

MARTIM PORTUGAL V. FERREIRA
Coordenação

A Geologia de Engenharia e os Recursos Geológicos

VOL. 1 • GEOLOGIA DE ENGENHARIA



Coimbra • Imprensa da Universidade

INCIDÊNCIAS AMBIENTAIS ASSOCIADAS À INSTALAÇÃO DE CEMITÉRIOS: ABORDAGEM HIDROGEOLÓGICA

A. LIMA¹, J. PAMPLONA¹, S. ANTUNES¹ e J. C. GONÇALVES¹

PALAVRAS-CHAVE: impacto ambiental, cemitério, contaminação, hidrogeologia, água subterrânea.

KEYWORDS: environmental impact, graveyard, contamination, hydrogeology, groundwater.

RESUMO

Neste trabalho apresenta-se uma abordagem hidrogeológica visando a previsão das incidências ambientais decorrentes da eventual instalação de um cemitério na freguesia de Cambeses, concelho de Barcelos. O local pretendido situa-se numa cumeada com drenagem preferencial para leste e assenta num granito porfíroide de grão grosseiro, essencialmente biotítico, o qual apresenta elevado grau de alteração ($W_{4.5}$). Este sector é atravessado por um desligamento dextrógiro com orientação N 70° E. A infiltração é estimada em cerca de 25% da precipitação e o escoamento subterrâneo processa-se, em termos gerais, de Oeste para Este, segundo circuitos corticais. A área em apreço apresenta uma densa rede de pontos de água, cuja composição química principal se enquadra predominantemente na fácies cloretada sódica. Globalmente pouco mineralizadas, algumas águas subterrâneas apresentam teores elevados de nitratos, cloretos, sódio, alumínio e zinco, indiciando contaminação antropogénica. As características hidrogeológicas identificadas mostram que se trata de um ambiente hidrogeológico bastante vulnerável, pelo que se conclui que a área estudada não apresenta características compatíveis com o fim pretendido.

¹ CIG-R, Dept. Ciências da Terra, Univ. do Minho, 4710-057 Braga, aslima@det.uminho.pt

ABSTRACT: Environmental hydrogeological impacts imposed by a graveyard

To evaluate the environmental impact of an intended graveyard, a hydrogeological study was carried out in Cambeses, Barcelos. The area proposed for the setting of this graveyard is located in a mountain ridge with eastward runoff. Geologically, the area comprises a biotite-rich, coarse grained, porphyritic granite with high weathering degree (W_{4-5}) and is crossed by a dextral strike-slip fault with N 70° E strike. Recharge is estimated to be 25% of rainfall and groundwater flow is preferentially eastward, following shallow pathways. The studied area has a high density of groundwater sampling points that mostly belongs to a chloride-sodium facies. Generally, these groundwaters have low mineralization but some samples have high contents of nitrate, chloride, sodium, aluminium and zinc, indicating anthropogenic contamination. Hydrogeological setting of proposed area shows its high vulnerability to contamination and, therefore, it is not favourable to the implantation of a graveyard.

1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos tempos, a selecção de locais para a inumação de cadáveres não levou em consideração aspectos ambientais, designadamente os relacionados com a contaminação das águas subterrâneas. Os cemitérios localizavam-se nas proximidades das igrejas de forma a facilitar os rituais religiosos. Dado que as igrejas (e os cemitérios) se situam, em muitos casos, em locais de cota elevada, a migração dos produtos resultantes da decomposição dos cadáveres é facilitada pela acção das águas de infiltração. Com efeito, a oxidação da matéria orgânica disponibiliza um conjunto de elementos e compostos que podem acabar por atingir a zona saturada das formações geológicas e contaminar as águas subterrâneas, exploradas, normalmente, a cotas inferiores.

Actualmente, a instalação deste tipo de infra-estruturas é geralmente precedida pela avaliação do seu potencial impacto ambiental, nomeadamente a nível das águas subterrâneas.

O presente trabalho é o produto de um estudo efectuado na região de Barcelos, num sector proposto para a instalação de um novo cemitério na freguesia de Cambeses (fig. 1), visando a sua caracterização hidrogeológica e a previsão das incidências ambientais decorrentes da sua eventual instalação.

Para o efeito, adoptou-se a abordagem hidrogeológica que se apresenta no ponto seguinte.

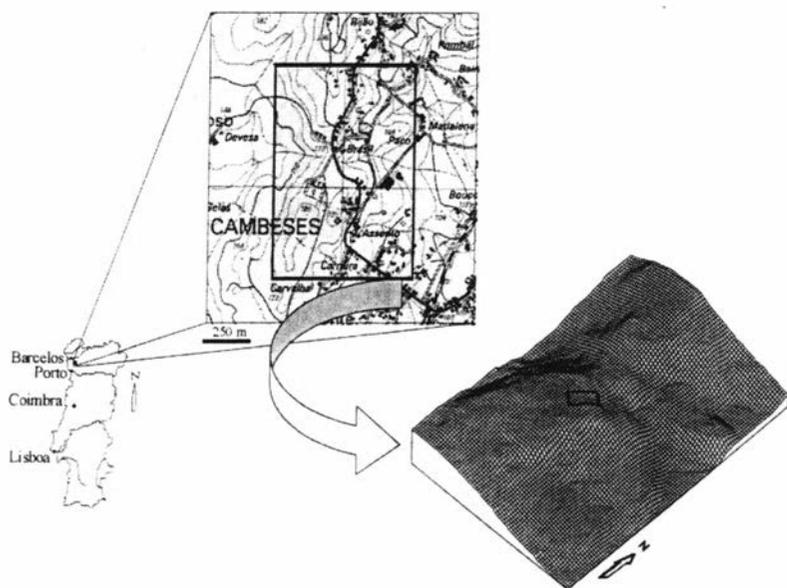


Fig. 1 – Localização do sector em estudo e representação tridimensional da morfologia dos terrenos adjacentes à área prevista para a instalação do novo cemitério de Cambeses (polígono).

2. METODOLOGIA

A abordagem hidrogeológica da área pretendida baseou-se numa metodologia que pode sintetizar-se da seguinte forma: *i*) levantamento geológico à escala 1/5 000 do sector, de modo a aferir da maior ou menor susceptibilidade do meio geológico à contaminação, partindo da avaliação, a uma escala de pormenor, das litologias presentes, assim como da compartimentação do maciço granítico; *ii*) inventário de pontos de água e medição da profundidade da captação, profundidade do nível freático, condutividade eléctrica da água, temperatura, pH e Eh; *iii*) colheita de amostras de água subterrânea em 18 pontos seleccionados e respectivas análises físico-químicas que incluíram elementos maiores, menores e vestigiais. A análise dos diferentes tipos de dados e a sua subsequente integração permitiram prever as incidências a nível hidrogeológico, decorrentes da eventual instalação do cemitério.

95

3. ENQUADRAMENTO

A área prevista para a instalação de um novo cemitério na freguesia de Cambeses corresponde a um quadrilátero com cerca de meio hectare (fig. 1).

Do ponto de vista morfológico, o local pretendido corresponde a uma portela situada numa linha de cumeeada com orientação média N-S. O escoamento superficial processa-se de modo divergente para Oeste e para Este. Atendendo a esta situação geomorfológica específica, admite-se que também o escoamento subterrâneo divirja para um e outro lado da cumeeada. No entanto, como se depreende da análise do relevo (fig. 1), a faixa oriental afigura-se mais favorável à drenagem das águas subterrâneas subjacentes ao local pretendido para instalação do cemitério.

Em termos de declividade (fig. 2), verifica-se que a vertente oriental apresenta valores superiores aos da vertente ocidental.

O declive máximo registado na vertente oriental (36°) é superior à média (22°) referida por LIMA (2001) para a região do Minho. Pelo contrário, o declive máximo da vertente ocidental não atinge aquele valor mediano. Este aspecto é de salientar, uma vez que o escoamento superficial se processa mais rapidamente para Leste.

No que respeita à geologia (fig. 3), a área em apreço caracteriza-se pela presença de granitóides biotíticos com plagioclase cálcica, subdividindo-se em duas litofácies: *i*) um granito porfíróide de grão grosseiro, essencialmente biotítico, sin a tardi-tectónico relativamente a F_3 e *ii*) um granodiorito biotítico tardi a pós-tectónico (PEREIRA, coord., 1989). Foi possível observar localmente contacto por falha entre estas duas litofácies (fig. 3).

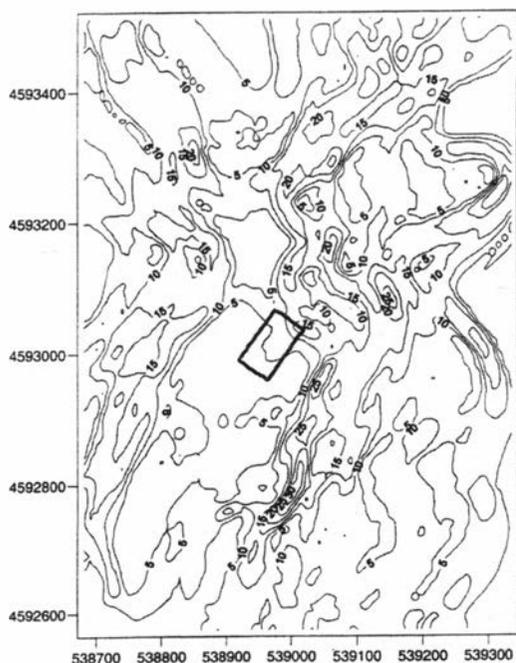


Fig. 2 – Declividade do sector em estudo (valores em graus). O rectângulo interior representa a área prevista para o cemitério. Referenciação quilométrica UTM, fuso 29.

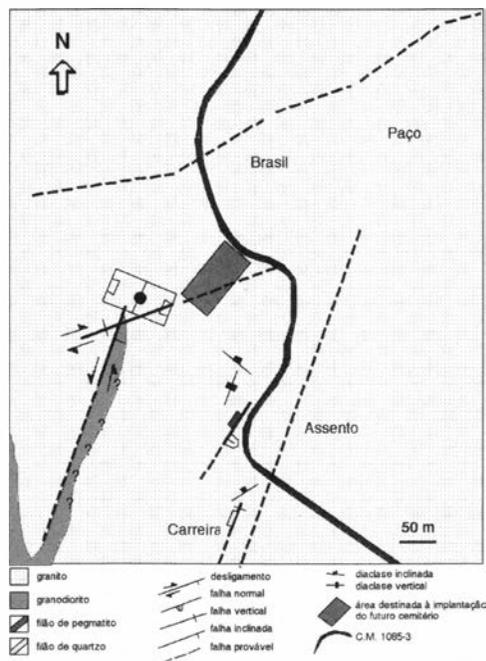


Fig. 3 – Esboço geológico da área estudada.

A fracturação observada obedece à tectónica tardi a pós-Varisca, enquadrando-se as principais fracturas nos azimutes $N20^{\circ}E$ (sinestróginas, pontualmente com ligeira componente normal) e $N70^{\circ}E$ (dextrógiros). Estas orientações estão bem marcadas na configuração do relevo, quer na orientação das linhas de cumeeada, quer na própria organização da rede hidrográfica. De notar que a área destinada à implantação do novo cemitério é provavelmente atravessada por uma daquelas rupturas (fig. 3), o que torna o terreno mais vulnerável à poluição. O substrato granítico encontra-se alterado a muito alterado – $W_{4.5}$ (I.S.R.M., 1981), dando origem a mantos descontínuos que podem ultrapassar uma dezena de metros de espessura vertical.

4. CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

4.1 BALANÇO HÍDRICO

O balanço hídrico médio anual da região pode resumir-se da seguinte forma (LIMA, 2001): precipitação = 1650 mm; evapotranspiração efectiva = 745 mm; escoamento superficial = 492 mm; escoamento subterrâneo = 413 mm.

Com base nestes dados, verifica-se que o coeficiente de infiltração é da ordem de 25% da precipitação, correspondendo 34% ao escoamento superficial. Os restantes 41% são devolvidos à atmosfera por evapotranspiração. Atendendo à morfologia aplanada e ao elevado grau de alteração dos granitos (W_4 - W_5), admite-se que a infiltração possa ser superior ao valor apresentado. Além disso, a permeabilidade deste tipo de terrenos é relativamente elevada, como se depreende dos resultados obtidos noutros locais com características idênticas. Com efeito, na região de Guimarães, obtiveram-se valores de permeabilidade que variam entre 0,1 m/dia e 4,3 m/dia (LIMA *et al.* 2001), enquadráveis nos valores típicos das areias finas bem calibradas (FETTER, 1994) e nos de granitos alterados (DOMENICO e SCHWARTZ, 1990). Os granitos alterados da região apresentam uma baixa percentagem de minerais de argila (BRAGA, 1999).

4.2. ESCOAMENTO SUBTERRÂNEO

Na área estudada foram inventariados 50 pontos de água (fig. 4). A tipologia destes pontos tem a seguinte distribuição: 26 poços de grande diâmetro, 15 furos, 4 galerias (minas), 4 poços de limpeza de galerias e 1 reservatório.

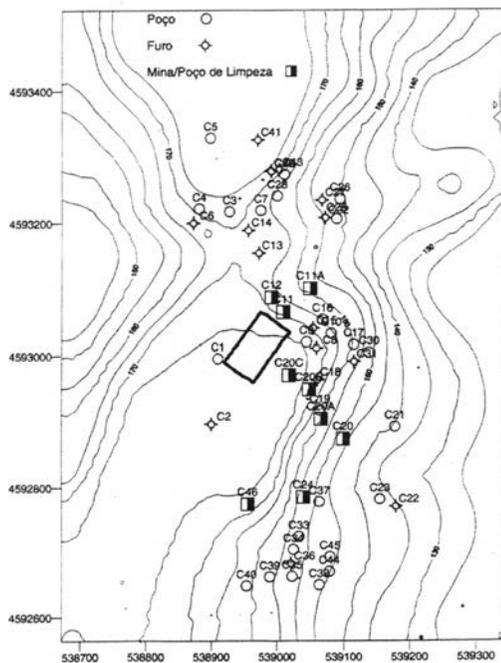


Fig. 4 – Localização e tipologia dos pontos de água inventariados. Referenciação quilométrica UTM, fuso 29.

O escoamento subterrâneo processa-se, de um modo geral, de Oeste para Este, a partir da linha de cumeadas (fig. 5). O gradiente hidráulico nas imediações da área pretendida para a instalação do cemitério é de 0,144.

Um dos aspectos relevantes a considerar neste estudo é a profundidade do nível freático. A profundidade mínima medida foi de 1,5 m no poço C23, enquanto a máxima (33,9 m) foi registada no furo C43. Nas imediações do local previsto para o cemitério, o nível freático situa-se a cerca de 9 metros de profundidade. A este propósito convém destacar dois aspectos: *i*) em primeiro lugar salienta-se que neste tipo de ambiente hidrogeológico o nível freático apresenta importantes flutuações sazonais, podendo atingir quase uma dezena de metros (LIMA, 2001); *ii*) em segundo lugar, os níveis medidos poderão não traduzir condições hidrostáticas. Por exemplo, é bastante provável que o furo C43 tenha sido sujeito a extracção antes de se ter medido o nível freático. Por isso, e referindo-nos ao local pretendido, é de colocar a possibilidade do nível freático se situar, em certos períodos do ano, a profundidades inferiores a 9 m.

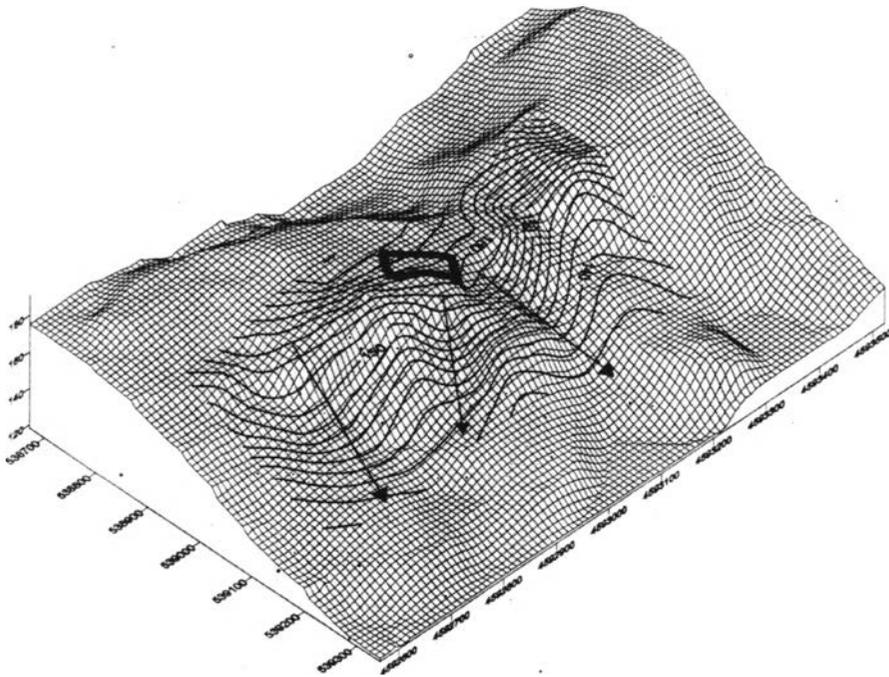


Fig. 5 – Piezometria e escoamento subterrâneo. Referenciação quilométrica UTM, fuso 29, altitude em metros.

4.3. HIDROGEOQUÍMICA

No Quadro I apresenta-se uma síntese estatística dos resultados analíticos das 18 amostras de água seleccionadas.

Quadro I – Estatística descritiva dos resultados analíticos (N = 18; condutividade em $\mu\text{S}/\text{cm}$; temperatura em $^{\circ}\text{C}$; Eh em mV; * teores em ppm; ** teores em ppb).

	Min	Max	Média	D. padrão	C. variação
Condutividade	82	662	211	145	69
Temperatura	13,5	15,9	14,8	0,7	5
pH	5,08	6,82	5,93	0,49	8
Eh	240	354	294	30	10
Ca*	1,70	24,20	8,99	6,55	73
Mg*	1,10	14,60	4,52	3,67	81
Na*	9,80	72,90	21,57	15,50	72
K*	0,80	9,70	3,04	2,18	72
HCO ₃ *	5,92	96,40	25,72	23,21	90
Cl*	8,99	74,90	23,04	16,77	73
SO ₄ *	0,30	13,08	3,48	3,64	105
NO ₃ *	0,01	194,77	39,32	51,36	131
SiO ₂ *	14,70	35,09	21,80	5,29	24
Li**	0,5	27,7	6,8	7,0	103
Be**	0,05	6,30	1,02	1,50	147
Al*	3	731	86	175	203
Sc*	4	11	7	1,8328876	26
Ti**	2,3	6,8	4,5	1,1	24
Mn**	0,5	259,0	32,8	65,9	201
Fe**	1	80	15	18	120
Co**	0,015	1,890	0,368	0,620	168
Cu**	0,3	76,5	18,9	25,0	132
Zn**	3,3	467	58,8	109,1	186
As**	0,15	4,12	1,22	1,11	91
Br**	66	235	120	45	38
Rb**	0,497	18,0	5,25	4,42	84
Sr**	11,6	255,0	61,7	57,7	94
Y**	0,042	6,56	1,36	2,06	151
Zr**	0,005	2,092	0,161	0,483	300
Cd**	0,01	0,28	0,07	0,07	100
Sb**	0,005	0,217	0,056	0,068	121
Cs**	0,005	0,406	0,096	0,115	120
Ba**	3,4	241	47	60	128
La**	0,002	2,48	0,25	0,62	248
Ce**	0,002	4,19	0,32	0,98	306
Eu**	0,001	0,17	0,029	0,046	159
Dy**	0,003	0,968	0,164	0,268	163
Er**	0,003	0,500	0,106	0,158	149
Yb**	0,002	0,434	0,103	0,149	145
Pb**	0,05	3,00	0,51	0,69	135
U**	0,05	2,81	0,51	0,67	131

Como se observa (Quadro I), trata-se, genericamente, de águas muito pouco mineralizadas (condutividade média = 211 mS/cm), embora se tenham identificado, pontualmente, mineralizações bastante elevadas em termos regionais.

A projecção da composição química principal daquelas amostras em diagrama de Piper (Figura 6), mostra que as águas se enquadram, de um modo geral, na fácies cloretada sódica, que é aliás a fácies dominante na região NW de Portugal (LIMA, 2001). Todavia, o sector SW da área em estudo apresenta um quimismo algo diferenciado da restante área, já que as águas tendem a ser bicarbonatadas sódicas ou mesmo bicarbonatadas cálcicas (amostras C1 e C39). A ausência ou baixa concentração de nitratos nestas amostras sugere que as rochas percoladas pela água poderão ser mais básicas (fig. 3).

Para a mineralização destas águas contribuem a totalidade ou apenas alguns dos seguintes processos: *i*) concentração por evaporação das águas de infiltração; *ii*) interacção água – rocha e *iii*) influência antrópica. Os dois primeiros estão presentes em todas as amostras recolhidas. Quanto à influência antrópica, ela é mais evidente nas águas com teores de nitratos relativamente elevados, como é o caso das amostras dos pontos C19, C43 e C17 com 195 mg/L, 98 mg/L e 93 mg/L, respectivamente (fig. 7).

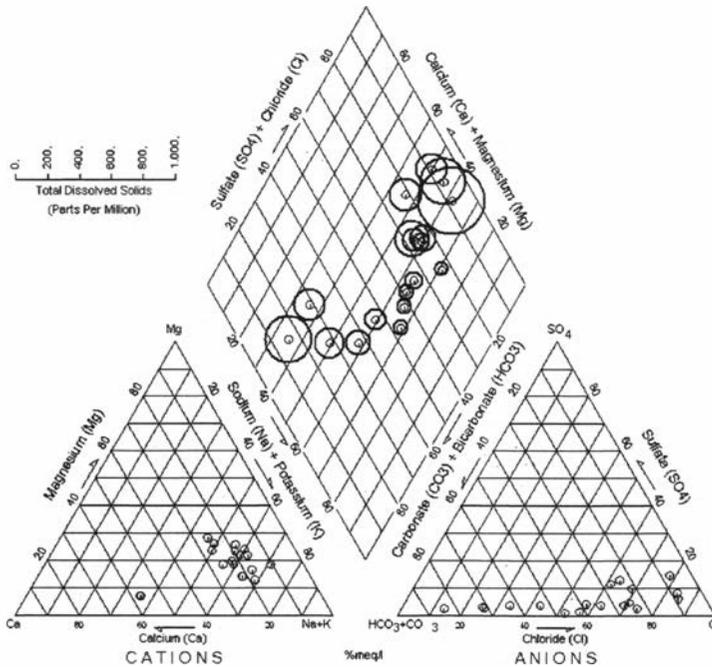


Fig. 6 – Projecção da composição química das amostras em diagrama de Piper.

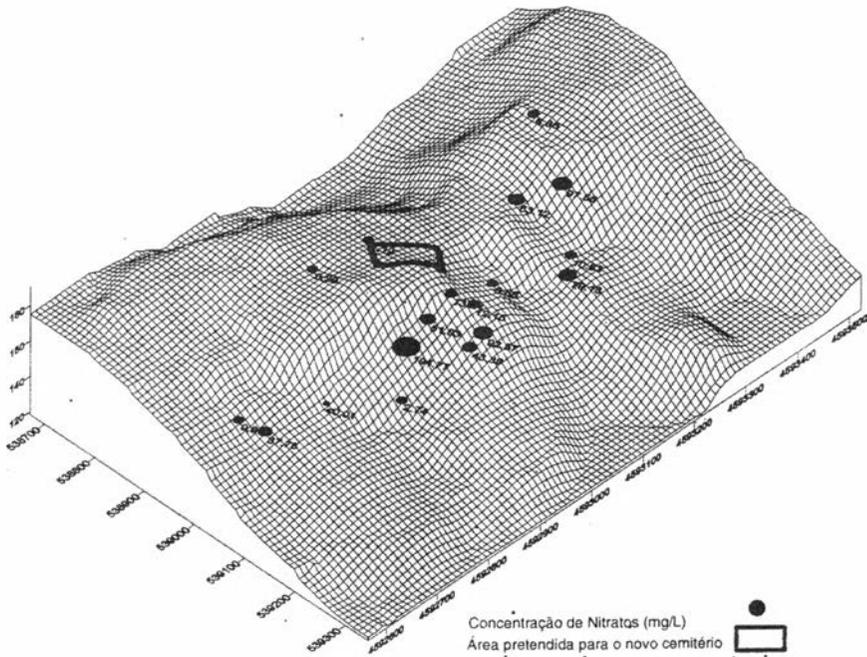


Fig. 7 – Teores de nitratos nas amostras analisadas. A dimensão do círculo é directamente proporcional à concentração (inscrita ao lado). Referenciação quilométrica UTM, fuso 29, altitude em metros.

A concentração por evaporação das águas de infiltração é realçada, por exemplo, pela boa correlação entre os teores de sódio e cloreto ($R=0,98$) ou entre os teores de cloreto e magnésio ($R=0,91$).

Relativamente à interacção água – rocha, obtém-se uma correlação aceitável ($R=0,77$) entre os teores de sílica e bicarbonato, indicando a importância deste processo na mineralização das amostras.

No que respeita à qualidade das águas analisadas, tomaram-se como referência as normas expressas no Anexo VI do Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto, relativas ao consumo humano. Da análise destes dados sobressaem, em termos de parâmetros, os teores de sódio, alumínio, zinco, nitrato, fosfato e cloreto, por ultrapassarem, em algumas amostras, os valores máximos recomendados (VMR) ou mesmo os admissíveis (VMA). Em termos de pontos de água, ressaltam as águas dos pontos C19 e C43, uma vez que apresentam teores de nitrato, manganês e alumínio superiores ao VMA, para além de possuírem teores de cloreto, sódio, zinco e a própria condutividade eléctrica superiores ao VMR. Estes dados sugerem que a contaminação neste sector é fundamentalmente de origem orgânica e estará provavelmente relacionada com a rejeição não controlada de efluentes domésticos no meio hídrico. Tal atitude explica-se pela inexistência de saneamento básico na região.

Apesar dos teores de nitratos em algumas amostras (33%) ultrapassarem o VMA, é de salientar que a maioria (56%) apresenta concentrações naquele parâmetro compatíveis com a sua utilização no consumo humano, existindo mesmo quatro amostras (C2, C24, C11A, C39) com teores inferiores a 1 mg/L.

Relativamente aos teores em sódio, verifica-se que o VMR é ultrapassado em sete amostras, as quais possuem também teores muito levados de nitratos.

No que respeita ao alumínio, existem três amostras com teores superiores ao VMR e duas amostras com teores superiores ao VMA. Os teores registados nestas duas amostras (C19 e C43) sugerem tratar-se de casos de contaminação, até porque patenteiam também teores elevados noutros parâmetros inequivocamente relacionados com a actividade antrópica (*e.g.*, o nitrato). A propósito deste parâmetro, e na tentativa de identificar se se trata de contaminação difusa ou pontual, elaborou-se um mapa com a distribuição dos respectivos teores (Figura 7), tendo-se verificado que a contaminação é de carácter local.

5. PREVISÃO DE INCIDÊNCIAS AMBIENTAIS

A eventual instalação do novo cemitério de Cambeses terá algumas incidências ambientais que detalhamos seguidamente:

1. Por se tratar de uma área de recarga, a situação geomorfológica do local pretendido é, do ponto de vista quantitativo, desfavorável à implantação do cemitério, uma vez que a instalação do mesmo fará diminuir a área de infiltração e, consequentemente, a recarga aquífera, traduzindo-se na redução dos recursos hídricos subterrâneos locais. Contudo, a área afectada é de cerca de 0,5 ha, o que, de acordo com o referido em 4.1., equivale a perdas directas de cerca de 2 000 m³/ano, o que não é significativo em termos regionais;
2. Ainda devido ao facto de se tratar de uma área de recarga e dado que o sentido do escoamento subterrâneo se faz para leste, é de admitir que qualquer situação de contaminação por parte do cemitério possa reflectir-se a nível da qualidade das águas captadas a jusante. Entre os vários pontos de água que poderão ser afectados, o mais sensível será o C11, pois a mina que drena a água situa-se nas imediações da futura localização do cemitério. Especial atenção merece, ainda, o ponto C20, uma vez que não está excluída a possibilidade da mina atingir o local previsto para o cemitério. Mesmo que tal não se verifique, esta galeria drena áreas muito próximas daquele local, o que a torna muito vulnerável. Os pontos C1 e C2 também podem ser afectados se o regime de exploração dos mesmos implicar grandes rebaixamentos;
3. O substrato geológico-estrutural é motivo também de alguma apreensão, sobretudo pelo facto do granito se encontrar bastante meteorizado e pela

presença de um desligamento direito com orientação ENE-WSW, identificado nas proximidades e aproveitado, em parte, pela linha de água que corre junto a C11A. Esta ruptura, constituindo um eixo preferencial de escoamento subterrâneo, aumenta a vulnerabilidade dos pontos situados nas suas imediações;

4. A profundidade do nível freático e a sua variação sazonal são aspectos muito importantes a considerar. Os dados obtidos sugerem que a superfície freática se situa acima dos 9 metros, portanto bastante próxima da superfície topográfica. O carácter cortical dos circuitos subterrâneos penaliza o local em termos de susceptibilidade à poluição;
5. A qualidade dos recursos hídricos subterrâneos constitui também factor a ponderar. Se é verdade que grande parte das águas existentes nas proximidades do local pretendido apresenta já índices de poluição consideráveis, não é menos verdade que o ponto mais vulnerável (C11) possui ainda uma água de boa qualidade (0,66 mg/L de nitratos).

6. CONCLUSÕES

As características hidrogeológicas da área pretendida para a instalação do novo cemitério de Cambeses revelam um ambiente hidrogeológico bastante vulnerável a qualquer tipo de perturbação. Tal sensibilidade advém:

- (i) Das características geomorfológicas do local, destacando-se o facto de se tratar de uma área de recarga, com implicações directas a nível da recarga aquífera, provocando uma diminuição dos recursos hídricos subterrâneos renováveis;
- (ii) Das suas características geológicas, designadamente o grau de alteração do substrato rochoso que tem fortes implicações a nível da permeabilidade, cujos valores sugerem que a progressão de possíveis plumas contaminantes se faça a uma taxa relativamente rápida, o que, juntamente com a fraca percentagem de minerais de argilas, fará com que os poluentes atinjam com facilidade as águas subterrâneas;
- (iii) Da pequena espessura da zona não saturada do solo;
- (iv) Da presença de circuitos subterrâneos corticais;
- (v) Da maioria das captações serem relativamente superficiais.

Além dos factores supra mencionados, a instalação do cemitério terá, provavelmente, de recorrer a obras de escavação e desaterro, o que coloca o nível freático ainda mais próximo da superfície topográfica, aumentando, assim, a vulnerabilidade do meio.

A abordagem hidrogeológica efectuada pôs em relevo os principais aspectos a considerar na instalação deste tipo de infra-estruturas sanitárias e permitiu concluir que as incidências ambientais associadas à instalação do cemitério de Cambeses serão significativas. Salienta-se, contudo, que o presente estudo teve em consideração apenas descritores hidrogeológicos, aspectos fundamentais mas não únicos a atender na selecção de locais para a instalação de infra-estruturas sanitárias como a que constituiu o objecto do actual trabalho.

7. BIBLIOGRAFIA

- BRAGA, M. A. S. (1999) – Arenização: Interesse Geológico e Geomorfológico. *Encontros de Geomorfologia. Conferências*, Coimbra, pp. 31-55.
- DOMENICO, P. A.; SCHWARTZ, F. W. (1990) – *Physical and Chemical Hydrogeology*. John Wiley & Sons, 824 p.
- FETTER, C. W. (1994) – *Applied Hydrogeology*. Third edition, Prentice-Hall, New Jersey, 691 p.
- I.S.R.M. (1981) – Basic Geotechnical Description of Rock Masses. *Int. J. Rock Mech Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, vol. 18, pp. 85-110.
- LIMA, A. S.; PAMPLONA, J.; ANTUNES, A. S. (2001) – *Estudo de Impacto Hidrogeológico Associado à Instalação do Novo Cemitério de Briteiros – Guimarães*. Relatório inédito.
- LIMA, A. S. (2001) – *Hidrogeologia de Terrenos Graníticos. Minho-Portugal*. Tese de doutoramento, Universidade do Minho, Braga, 451p.
- PEREIRA, E. (coord.) (1989) – Carta Geológica de Portugal. Folha 1. Escala 1/200 000. Serv. Geol. Portugal.