveram em conta variáveis de natureza qualitativa, nomeadamente a posição topográfica dos locais de amostragem, a litologia e a presença de coliformes fecais na água.

Para este tipo de análise foi necessário converter os valores das variáveis de forma a obter uma matriz apenas de zeros e uns. Para tal e para cada variável, foram criadas classes definidas a partir da análise do histograma respectivo e procurando que cada classe tivesse um número semelhante de indivíduos. Desta forma criaram-se várias classes (Quadro 2).

Quadro 2- Divisão das variáveis em classes

| | |
|--|---|
| Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$): | $C_1 : C < 180$; $C_2 : 180 \leq C < 300$; $C_3 : C \geq 300$ |
| pH: | $\text{pH}_1 : \text{pH} < 6.5$; $\text{pH}_2 : 6.5 \leq \text{pH} < 7.5$; $\text{pH}_3 : \text{pH} \geq 7.5$ |
| Ca^{2+} (mg/L): | $\text{Ca}_1 : \text{Ca}^{2+} < 8$; $\text{Ca}_2 : 8 \leq \text{Ca}^{2+} < 40$; $\text{Ca}_3 : \text{Ca}^{2+} \geq 40$ |
| Mg^{2+} (mg/L): | $\text{Mg}_1 : \text{Mg}^{2+} < 3$; $\text{Mg}_2 : 3 \leq \text{Mg}^{2+} < 12$; $\text{Mg}_3 : \text{Mg}^{2+} \geq 12$ |
| Na^+ (mg/L): | $\text{Na}_1 : \text{Na}^+ < 24$; $\text{Na}_2 : \text{Na}^+ \geq 24$ |
| K^+ (mg/L): | $\text{K}_1 : \text{K}^+ < 3$; $\text{K}_2 : \text{K}^+ \geq 3$ |
| HCO_3^- (mg/L): | $\text{Bic}_1 : \text{HCO}_3^- < 50$; $\text{Bic}_2 : 50 \leq \text{HCO}_3^- < 180$; $\text{Bic}_3 : \text{HCO}_3^- \geq 180$ |
| SO_4^{2-} (mg/L): | $\text{Sf}_1 : \text{SO}_4^{2-} < 32$; $\text{Sf}_2 : \text{SO}_4^{2-} \geq 32$ |
| Cl^- (mg/L): | $\text{Cl}_1 : \text{Cl}^- < 13$; $\text{Cl}_2 : \text{Cl}^- \geq 13$ |
| NO_3^- (mg/L): | $\text{Nit}_1 : \text{NO}_3^- < 6$; $\text{Nit}_2 : \text{NO}_3^- \geq 6$ |
| SiO_2 (mg/L): | $\text{Si}_1 : \text{SiO}_2 < 30$; $\text{Si}_2 : \text{SiO}_2 \geq 30$ |
| Unidade hidrogeológica: | UI: unidade ígnea; UM: unidade metamórfica |
| Litologia: | G: granito; X: xisto; Q: quartzito; X/G: contacto; V: metavulcanito |
| Posição topográfica: | Val : vale; Enc : encosta; OT : outra topografia |
| Coliformes fecais: | SCol: 0 coliformes fecais/100ml; CCol : >0 coliformes fecais/100ml |

Numa primeira análise, em que se consideraram 44 amostras (excluiu-se a amostra de água do rio) e todas as variáveis acima referidas, com as respectivas classes, diferenciaram-se três factores que explicam, no seu conjunto, 51,55% da variância (Quadro 3).

Quadro 3- Relação da variância explicada por cada um dos factores resultantes da análise factorial de correspondências com 44 amostras e com todas as variáveis (38).

| Factor | Valor Próprio | %Variância explicada | %Acumulada |
|--------|---------------|----------------------|------------|
| 1 | 0.43 | 26.92 | 26.92 |
| 2 | 0.25 | 15.49 | 42.41 |
| 3 | 0.15 | 9.14 | 51.55 |

Dos resultados da análise factorial realizada evidencia-se que o peso de algumas variáveis não é significativo para nenhum dos factores. Em particular:

- a **posição topográfica** das captações - vale, encosta - não é discriminatória em nenhum dos 3 factores, o que significa que a topografia não influencia as características hidrogeoquímicas.
 - a separação entre amostras de **diferentes litologias, dentro da Unidade Metamórfica** -q , x, v, x/g - não é evidente.

Na tentativa de reduzir o número de variáveis, considerando apenas as mais influentes, realizou-se nova análise de correspondências considerando as seguintes variáveis: Condutividade, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , unidade hidrogeológica e coliformes. Também se excluíram as amostras com condutividade superior a 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (amostra nº4 e nº30), por se destacarem muito do conjunto. Assim realizou-se uma análise de correspondências com 42 amostras e 24 variáveis.

Os resultados indicam que a discriminação dada por cada factor dá as mesmas indicações da análise de correspondências em que se consideraram todas as amostras e todas as variáveis. Contudo torna-se mais representativa na medida em que, os três primeiros factores explicam 68% da variância, em vez de 51% (Quadro 4).

Quadro 4- Relação da variância explicada por cada um dos factores resultantes da análise factorial de correspondências com todas as amostras com cond.< 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (42) e com as variáveis mais influentes(24).

| Factor | Valor Próprio | %Variância explicada | %Acumulada |
|--------|---------------|----------------------|------------|
| 1 | 0.47 | 33.60 | 33.60 |
| 2 | 0.30 | 21.42 | 55.02 |
| 3 | 0.18 | 13.00 | 68.02 |

A análise da contribuição de cada variável e de cada amostra, nos três factores principais (Fig. 7 e 8) permite extrair as seguintes considerações:

1. - O **Factor 1** permite separar as amostras de água associadas à unidade ígnea das restantes amostras. É portanto um **factor litológico**, que traduz os processos naturais de dissolução de silicatos e de aumento de mineralização da água. Relaciona os teores mais elevados em Ca^{2+} (Ca_3), Na^+ (Na_2), Mg^{2+} (Mg_3), condutividade (C_3) e HCO_3^- (Bi_3) (fig. 7). No lado negativo agrupam-se as variáveis que traduzem menor mineralização (Ca_1 , Bi_1 , Mg_1 e C_1), a que se associam todas as amostras da unidade ígnea (amostras 6, 7, 8, 10, 36, 37, 38, 39, 40, 41 e 42).

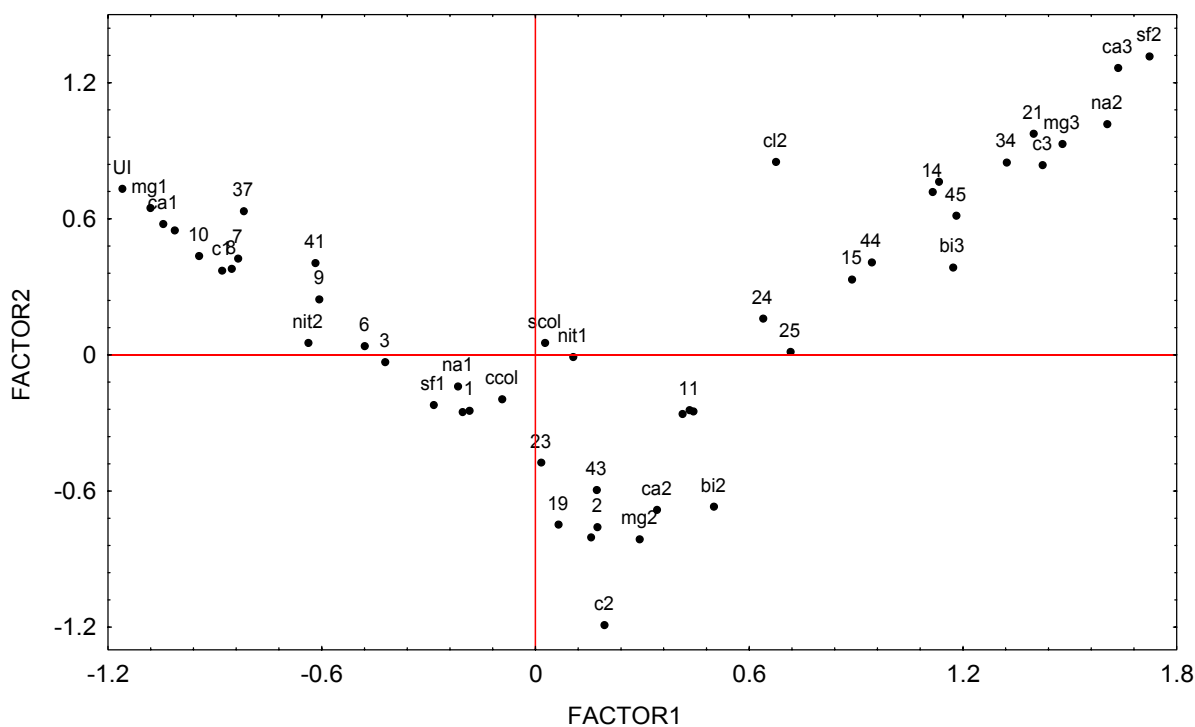


Fig. 7- Contribuição das Variáveis (legenda no Quadro 2) e das Amostras (1 a 45), para a relação Factor1/Factor2.

2. - O **Factor 2** associa os valores mais elevados de SO_4^{2-} (Sf_2) e Cl^- (Cl_2), com elevadas concentrações de outros iões - Ca_3 , Na_2 , Mg_3 , e C_3 . Parece tratar-se de um factor que traduz **fenómenos de contaminação**, pela elevada contribuição do SO_4^{2-} e do Cl^- , a que se associa um aumento global da mineralização. Práticas de **regadio nas hortas**, próximas das captações, podem explicar o aumento do teor em Cl^- e da mineralização em geral, através da concentração de sais provocada pela rega.

3. - O **Factor 3** relaciona os valores mais elevados de NO_3^- (Nit_2) e de Cl^- (Cl_2), com a presença de coliformes fecais (ccol). É um factor claramente associado a fenómenos de **contaminação urbana, de natureza bacteriológica**. As amostras com score mais positivo (43, 6 e 14), correspondem a águas que sofreram contaminação acentuada.

A presença de nitratos pode explicar-se por processos de fermentação orgânica de dejectos animais. Quanto aos coliformes e aos cloretos estão certamente associados à degradação da matéria orgânica.

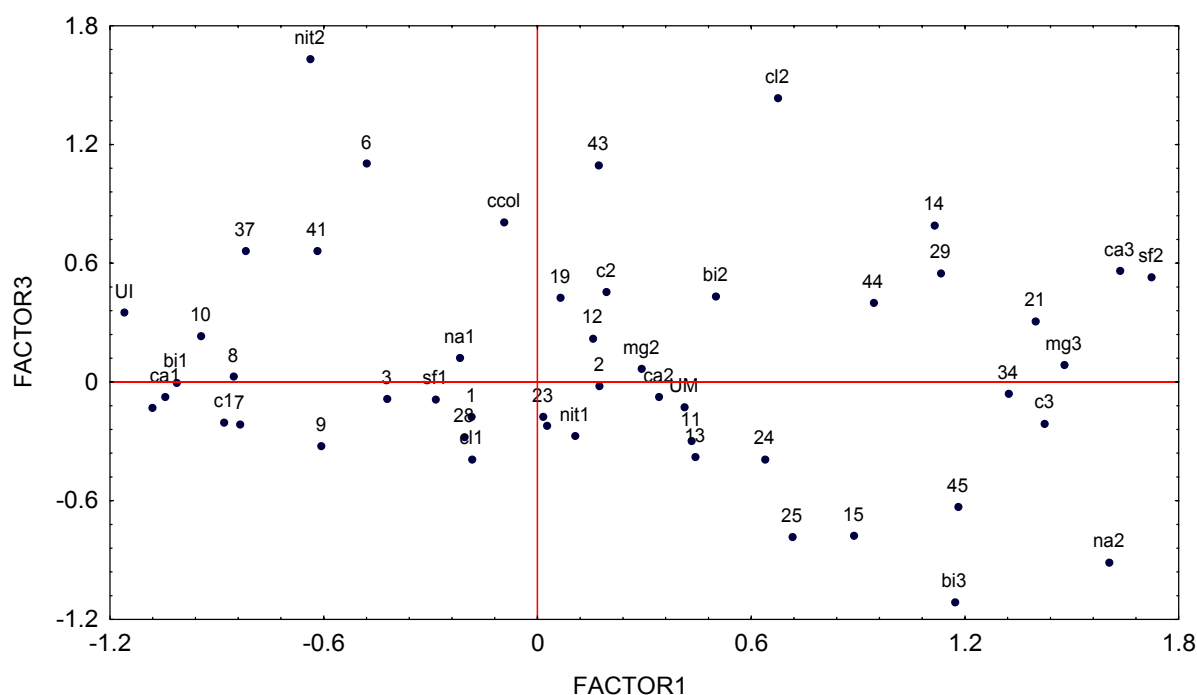


Fig. 8- Contribuição das Variáveis (legenda no Quadro 2) e das Amostras (1 a 45), para a relação Factor1/Factor3.

CONCLUSÕES

A Análise Factorial de Correspondências aplicada a dados químicos e bacteriológicos, relativos a águas subterrâneas colhidas em Trás-os-Montes (Portugal), bem como a outros parâmetros caracterizadores de factores que pudessem influenciar a qualidade das mesmas, permitiu alcançar as seguintes conclusões. Os factores que maior peso exercem nas características químicas relacionam-se com processos de interacção água-rocha, permitindo distinguir claramente as águas provenientes da Unidade Ígnea das da Unidade Metamórfica. No entanto, não permitem discriminar as diferentes litologias ocorrentes dentro desta última. Verifica-se que o local de implantação das captações (vale ou encosta) não exerce uma influência significativa na qualidade da água. Quanto aos factores secundários, relacionados com processos de origem antropogénica, distingue-se um que parece relacionar-se com actividades agrícolas, responsável pelo aumento sobretudo de sulfato e cloreto, provavelmente devido à concentração de sais ao nível do solo, resultante da rega, e, outro, relacionado com contaminação por efluentes urbanos, responsável pelo aumento de nitrato, cloreto e coliformes fecais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BENZECRI, J.-P. (1980) - L'Analyse des données. vol.2: L'Analyse des correspondances. Dunod, Paris, 628 pp.
- CUSTÓDIO, E.; LLAMAS, M. R. (1983) - Hidrologia Subterrânea. Ediciones Omega, S. A., Barcelona, Tomo I e II, 2350 pp.
- DAVIS, J. C. (1986) - Statistics and Data Analysis in Geology. J. Willey & S. (2ªed), Singapur, 646pp.
- FISHER, R. A. (1940) - The Precision of Discriminant Functions: *Annals of Eugenics*, 10, 422-429.
- GUILLAUME, A. (1977) - Introduction à la Geologie Quantitative. Masson, Paris, 187pp.
- HELSEL, D.R. & HIRSCH, R.M. (1992) - Statistical Methods in Water Resources, Elsevier, 520 pp.
- HILL, M. O. (1974) - Correspondence Analysis: A Neglected Multivariate Method. *Jour. Royal Stat. Soc., Ser. C, Appl. Stat.*, 23 (3), 340-354.
- HIRSHFIELD, H. O. (1935) - A Connection Between Correlation and Contingency. *Proc. Of the Cambridge Philosophical Soc.*, 31, 520-524.
- LEBART, L., MORINEAU, A., FÈNELON, J.-P. (1982) - Traitement des Données Statistiques, Dunod, Paris (2ª ed.), 510 pp.