

Estudo hidroquímico do aquífero superficial de Castelo Novo, Serra da Gardunha (Portugal)

Hydrochemical research in the superficial aquifer of Castelo Novo, Gardunha mountain (Portugal)

MENDES, E.^{1,2}, CARVALHO, P. E. M.^{1,3}, and FERREIRA GOMES, L. M.^{1,2}

(1) Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura da Universidade da Beira Interior; emendes@ubi.pt

(2) Unidade de Investigação CVRM-Centro de GeoSistemas do Instituto Superior Técnico

(3) Unidade de Investigação Geobiociências, Geotecnologias e Geo-Engenharias (GEOBIOTEC) da Universidade de Aveiro

Recibido: 7/01/2010

Revisado: 20/05/2010

Aceptado: 20/11/2010

Abstract

The groundwater quality is actually a very scarce resource. The present study describes the hydrochemical evolution of groundwater in a superficial aquifer in Castelo Novo (Gardunha mountain). For this study, there were considered 50 water samples and analyzed the values of major and minor ions. The methodology used consisted in the use of Piper and Schoeller diagrams that allowed to identifying the water chemistry and in the application of statistical techniques of multivariate analysis, including factor analysis. This allowed to characterizing the inter-correlation between the major ions and establishing its distribution structure in the aquifer. The results guided to sodium-bicarbonate water type, with very low mineralization, designated by fresh water in relation to total solids and soft in relation to hardness. When using the factor analysis, 4 factors were considered, which explain and identify the origin of the presence of ions and their geochemical processes. The existing natural dissolution of granitic

rocks is the feature that most influences the study of the hydrogeochemical character in this region.

Keywords: Groundwater quality, hydrochemical evolution, Gardunha mountain

INTRODUÇÃO

O conhecimento detalhado da composição química típica de uma água à saída da captação é fundamental para o estudo e compreensão do seu quimismo e imprescindível para a despistagem de indícios de poluição ambiental e de fenómenos de degenerescência e evolução químicas, Machado (1999).

Assim e ainda com o objectivo de contribuir para o conhecimento hidrogeológico da Serra da Gardunha apresentam-se os resultados de trabalhos efectuados em 12 captações do tipo furo vertical, 3 captações do tipo furo semi-horizontal e 10 captações do tipo nascentes localizadas no aquífero superficial de Castelo Novo (Fundão).

A área em estudo estende-se entre os paralelos 40°03'N e 40°06'N e os meridianos 7°32'W e 7°29'W.

ENQUADRAMENTOS DA ÁREA EM ESTUDO

A Serra da Gardunha corresponde a uma unidade estrutural perfeitamente individualizada, do Maciço Ibérico, e encon-

tra-se limitada por diversas depressões nas quais se destaca a SE a bacia hidrográfica de cabeceira da Ribeira de Alpreade, onde se localiza a Vila de Castelo Novo.

Esta serra é caracterizada fisicamente por um relevo acentuado, apresenta a Oeste formações antigas compostas por xistos metamórficos e a Este terrenos ígneos granitóides, culminando à cota 1227m.

As captações em estudo localizam-se todas em formações graníticas Hercínicas (Fig. 1) de texturas variadas e um quimismo de tendência calco-alcalina. Localmente formam duas séries graníticas distintas, embora, do ponto de vista genético-tectónico e químico-mineralógico pareçam entroncar num ramo único, dentro do orógeno hercínico: (1) granitos com megacristais de biotite-oligoclase; (2) granitos postectónicos em maciços circunscritos, geralmente biotíticos e frequentemente com megacristais. Quanto aos constituintes mineralógicos essenciais possuem quartzo, oligoclase, microclina, microclina-perthite, albite-oligoclase e biotite. Como elementos acessórios contam-se moscovite, apatite, zircão, turmalina, magnetite, ilmenite, pirite, fluorite (Ribeiro et al. 1979).

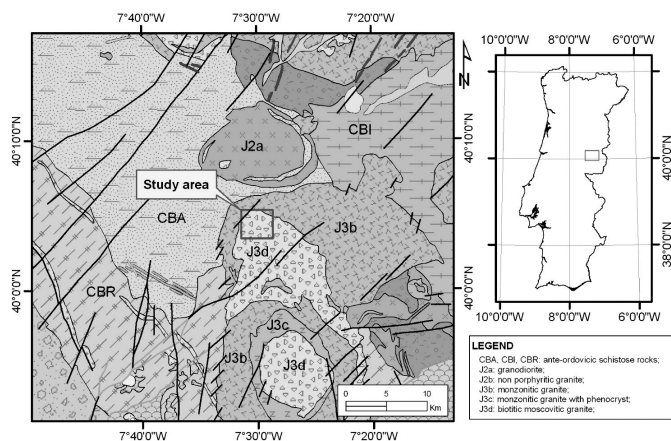


Fig. 1. Localização da área em estudo.

As rochas graníticas e os terrenos envolventes encontram-se afectados por acções tectónicas hercínicas e tardi-hercínicas que originaram metamorfismo, dobramento e fracturação. Esta última é registada pela presença de falhas largamente espalhadas em toda a área, de rumos gerais NNE-SSW e NE-SW, onde se encontram por vezes instalados filões pegmatíticos, aplito-pegmatíticos e hidrotermais de quartzo (Ribeiro *et al.* 1979).

Dos elementos climáticos disponíveis para a caracterização da zona em estudo, usaram-se os elementos de precipitação registados na estação meteorológica de Castelo Novo 13M/03G (INAG, 2009), correspondendo a uma série de valores de 72 anos (1931/1932 a 2007/2008). Para o cálculo do balanço hidrológico sequencial mensal, utilizou-se a metodologia proposta por Thornthwaite e Mather (1957 in Lencastre e Franco 1984) e dos resultados, verifica-se a ocorrência de um período seco e um período húmido, sendo o primeiro traduzido pelos défices hídricos de 297,9 mm/ano, que vai de Junho a Setembro, atingindo o valor máximo de 138,2 mm em Agosto, e o segundo, o período húmido, traduzido pelo superavit hídrico de 885,6 mm/ano, que vai de Outubro a Maio, verificando-se o excesso máximo de água de 209,2 mm em Março. Salienta-se ainda que do balanço hidrológico realizado, considerando o valor de 100 mm para a capacidade máxima de água no solo utilizável pelas plantas, obtiveram-se valores de 831,5 mm/ano para a evapotranspiração potencial e 555,6 mm/ano para a evapotranspiração real.

Sobre as características hidráulicas do aquífero, foram realizados 10 ensaios de caudal nas captações e após a sua interpre-

tação aplicando-lhes os métodos de Theis, Cooper-Jacob e recuperação de Theis, num todo, admite-se corresponder a um aquífero do tipo freático fissural, com condutividade hidráulica que variam entre 3,0 m/d e 0,01 m/d e valores de transmissividade que oscilam entre 55,0 m²/d e 0,3 m²/d.

O fluxo subterrâneo não é muito profundo, como o atesta em especial a baixa mineralização da água, considerando-se assim que se está na presença de um aquífero de águas normais e superficiais, contendo principalmente águas de infiltração e circulação local, com tempos de residência curtos.

As velocidades de escoamento são genericamente médias a elevadas, dado o tipo de permeabilidade por fissuras; a manutenção dos caudais mesmo durante a época seca, deve-se muito provavelmente à capacidade de regularização das zonas de alteração que cobrem algumas áreas de recarga. Nos períodos secos, sobretudo, a permeabilidade por porosidade das zonas de alteração desempenha um papel muito importante, embora seja a circulação através das fracturas que condicionam todo o funcionamento hidráulico.

CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA

Com objectivo de caracterizar a água do aquífero superficial de Castelo Novo realizaram-se um total de 50 análises físico-químicas de elementos maiores e menores de água recolhida durante o período de Abril a Dezembro de 2008, nos 25 pontos de água monitorizados.

Na Tabela 1 apresenta-se, a síntese estatística dos resultados das análises físico-químicas realizadas.

Parâmetro	Unidades	Mínimo	q1	Média	Mediana	q3	Máximo	Desv. Padrão	Variância
pH	(-)	5.34	5.66	5.76	5.77	5.87	6.19	0.17	0.03
Cond.	$\mu\text{S/cm}$	20	22	24	23	26	30	3	10
Dureza	mg/l CaCO_3	2.0	2.5	3.4	3.0	4.1	5.2	0.1	0.0
Si	mg/l	9.5	12.7	13.9	13.5	14.7	18.4	2.0	4.0
Resid. Seco	mg/l	21.5	26.0	28.0	27.0	29.5	36.0	3.8	14.5
Mineralização	mg/l	24.2	28.9	31.6	30.5	33.9	41.3	4.8	22.8
Cl ⁻	mg/l	1.9	2.0	2.3	2.3	2.5	2.6	0.2	0.0
HCO ₃ ⁻	mg/l	4.2	5.5	7.2	7.0	8.5	11.8	2.0	4.2
SO ₄ ²⁻	mg/l	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.1	0.0
NO ₃ ⁻	mg/l	1.68	1.95	2.10	2.10	2.30	3.69	0.44	0.20
Na ⁺	mg/l	2.6	3.4	3.7	3.6	3.9	4.7	0.5	0.3
K ⁺	mg/l	0.29	0.33	0.39	0.41	0.43	0.51	0.06	0.00
Mg ²⁺	mg/l	0.14	0.21	0.30	0.27	0.39	0.65	0.12	0.01
Ca ²⁺	mg/l	0.51	0.64	0.81	0.75	0.88	1.44	0.23	0.05
Cr	mg/l	0.09	0.10	0.20	0.20	0.24	0.50	0.13	0.02
Cu	mg/l	0.2	0.2	0.5	0.3	0.5	2.2	0.4	0.2
Rb	mg/l	1.4	1.6	1.8	1.9	2.0	2.4	0.3	0.1
Sr	mg/l	2.4	2.7	3.2	3.0	3.3	4.9	0.7	0.5
Pb	mg/l	0.01	0.05	0.09	0.06	0.10	0.20	0.08	0.01

Tabela. 1. Estatísticos básicos principais das análises físico-químicas.

Os elementos analisados, quer maiores e menores, encontram-se quase na totalidade dentro dos parâmetros admissíveis em termos de água para consumo humano de acordo com o Decreto-Lei nº 306/2007 de 27 de Agosto (Tabela 2). As situações que merecem alguma referência, se assim se puder considerar, são o pH e a dureza.

Em relação ao pH os valores encontrados nas águas estudadas variam entre 5.34 e 6.19, estando deste modo fora do intervalo paramétrico definido no preceituado Decreto-Lei. Segundo a classificação de Mendes e Oliveira (2004) os valores encontrados reflectem a presença de uma água siliciosa, a qual é corroborada natureza litológica da área em estudo por onde circula a água. Ainda segundo os mesmos autores, Mendes e Oliveira (2004), os efeitos destes valores de pH na água de consumo humano, não têm

efeitos directos sobre a saúde do consumidor. A única ressalva será para valores de pH mais baixos que 5, águas ligeiramente ácidas, podendo originar processos por vezes graves de corrosão de tubagens metálicas, que eventualmente se traduzem depois na existência de teores elevados de chumbo, cádmio ou outros metais pesados, presentes por essa causa nas águas de consumo.

Sobre a dureza os valores obtidos nas águas estudadas variam entre 2 e 5.2 mg/l de CaCO₃, encontrando-se assim, estas concentrações, muito abaixo do intervalo estipulado no preceituado Decreto-Lei. No entanto, entende-se que a presente situação é irrelevante dado que os teores de dureza variam, significativamente, com a natureza geológica dos terrenos atravessados, ou com os quais a água esteve em contacto. Uma água dura aparece, geralmente, em zonas onde os solos

sejam calcários ou dolomíticos. Uma água doce ou macia pode aparecer em regiões nas quais predominam solos graníticos. Ainda sobre este assunto, Mendes e Oliveira (2004) classificam as águas com teores de dureza

inferiores a 150 mg/l de CaCO₃ como águas de boa qualidade, não tendo qualquer tipo de consequências negativas para a saúde humana.

Parâmetro	Unidades	Valor paramétrico	Observações
pH	-	entre 6,5 e 9	Nota 1 e 5
Condutividade	mS/cm a 20°	2500	Nota 1
Dureza	mg/l CaCO ₃	entre 150 e 500	Nota 1 e 2
Na	mg/l	200	-
Ca	mg/l	100	Nota 1 e 2
Mg	mg/l	50	Nota 1 e 2
Cl ⁻	mg/l	250	Nota 1
SO ₄ ²⁻	mg/l	250	Nota 1
Cr	mg/l	50	Nota 3
Cu	mg/l	2	Nota 3
Pb	mg/l	25	Nota 3 e 4

Tabela. 2. Valores paramétricos de uma água para consumo humano, de acordo com o Decreto-Lei N° 306/2007 de 27 de Agosto, em vigor em Portugal.

Notas: 1 — A água não deve ser factor de deterioração dos materiais com os quais está em contacto, ou seja, deve ser desejavelmente equilibrada. Para verificar esta propriedade, podem ser utilizados diversos métodos, nomeadamente o índice de Langelier (IL), que, desejavelmente, deve estar compreendido entre $-0,5 < IL < +0,5$. 2 — Quando um sistema de abastecimento é gerido apenas por uma entidade gestora, estes parâmetros devem ser também determinados a montante da distribuição, no âmbito do programa de controlo operacional. 3 — No caso das entidades gestoras em baixa, o valor aplica-se a uma amostra de água destinada ao consumo humano obtida na torneira, por um método de amostragem adequado, e recolhida de modo a ser representativa do valor médio semanal ingerido pelos consumidores. Sempre que apropriado, os métodos de amostragem e de controlo serão postos em prática de maneira harmonizada, a elaborar de acordo com o n.º 4 do artigo 7.º da Directiva n.º 98/83/CE, devendo até lá as entidades gestoras seguir as recomendações emanadas pela autoridade competente. Para as entidades gestoras em alta, não há um método de amostragem específico, o que não as isenta da pesquisa destes parâmetros. 4 — Quanto à água a que se referem as alíneas a), b), c), d) e f) do n.º 2 do artigo 10.º, este valor deve ser respeitado, o mais tardar, 15 anos civis após a entrada em vigor da Directiva n.º 98/83/CE. No período compreendido entre 5 e 15 anos após a entrada em vigor da Directiva n.º 98/83/CE, o valor paramétrico para o chumbo é de 25 µg/l Pb. Devem ser tomadas todas as medidas necessárias para reduzir, tanto quanto possível, a concentração do chumbo na água destinada ao consumo humano durante o período necessário ao cumprimento do valor paramétrico. A aplicação destas medidas deve, prioritariamente, privilegiar os pontos em que as concentrações de chumbo na água destinada ao consumo humano são as mais elevadas. As entidades gestoras devem seguir as recomendações emanadas pela autoridade competente no que diz respeito à amostragem. 5 — Para a água sem gás contida em garrafas ou outros recipientes, o valor mínimo do pH pode ser reduzido para 4,5 unidades. Para a água, em garrafas ou outros recipientes, naturalmente rica ou artificialmente enriquecida em dióxido de carbono, o valor mínimo pode ser mais baixo.

Em termos de classificação e de acordo com a composição iônica maioritária, tal como se pode verificar nos diagramas de Piper e de Schoeller modificados representados nas Figuras 2 e 3, respectivamente, as águas dos vários sectores, no geral, classificam-se como bicarbonatadas sódicas, pertencente à família das silicatadas, dada a percentagem de SiO_2 em relação à mineralização total ter muito significado. Este teor de sílica poderá estar associado à hidrólise dos minerais silicatados presentes nas rochas ígneas podendo este processo contribuir igualmente para o aumento do teor de

HCO_3^- e metais alcalinos ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) ou alcalino terrosos ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$).

No respeitante à mineralização total, as águas são hipossalinas, sendo o resíduo seco a 180°C igual ou inferior a 36 mg/l . As águas apresentam reacção levemente ácida, variando o pH entre 5.34 e 6.19, são doces e brandas possuindo uma dureza (CaCO_3) inferior a 10 ppm .

Sob o ponto de vista químico, a sua composição relativa pode ser expressa por ordem decrescente de importância, sob a forma $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$ para os aniões e $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$ para os catiões.

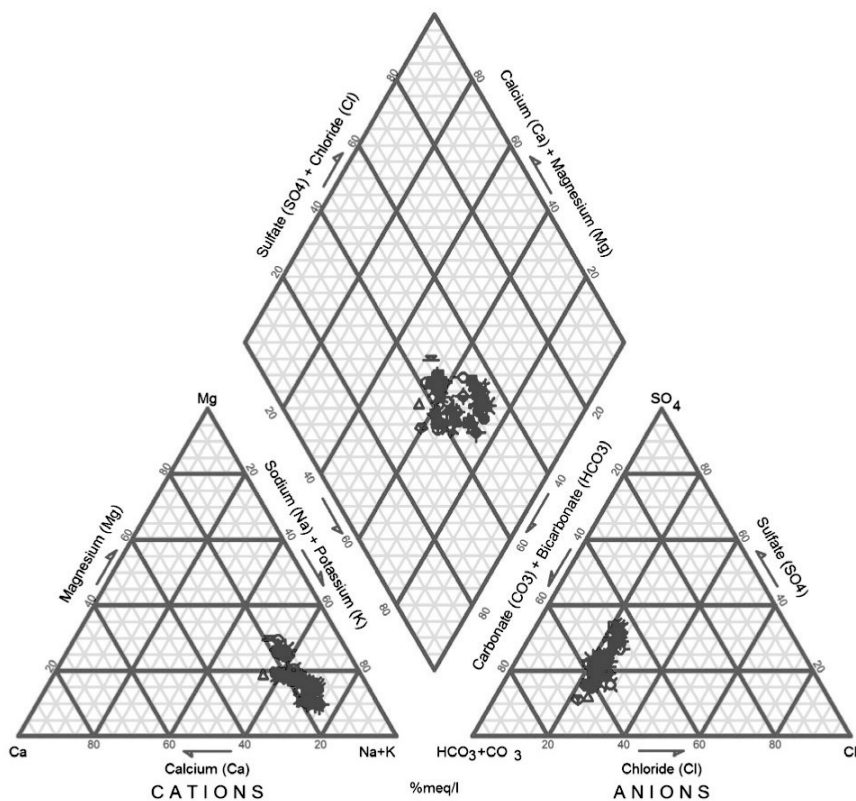


Fig. 2. Diagrama de Piper para as águas subterrâneas em estudo.

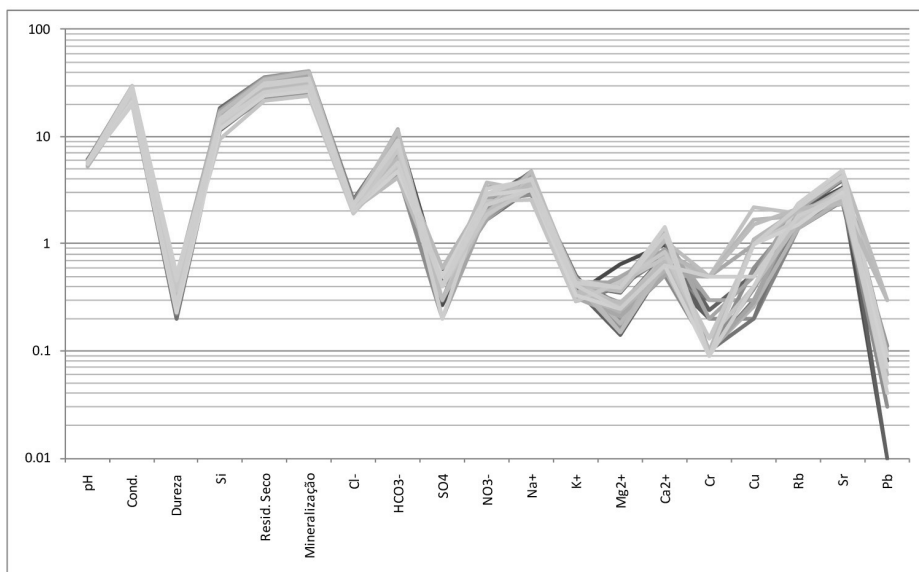


Fig. 3. Diagrama de Schoeller modificado para as águas subterrâneas em estudo.

Da interpretação das análises físico-químicas, efectuadas ao longo do presente estudo, verifica-se que existe uma relativa constância temporal das características químicas dos diferentes elementos, podendo-se assim proceder a uma caracterização hidrogeoquímica e a definição dos teores de base destes aquíferos, em qualquer altura do ano, sem perda de representatividade dos dados.

ANÁLISE MULTIVARIADA

Um dos problemas fundamentais associados a qualquer diagnóstico ambiental, prende-se com o grande volume de dados a tratar. A extensa dimensão das tabelas, tanto pelo número de amostras como de variáveis, inviabiliza qualquer pesquisa “manual” de relações, tornando-se necessário o recurso a técnicas matemáticas de tratamento de dados que sintetizem, com um mínimo de perda, a informação mais relevante. Tais

técnicas, de objectivo descrito, pertencem à família dos Métodos Factoriais de Análise de Dados, onde a Análise em Componentes Principais está incluída.

O objectivo da análise factorial é estudar quimismo do aquífero e explicar a variância dos dados através de um pequeno número de factores (Ruiz *et al.* 1990). A aplicação dos métodos de análise factorial a estudos hidrogeoquímicos de aquíferos apresenta sucesso inegável (Lawrence and Upchurch 1976; Usunoff and Guzman 1989; Jayakumar and Siraz 1997; Chan-ho Jeong 2001; Yammani *et al.* 2008).

Com o objectivo de esclarecer as relações entre as variáveis nas amostras de água subterrânea, caracterizou-se cada uma das matrizes geradas a partir do binómio amostras versus variáveis (50 x 14, sendo 50 o número de amostras e 14 o número de variáveis).

As tabelas 2 e 3 apresentam, respectivamente as coordenadas das variáveis nos eixos factoriais, o valor próprio e a percentagem

da variância explicada para cada um dos eixos factoriais resultantes da Análise em Componentes Principais das 50 amostras de água subterrânea.

De uma primeira análise verifica-se que os 4 primeiros factores explicam 82.84% da

variância total. A utilização deste método permitiu assim a redução da “dimensionalidade” do problema (14 variáveis originais) para apenas 4 variáveis “latentes”.

Variável	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
SiO ₂	0.90	-0.04	-0.11	-0.28
Cl ⁻	0.55	0.47	-0.42	0.08
HCO ₃ ⁻	0.93	-0.15	0.23	-0.12
SO ₄ ²⁻	-0.62	-0.01	-0.33	-0.05
NO ₃ ⁻	0.04	0.30	-0.34	0.85
Na ⁺	0.89	-0.01	-0.26	-0.13
K ⁺	0.45	0.13	-0.73	-0.23
Mg ²⁺	0.50	-0.15	0.79	0.16
Ca ²⁺	0.92	-0.01	0.13	0.21
Cr	0.03	-0.77	-0.12	-0.21
Cu	-0.02	-0.83	-0.27	0.31
Rb	0.87	-0.06	-0.25	-0.03
Sr	0.86	-0.06	0.20	0.34
Pb	-0.04	-0.88	-0.24	0.17

Tabela. 3. Coordenadas das variáveis nos eixos factoriais.

Factor	Valor Próprio	Variância %	Variância acumulada%
1	5.97	42.61	42.61
2	2.43	17.33	59.94
3	1.96	14.00	73.94
4	1.25	8.90	82.84

Tabela. 4. Resultados da ACP

Nas figuras 4a) e 4b) apresentam-se a projecção das diferentes variáveis no primeiro e segundo planos factoriais, definidos respectivamente pelos factores 1 e 2 e pelos factores 1 e 3. Esta visualização das projecções das variáveis no plano permite distinguir as proximidades e oposições existentes entre elas. O primeiro plano factorial constituído pelos factores 1 e 2, contém 59.94% da informação contida na matriz de correlação.

Factor 1 explica 42,61% da variância total e inclui as variáveis SiO₂, HCO₃⁻, Na⁺, Ca²⁺, Rb, Sr, Cl⁻, SO₄²⁻ e Mg²⁺.

A associação (SiO₂, HCO₃⁻, Na⁺, Ca²⁺, Rb, Sr) está fortemente correlacionada com o factor 1. Esta associação caracteriza a composição química da água, cuja origem deverá ser encontrada na geologia da região, nomeadamente na interacção água/rocha.

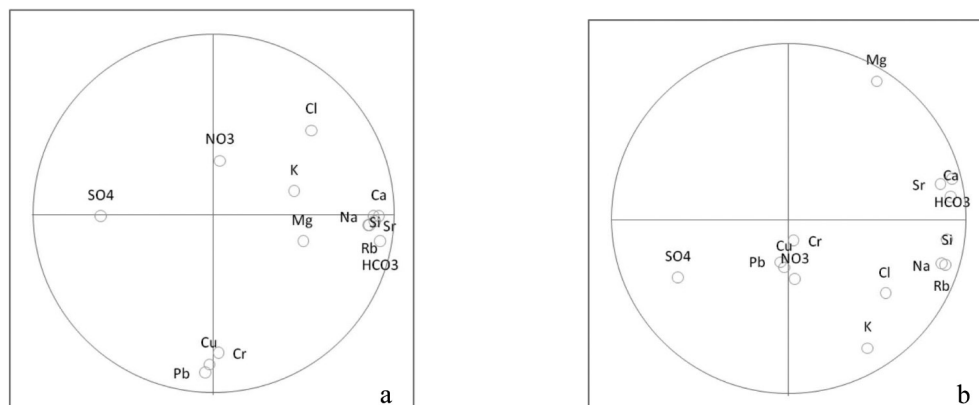


Fig. 4 a) Projecção das variáveis no 1º plano factorial; b) Projecção das variáveis no 2º plano factorial

Esta associação materializa o processo de dissolução da rocha. Os minerais silicatados presentes no granito são a principal fonte da sílica na água subterrânea.

A alteração do granito é a principal fonte da presença do ião HCO_3^- . A infiltração das águas superficiais contendo CO_2 ataca agressivamente os minerais aluminossilicatados, tais como as micas e os feldspatos presentes, libertando cátions como o Ca^{2+} e o Mg^{2+} para a água. Como consequências desta dissolução incongruente verifica-se um aumento do pH e da concentração de HCO_3^- na água subterrânea (Freeze and Cherry 1979). A presença do sódio e do cálcio deve-se à dissolução incongruente das plagioclases (Saether and Caritat 1997). Os iões Cl^- e Mg^{2+} apresentam-se moderadamente correlacionados com o factor 1 e o ião SO_4^{2-} encontra-se correlacionado com o factor 1 com peso negativo, reflectindo assim a classificação hidroquímica obtida pelo diagrama de Piper. O factor 1 indica claramente a interacção água/rocha.

Factor 2 explica 17,33% da variância total e inclui as variáveis Cr, Cu e Pb.

A associação (Cr, Cu, Pb) encontra-se fortemente correlacionada com o factor 2. Este factor poderá indicar o processo de lixiviação do solo. Os metais pesados no solo podem estar presentes em minerais primários e secundários, precipitados, adsorvidos, na solução do solo ou em microrganismos, plantas e animais.

Factor 3 explica 14,00% da variância total e inclui as variáveis K^+ e Mg^{2+} .

O factor 3 explica o ião K^+ em oposição ao ião Mg^{2+} . A presença do K^+ poderá dever-se à dissolução das moscovites e da ortoclase presentes no granito. A grande resistência do K^+ à alteração e a sua fixação nos minerais de argila formados pelos processos de alteração (Goldich 1938), poderão explicar este factor.

Factor 4 explica 8,90% da variância total e inclui a variável NO_3^- .

O ião NO_3^- está fortemente correlacionado com o factor 4. Este factor poderá caracterizar a ausência da componente poluitiva da água por parte deste elemento. Saliencia-se que a concentração deste elemento químico encontra-se muito abaixo do valor paramétrico referido da Tabela 2.

CONCLUSÃO

Sobre a qualidade da água no maciço granítico da Serra da Gardunha, nomeadamente no sector de Castelo Novo, enfatiza-se em especial que pelas análises físico-químicas efectuadas em captações seleccionadas, à partida representativas, que todas as águas são de fácies bicarbonatada sódica, sendo águas de muito baixa mineralização, com valores iguais ou inferiores a 41,3 mg/l.

A natureza litológica da Serra da Gardunha, no seu sector granítico, fornece abundantemente silicatos de alumínio com catiões alcalinos e alcalino terrosos que por hidrólise permite a libertação de Sílica, Cálcio, Sódio e Potássio. Estes são solubilizáveis facilmente em meio ácido moderado, passando para a água circundante. Do ataque químico aos minerais das rochas resultam resíduos insolúveis formados por sílica e por minerais do grupo das argilas.

A análise factorial permitiu estudar a correlação entre as variáveis analisadas e estabelecer a estrutura de distribuição destas. Foram obtidos 4 factores que explicam e identificam a origem da presença dos iões na água subterrânea. O factor 1 reflecte a assinatura da interacção água/rocha. O factor 2 materializa o processo de lixiviação dos metais pesados do solo. O factor 3 representa o processo de dissolução das moscovites e da ortoclase presentes no granito. Ao factor 4 é imputado a ausência do carácter polutivo materializado pela fraca concentração do ião NO_3^- .

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) e à empresa Beira Vicente, Lda. pela concessão da

Bolsa de Doutoramento em Empresa com a referência SFRH/BDE/33328/2008.

O segundo e o quarto autor agradecem à unidade de investigação GEOBIOTEC da Universidade de Aveiro e o primeiro e terceiro autor agradecem à unidade de investigação CVRM-Centro de GeoSistemas do Instituto Superior Técnico pelas facilidades concedidas.

REFERENCIAS

- CHAN-HO, J. (2001). Mineral–water interaction and hydrogeochemistry in the Sank Wang mine area, Korea. *Geochemical Journal* **35**:1–12.
- DL (2007) - Decreto-Lei nº306/2007, “Estabelece o regime da qualidade da água destinada ao consumo humano, revendo o Decreto-Lei n.º 243/2001 de 5 de Setembro, que transpõe para a ordem jurídica interna a Directiva n.º 98/83/CE, do Conselho, de 3 de Novembro”, *Diário da República* nº164/2007, série I, de 27 de Agosto, 19p.
- FREEZE, R. A. and CHERRY, J. A. (1979). Groundwater. Printice-Hall, New Jersey
- GOLDICH, S. S. (1938). A study in rock weathering. *Journal of Geology* **46**:17.
- INAG (2009). Instituto Nacional da Água (National Institut of Water), Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos, <http://www.snirh.inag.pt/> Acessado em 7 Janeiro 2009
- JAYAKUMAR, R. and SIRAZ, L. (1997). Factor analysis in hydrogeochemistry of coastal aquifers—a preliminary study. *Environmental Geology* **31**:174–177.
- LAWRENCE, W. and UPCHURCH, S.B. (1976). Identification of geochemical patterns in groundwater by numerical analysis. In: Saleem ZA (ed) *Advances*

- in groundwater hydrology*. American Water Resources Association, USA pp 199–214.
- LENCASTRE, A. and FRANCO, F. M. (1984). *Lições de hidrologia (Hydrology lessons)*, Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Monte da Caparica, 451p.
- MACHADO, M. J. C. (1999). Preservação da Qualidade das Águas Minerais Naturais e Águas de Nascente. Edições online do INETI: http://le-Geo.ineti.pt/geociencias/lecoes_online/diversos/laguas/capitulo7.html Acedido em 2 de Novembro 2009.
- MENDES, B. and OLIVEIRA, J. F. S. (2004). Qualidade da água para consumo humano. Lidel, 626 pp.
- RIBEIRO, A., ANTUNES, M. T., FERREIRA, M. P., ROCHA, R. B., SOARES, A. F., ZBYSZEWSKI, G., ALMEIDA, F. M., CARVALHO, D., MONTEIRO, J. M. (1979). Introduction à la géologie générale du Portugal (Introduction in the general geology of Portugal). *Serv. Geol. Portugal*, Lisboa, 114 p.
- RUIZ, F., GOMIS, V. and BLASCO, P. (1990). Application of factor analysis to the hydrogeochemical study of a coastal aquifer. *Journal of Hydrology* **119**:169–177.
- SAETHER, O. M. and CARITA, T. P. (1997). *Geochemical processes weathering and groundwater recharge in catchments*. A.A. Balkema, Rotterdam.
- USUNOFF, E. J. and GUZMAN, A. G. (1989). Multivariate analysis in hydrochemistry. An example of use of factor and correspondence analysis. *Groundwater* **27**:27–34.
- YAMMANI, S. R., REDDY, T. V. K and REDDY, M. R. K. (2008). Identification of influencing factors for groundwater quality variation using multivariate analysis, *Environmental Geology* **55**:9–16.