

CONTRIBUIÇÃO PARA O ESTUDO DO IMPACTO
AMBIENTAL DO CAMPO MILITAR
DE SANTA MARGARIDA
APÓS MEIO SÉCULO DE UTILIZAÇÃO

*P. Figueiredo*¹ *J. Feliciano*⁶
*J. M. Matias*² *A. Flambó*⁷
*J. M. Marques*³ *M. M. Abreu*⁸
*C. Ribeiro*⁴ *M. J. Bastos*⁹
*N. Jerónimo*⁵ *P. M. Carreira*¹⁰

RESUMO

Apresenta-se, uma abordagem preliminar, do estudo do impacto ambiental do Campo de Santa Margarida decorrente de meio século da sua utilização como Campo de Treino Militar.

Refere-se a metodologia utilizada e os resultados obtidos no primeiro ano do estudo. A erosão do solo e até do substrato litológico é um dos impactos verificados devido à abertura de vias de circulação como consequência da diminuição da cobertura vegetal. A compactação do solo, verificada em zonas de maior circulação por veículos pesados, torna-o mais impermeável.

¹ Professora Associada do DCEN da Academia Militar, Investigadora do CEPGIST e do CINAMIL.

² Professora Associada com Agregação do Departamento de Engenharia de Minas do Instituto Superior Técnico, Investigadora do CEPGIST e do CINAMIL.

³ Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia de Minas do Instituto Superior Técnico, Investigador do CEPGIST e do CINAMIL.

⁴ TCor Tm, Director de curso de Transmissões e Investigador do CINAMIL.

⁵ TCor Eng, Director de curso de Engenharia e Investigador do CINAMIL.

⁶ TCor Art, Investigador do CINAMIL.

⁷ Cor Eng, Comandante da EPE e Investigador do CINAMIL.

⁸ Professora Catedrática do Instituto Superior de Agronomia, Investigadora do CINAMIL.

⁹ Investigadora Auxiliar do Departamento de Engenharia de Minas do Instituto Superior Técnico, Investigadora do CEPGIST e do CINAMIL.

¹⁰ Investigadora Auxiliar do Instituto Tecnológico e Nuclear, Investigadora do CINAMIL.

Os valores mais elevados da condutividade eléctrica e de outros parâmetros registados em águas superficiais e subterrâneas de alguns locais nomeadamente da Nascente e Ribeira da Ervideira podem indicar a contaminação destas águas a atribuir à actividade agro-pecuária que se desenvolve no campo.

1. INTRODUÇÃO

O Campo Militar de Santa Margarida cobre uma área com cerca de 65 km², abrangendo duas zonas com características distintas: uma zona “urbana”, onde se encontram situadas todas as unidades orgânicas do campo, infra-estruturas de apoio, zonas residenciais etc., e uma zona de treino militar. Esta última é bastante extensa e inclui zonas de exercícios táticos para unidades mecanizadas, várias carreiras de tiro, uma pista de aviação, etc.

Situa-se numa zona planáltica na margem esquerda do rio Tejo, que se desenvolve entre os 200 m, a Sul, e os 150 m, a Norte. O planalto é sulcado por alguns barrancos e algumas linhas de água. O clima da zona é caracterizado por apresentar Verões quentes e Invernos frios, sendo esta margem do rio Tejo caracterizada por pluviosidade relativamente fraca (828 mm/ano).

O estudo que estamos a realizar no Campo de Militar de Santa Margarida tem como objectivo a caracterização geológica, hidrogeológica e geoquímica da área do Campo, bem como de algumas áreas limítrofes, no sentido de averiguar a existência de eventuais impactos ambientais originados pela utilização militar deste espaço durante os 50 anos de actividade.

O impacto ambiental resultante de instalações militares e actividades associadas ao treino militar pode manifestar-se de várias maneiras:

- Promover a contaminação química dos solos e das águas;
- Erosão dos solos;
- Desabamentos de terra, cheias, etc.;
- Compactação e impermeabilização do solo;
- Diminuição de matéria orgânica;
- Diminuição da biodiversidade;
- Salinização do solo.

Como objectivos deste estudo, pretende-se:

- Analisar os vários elementos ambientais na área de estudo;
- Verificar se existem anomalias e se existirem averiguar as causas;
- Avaliar a vulnerabilidade a potenciais riscos de contaminação das águas superficiais, aquíferos, solo, sedimentos.

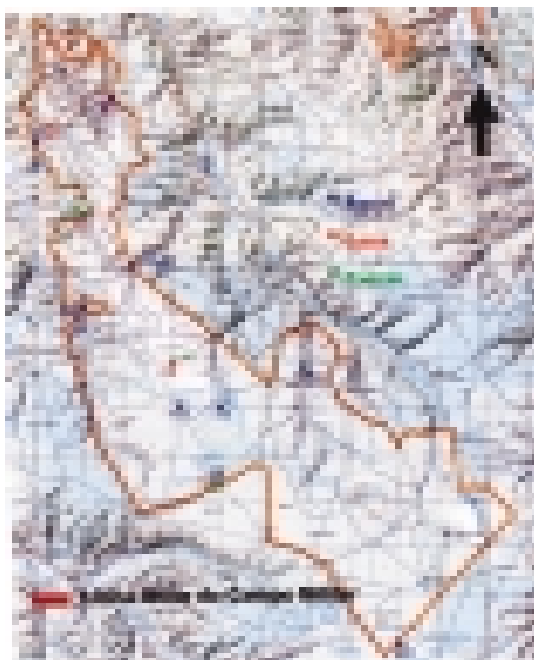
A avaliação global do estado da qualidade dos solos e das águas do Campo Militar, bem como da sua envolvente próxima, visa sobretudo definir estratégias de protecção e, caso necessário, de reabilitação, dos recursos hídricos subterrâneos, bem como dos solos in loco.

2. METODOLOGIA

Para atingirmos os objectivos propostos estamos a efectuar campanhas de amostragem de águas e de solos.

O critério usado na escolha dos locais de amostragem (Figura 1), basicamente, foi:

- A localização do ponto, relativamente às vias de circulação de viaturas, usos e ocupações do Campo Militar;
- A morfologia do terreno;
- Características inerentes ao tipo de amostra.



Legenda

- A1 Nascente do Monte da Ervideira
- A2 Ribeira da Ervideira
- A3 Piezómetro
- A4 Furo AC-5
- A5 Ribeira de Caldelas
- A6 Nascente de Caldelas
- A7 Poço 1 – Coruja do Pratas
- A8 Poço 2 – Coruja do Pratas
- A9 Nascente do Pratas
- A10 Lagoa do Porco
- A11 Barragem do Porco
- A12 Nascente da Saguinheira
- A13 Lagoa do Meio
- A14 Lagoa do Junco
- S1 Campo de tiro A4
- S2 Porco (SW delta Porco)
- S3 D. Pedro
- S4 Lagoa do Meio
- S5 Traseira do 1.º BIMec
- P1 D. Pedro

Figura 1 – Localização dos pontos de amostragem de águas (A1 a A14). Solos (S1 a S4) e Poeiras (P1 a P3).

Ao nível de águas considerámos os dois tipos distintos: as águas de circulação subterrânea e as águas de circulação superficial. Para caracterizar as águas de circulação subterrânea foram amostradas nascentes, (Foto 1) poços e furos de captação. As águas de circulação superficial foram amostradas em ribeiras, lagoas e em barragens (Foto 2). Serão realizadas colheitas sazonais (uma no fim da época húmida e outra no fim da época seca).



Foto 1 - Nascente do Monte da Ervideira.
Recolha de amostra de água.



Foto 2 - Barragem do Porco.
Determinação de propriedades Físico-Químicas "in-situ" e recolha da amostras.

Os solos foram amostrados de uma forma semelhante às águas, isto é, em locais susceptíveis de serem contaminados, como é o caso da carreira de tiro A4 (Foto 3), na zona de impacto de projecteis (Foto 4), em antigas zonas de impacto, em zonas próximas das oficinas de material. Foram igualmente amostrados solos de zonas afastadas destas situações, para se possuir um termo comparativo. Em cada local, foram recolhidas amostras de solo superficial.

A importância do estudo do solo resulta do seu papel na interface em que se situa. O solo funciona como um filtro para as águas, é um meio de suporte onde ocorrem variadíssimas reacções quer físicas, quer químicas, quer mesmo bioquímicas. A sua alteração/destruição faz com que hajam variadas alterações quer ao nível das suas próprias características, quer ao nível dos aquíferos e da composição química das águas.

Em alguns locais (Carreira de Tiro e zona de impactos) foram recolhidos invólucros de munições.



Foto 3 - Carreira de Tiro A4.
Recolha de munições e de solo superficial.



Foto 4 - Polígono a Este do delta Porco.
(cratera provocada por uma granada de 155 mm na zona de impacto). Recolha de amostras de solo e estilhaços.

3. PARÂMETROS ANALISADOS E MÉTODOS ANALÍTICOS

Quanto às águas, foram efectuadas, in situ, medições do pH, Eh, Condutividade eléctrica e Temperatura. Em laboratório foi feita a pesquisa dos elementos Al, Cd, Ca, Pb, Cu, Cr, Mg, Mn, Ni, Zn, Na, K, Si, Fe, Alcalinidade, SO₄, NO₃, Cl, ¹⁸O, ²H e ³H. Alguns destes elementos foram escolhidos, como é o caso do Al, Cd, Ca, Pb, Cu, Cr, Ni, Zn, Fe, por serem elementos encontrados em invólucros de munições também recolhidos e estudados. Outros, como é o caso dos ¹⁸O, ²H e ³H, foram escolhidos para servirem de traçadores do fluxo e idade das águas. Outros ainda foram escolhidos por serem amostradores de focos de poluição antrópica.

No que diz respeito aos solos e sedimentos, as amostras foram convenientemente secas e sujeitas a separações granulométricas e a estudos mineralógicos e químicos. Foram usados diferentes métodos analíticos:

- Difracção de Raios X e Espectrometria de Infravermelhos para a identificação de minerais em solos, poeiras e outras amostras sólidas;
- Espectrometria de Fluorescência de Raios X (EFRX) para as análises químicas elementares das amostras sólidas;
- Espectrometria de Absorção Atómica e de Emissão com chama (EAAC) para a análise em soluções de Al, Cd, Ca, Pb, Cu, Cr, Mg, Mn, Ni, Zn, Na e K;

- Cromatografia Iônica, para a análise dos aniões Cl, NO₃ e SO₄;
- Espectrometria de Massa, para a análise dos isótopos ¹⁸O e ²H;
- Espectrofotocolorimetria, para a análise de P e Si;
- Para se analisar a Alcalinidade fez-se a titulação com HCl;
- Método de Cintilação Líquida para a análise do isótopo ³H.

4. ANÁLISE PRELIMINAR DOS RESULTADOS

As considerações que se apresentam neste trabalho dizem apenas respeito aos resultados obtidos das três primeiras campanhas de amostragem.

4.1. Solo

Recolheram-se 13 amostras de cerca de 2 kg de solos e de sedimentos do fundo das lagoas. Os locais de amostragem encontram-se assinalados no mapa (Figura 1). Foram secos à temperatura ambiente em tabuleiros. Depois de secos procedeu-se à homogeneização e, pelo método da quartilha, foram retiradas sub-amostras. Destas procedeu-se a crivagem para obtenção da fracção inferior a 2mm. Nesta fracção procedeu-se à análise química elementar por fluorescência de Raios X . Procedeu-se, igualmente, à separação da fracção argila (<2mm) para identificação dos minerais argilosos presentes. Os solos estudados são maioritariamente arenosos, com baixo teor em argila. A Caulinite e Illite constituem os minerais argilosos presentes. São solos com risco severo de erosão hídrica. São frequentes evidências desta característica em locais onde a abertura de acessos com a necessária destruição da vegetação provocou a erosão intensa do solo e do substrato litológico.

4.2. Águas superficiais e subterrâneas

A amostragem de águas superficiais e subterrâneas foi efectuada de modo a cobrir, tanto quanto possível, toda a área do Campo Militar (e respectiva envolvente). O objectivo das primeiras campanhas de amostragem de águas superficiais e subterrâneas da área em estudo foi:

- Proceder a um primeiro rastreio das assinaturas geoquímicas e isotópicas das águas superficiais e subterrâneas locais;
- Adquirir sensibilidade para a interpretação dos resultados;
- Proceder à interpretação de algumas tendências, de modo a planear os trabalhos de campo futuros.

Deste modo, com base na cartografia disponível (geológica e topográfica), foram seleccionados cerca de 14 pontos de amostragem incluindo águas superficiais (ribeiras, lagoas e uma barragem) e subterrâneas (nascentes, poços e furos), tendo igualmente sido efectuada amostragem no piezómetro da antiga lixeira. Com esta amostragem pretendeu-se:

- A caracterização dos diferentes componentes do ciclo hidrológico, a nível local;
- O conhecimento acerca da interacção águas superficiais/águas subterrâneas (importante para a identificação de eventuais problemas de contaminação de aquíferos, mais ou menos profundos);
- A avaliação de anomalias e identificação de causas e efeitos.

Os resultados obtidos tendo em consideração que aqueles são apenas de uma análise química por cada ponto de amostragem, não podem ter carácter conclusivo. As características evidenciadas terão que ser comprovadas nos trabalhos seguintes.

Por esse motivo, neste trabalho limitamo-nos a tecer alguns comentários aos resultados obtidos.

Os valores de condutividade eléctrica das águas superficiais e subterrâneas locais (valores estes determinados *in situ*, aquando da recolha das amostras) foram utilizados quer como um método expedito para a avaliação da mineralização total das águas, quer como um indicador de eventuais problemas de contaminação. Mediante a análise do gráfico da Figura 2, podemos observar que os valores mais elevados de condutividade eléctrica dizem respeito quer a águas superficiais (ribeira da Ervideira) quer a águas subterrâneas (nascente da Ervideira, furo AC5 e piezómetro).

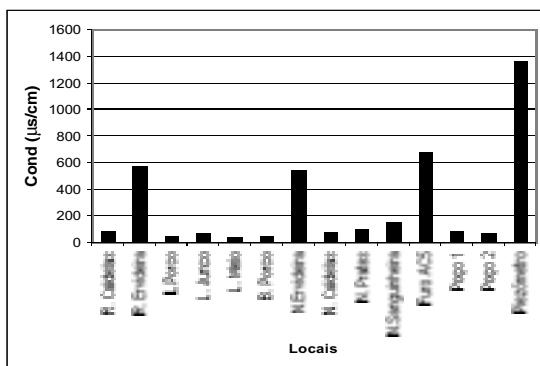


Figura 2 - Valores de condutividade eléctrica (Cond) nas águas superficiais e subterrâneas.

Os valores de condutividade eléctrica das águas da ribeira da Ervideira e da nascente da Ervideira, quando comparados com os valores de condutividade eléctrica das outras águas superficiais (*ex*: ribeira de Caldelas, lagoa do Porco) e subterrâneas (*ex*: nascente da Caldelas, nascente do Prates, Poço 1 e Poço 2), podem ser considerados indicadores de contaminação antrópica. O valor elevado de condutividade eléctrica observado na água do piezómetro está associado a contaminação das águas de infiltração e circulação subterrânea na área da lixeira. No caso da água do furo AC5, o valor elevado de condutividade eléctrica explica-se pela circulação profunda e demorada destas águas, favorecendo a interacção água-rocha.

As águas do furo AC5 e do piezómetro apresentam valores de sódio semelhantes ($\text{Na} \simeq 100 \text{ mg/l}$), (Figura 3). No entanto, a origem deste elemento nestas águas deve estar associada a duas causas distintas:

- No caso do furo AC5, a elevada concentração em sódio poderá estar associada à dissolução de sais (sal-gema, NaCl) presentes em profundidade, no seio das formações geológicas sedimentares, gresosas;
- No caso da água amostrada no piezómetro, a elevada concentração em sódio, deve-se à contaminação das águas de infiltração pela circulação subterrânea na área da lixeira.

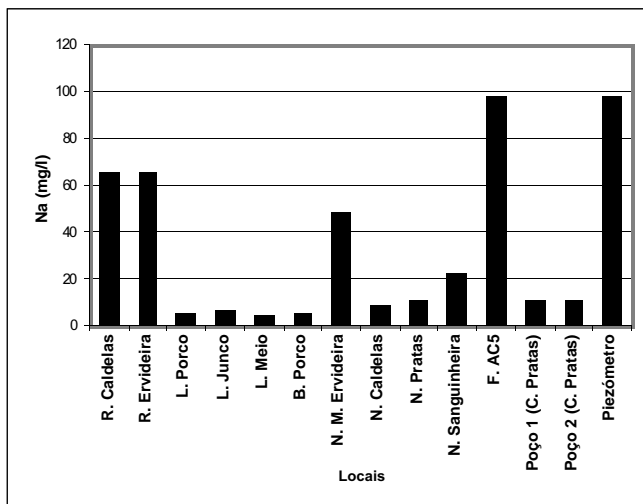


Figura 3 – Concentração em Sódio (Na) nas águas superficiais e subterrâneas.

A contaminação de origem antrópica (actividades agro-pecuárias) detectada nas águas da ribeira e da nascente da Ervideira (valores elevados de condutividade eléctrica) é mostrada pela concentração elevada em potássio, cálcio, cloreto, sulfato e nitrato (Figuras 4 a 8).

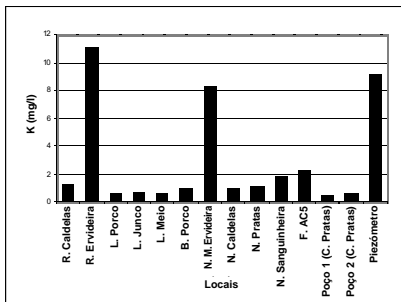


Figura 4 – Concentração em Potássio (K) nas águas superficiais e subterrâneas.

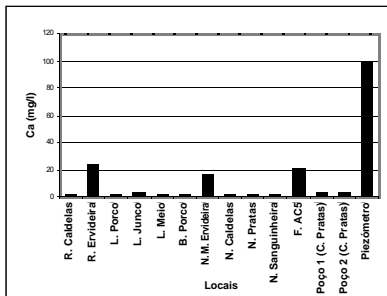


Figura 5 – Concentração em Cálcio (Ca) nas águas superficiais e subterrâneas.

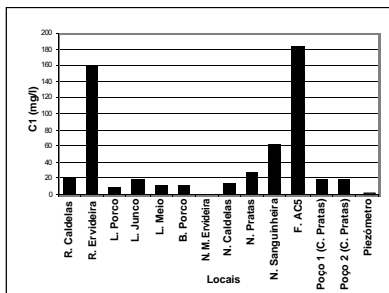


Figura 6 – Concentração em Cloreto (Cl) nas águas superficiais e subterrâneas.

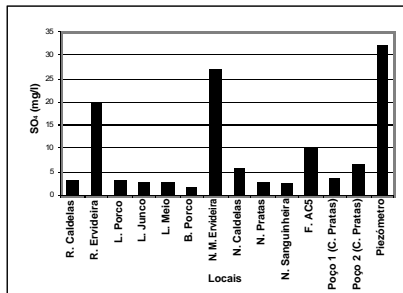


Figura 7 – Concentração em Sulfato (SO₄) nas águas superficiais e subterrâneas.

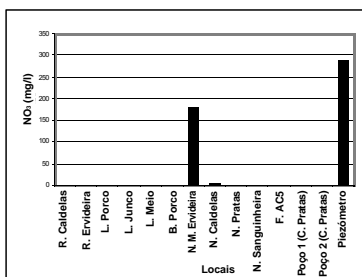


Figura 8 - Concentração em Nitrato (NO₃) nas águas superficiais e subterrâneas.

Também a concentração elevada em nitrato nas águas da ribeira e da nascente da Ervideira, deve resultar da contaminação causada pelas actividades pecuárias da Quinta do Monte da Ervideira.

No entanto, as águas amostradas não apresentaram concentrações nestes elementos superiores aos valores máximos recomendáveis (VMR) previstos no Decreto-Lei 236/98.

No que diz respeito à concentração em alumínio (Figura 9), as águas da Lagoa do Meio, Lagoa do Porco e Barragem do Porco apresentam valores acima dos valores máximos admissíveis (VMA) para consumo humano (VMA = 0,2 mg/l), estando no entanto muito abaixo dos VMR para águas de rega (VMR = 5 mg/l).

As concentrações de ferro e crómio (Figura 10 e Figura 11) são igualmente elevadas nas águas das lagoas e da barragem. É de referir que a Lagoa do Meio, a Lagoa do Porco e Barragem do Porco se encontram na zona de impacto ou muito próximas do perímetro desta. No entanto, os valores mais elevados de Fe foram registados nas águas da Ribeira de Caldelas e no Poço 1. No caso do Poço 1, o valor elevado de ferro poderá dever-se ao facto das estruturas metálicas do poço se apresentarem em elevado estado de degradação (*vide* Foto 5). A origem da elevada concentração em Fe na água da Ribeira de Caldelas será esclarecida em próximas campanhas.

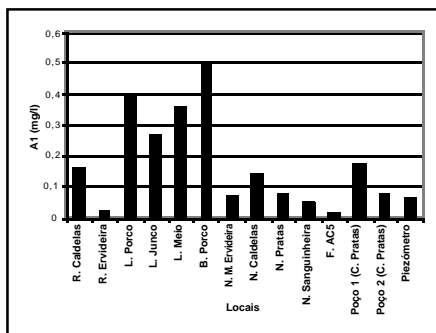


Figura 9 – Concentração em Alumínio (Al) nas águas superficiais e subterrâneas.

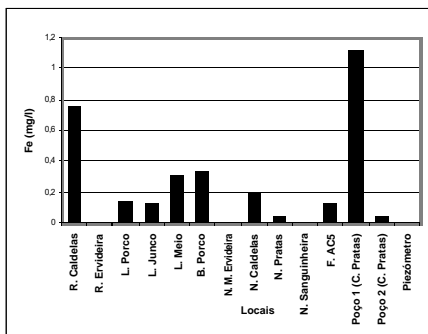


Figura 10 – Concentração em Ferro (Fe) nas águas superficiais e subterrâneas.

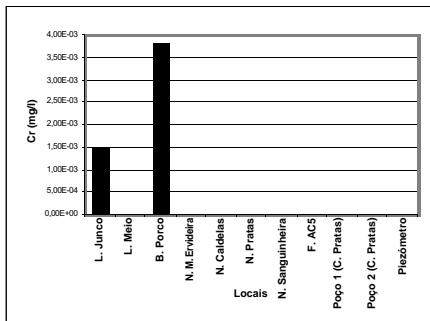


Figura 11 – Concentração em Crómio (Cr) nas águas superficiais e subterrâneas.



Foto 5 – Poço 1 - Coruja do Pratas.

5. HIDROLOGIA ISOTÓPICA

No que respeita à protecção dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, a hidrologia isotópica desempenha um papel muito importante na caracterização dos sistemas de fluxo subterrâneo, determinação do tempo de residência da água nas diversas partes do ciclo hidrológico e respectiva vulnerabilidade à poluição. A maioria das águas subterrâneas tem a sua origem na precipitação atmosférica. No entanto, em alguns casos, os processos de recarga e circulação subterrânea são relativamente complexos, sendo necessário a obtenção do maior número possível de informação acerca dos processos envolvidos. Os sistemas de água superficial, rios e lagos são outra possível fonte de recarga dos sistemas aquíferos. Deste modo, várias questões poderão ser colocadas:

- Qual é a importância relativa destas potenciais fontes de recarga?
- Qual o percurso subterrâneo das águas de infiltração?
- Qual a interacção entre as águas superficiais e as águas subterrâneas?

A existência de mistura entre águas superficiais e águas profundas é um problema ambiental a ter em conta na avaliação da qualidade dos recursos hídricos de determinada região. Efectivamente, durante o fluxo através dos solos e substrato geológico, as águas podem adquirir contaminantes de origem antrópica, originando a contaminação dos recursos hídricos subterrâneos locais. Os isótopos correntemente usados na resolução destes problemas são os isótopos dos elementos leves ^{18}O , ^{16}O , ^1H , ^2H e ^3H .

A variação da concentração dos isótopos estáveis do oxigénio e do hidrogénio em águas naturais é expressa em termos da notação delta (δ):

$$\delta = (R_a - R_p) / R_p$$

onde R_a representa a razão isotópica ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ou $^2\text{H}/^1\text{H}$) da amostra e R_p representa a razão isotópica ($\delta^{18}\text{O}/\delta^{16}\text{O}$ ou $^2\text{H}/^1\text{H}$) do padrão. Os valores delta (δ) são expressos em permilagem (‰) dos desvios relativamente ao padrão. O padrão adoptado universalmente para o caso do ^{18}O e ^2H é a V-SMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water), disponível na Agência Internacional de Energia Atómica para calibração. Como resultado da utilização desta notação delta, as águas oceânicas apresentam valores $\delta^{18}\text{O}$ próximos de zero, pois na expressão $\delta = (R_a - R_p) / R_p$, os valores R_a e R_p são muito próximos.

As águas meteóricas mundiais apresentam uma vasta gama de valores $\delta^{18}\text{O}$ (- 40 ‰ < $\delta^{18}\text{O}$ < + 6 ‰), associados a diferentes latitudes e altitudes de recarga. No diagrama $\delta^2\text{H}$ vs $\delta^{18}\text{O}$ as águas provenientes da precipitação atmosférica, e que não tenham sido alvo de variação na composição isotópica ao longo do sistema de fluxo subterrâneo, apresentaram valores $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$ que se projectam em cima ou próximo da recta das águas meteóricas mundiais ($\delta^2\text{H} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10$). No diagrama esquemático da Figura 12, a recta das águas meteóricas mundiais encontra-se representada pela linha AB.

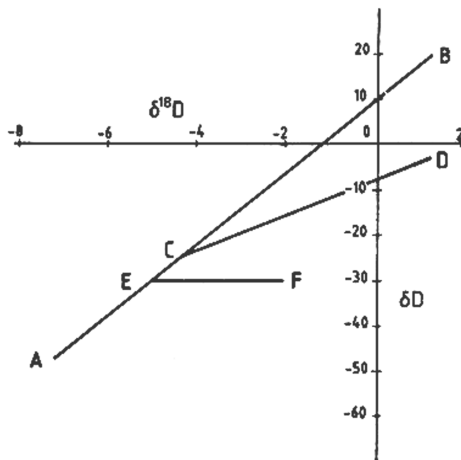


Figura 12 - Diagrama esquemático $\delta^2\text{H}$ vs $\delta^{18}\text{O}$. Adaptado de IAEA (1983).

Águas que não tenham sido sujeitas a evaporação superficial (como resultado de rápida infiltração no subsolo) serão projectadas ao longo da linha AB, enquanto que águas que tenham sido alvo de evaporação apreciável, seguirão uma linha do tipo CD, cujo declive se encontra, de modo geral, compreendido entre 4 e 6 (IAEA, 1983). O ponto de intercepção C, com a recta das águas meteóricas mundiais, representará a composição em ^{18}O e ^2H da água superficial anteriormente ao enriquecimento em isótopos pesados por evaporação (IAEA, 1983). Os valores $\delta^{18}\text{O}$ das águas amostradas ($-5\text{‰} < \delta^{18}\text{O} < +6\text{‰}$) caem nitidamente dentro do domínio das águas meteóricas mundiais (Figura 13), sendo possível observar a existência de dois grupos de águas com assinaturas isotópicas distintas (Figura 14).

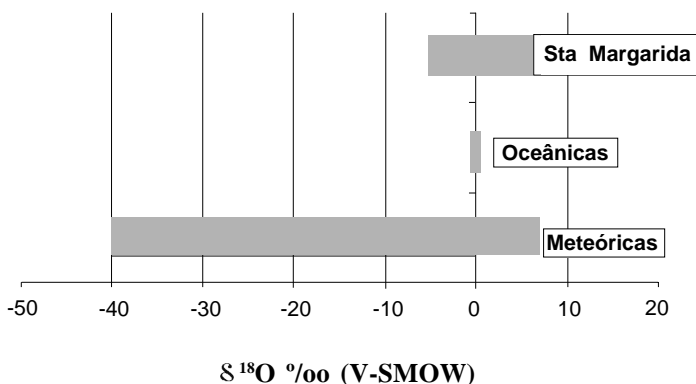


Figura 13 - Comparação dos valores $\delta^{18}\text{O}$ das águas amostradas na área do Campo Militar de S^{ta} Margarida com os valores das águas oceânicas e meteóricas a nível mundial (adaptado de Hoefs, 1997).

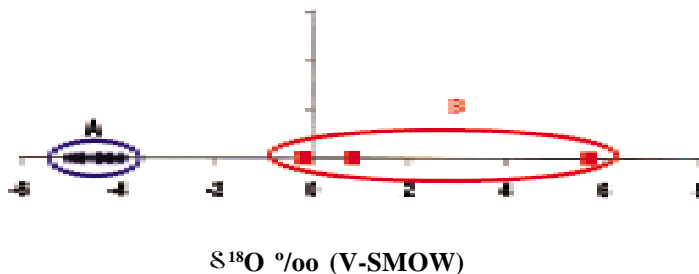


Figura 14 – Campo Militar de S^{ta} Margarida. Pontos de amostragem com assinaturas isotópicas distintas: (A) ribeiras, nascentes, poços e furos; (B) lagoas.

Os valores $\delta^{18}\text{O}$ das ribeiras, nascentes, poços e furos de captação são representativos das águas meteóricas da área em estudo. Até ao momento ainda não se encontram disponíveis os valores $\delta^2\text{H}$ associados a estas águas. No entanto, dado tratar-se de águas meteóricas, os valores $\delta^{18}\text{O}$ das águas amostradas nas ribeiras, nascentes, poços e furos de captação poderão ser utilizados para estimar os valores $\delta^2\text{H}$ destas mesmas águas, os quais (através da utilização da equação da recta das águas meteóricas mundiais) deverão estar compreendidos entre -40 ‰ e -20 ‰ .

Pelo contrário, os valores $\delta^{18}\text{O}$ das águas amostradas na Lagoa do Porco, Lagoa do Meio e Lagoa dos Juncos, mostram fortes evidências de evaporação superficial. Deste modo, tendo em vista proceder a uma caracterização da inter-relação águas superficiais vs águas subterrâneas da área em estudo, será interessante averiguar da existência (ou não) de águas com valores $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$ que as projectem ao longo de uma recta do tipo CD, conforme indicado na Figura 12. O trítio (^3H), isótopo radioactivo do hidrogénio, apresenta um tempo de meia-vida de 12.5 anos, vindo a sua concentração nas águas naturais expressa em termos de unidades de trítio (TU). Uma unidade de trítio corresponde à razão isotópica $^3\text{H}/^1\text{H}=10^{-18}$.

O trítio ocorrente na precipitação atmosférica, tem a sua origem directamente relacionada com dois processos distintos. Um dos processos está ligado à designada “produção atmosférica natural”¹ resultante da interacção entre neutrões produzidos por raios cósmicos na estratosfera e átomos de azoto. O outro está relacionado com as primeiras detonações termonucleares (com início em 1952/53), as quais, “injectando” quantidades apreciáveis de trítio na atmosfera, tiveram como consequência o aumento das concentrações em trítio na precipitação. Após 1953, no Hemisfério Norte, o trítio na atmosfera aumentou significativamente, tendo atingido o seu máximo em 1963, onde a concentração na precipitação ultrapassou largamente as 1000 U.T. (Figura 15). De 1963 para cá, as concentrações têm vindo a baixar progressivamente.

¹ A produção atmosférica natural de trítio é da ordem de 5 a 20 TU (IAEA, 1983).

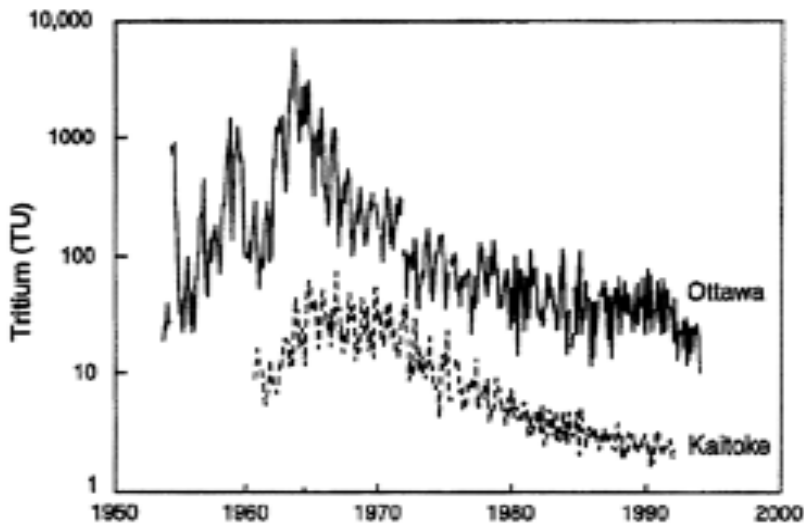


Figura 15 - Concentração de trítio na atmosfera (Ottawa-Canadá e Kaitoke-Nova Zelândia). Adaptado de Cook & Herczeg (2000).

De referir que, a ausência de trítio numa determinada amostra de água apenas nos indica que a infiltração deverá ter ocorrido anteriormente a 1950, não sendo possível determinar quantitativamente a idade dessa amostra de água. Deste modo, a utilização do conteúdo em trítio presente nas águas apenas pode dar informações de carácter qualitativo, sobre:

- A “idade” das águas;
- A duração dos percursos subterrâneos;
- A existência de mistura entre águas de infiltração recentes e águas subterrâneas mais antigas.

Em termos de concentração em ^3H , as águas analisadas podem dividir-se em dois grandes grupos:

- As águas amostradas em ribeiras, nascentes, poços e lagoas, caracterizadas pela presença de ^3H , apresentando valores compreendidos entre 1.6 e 3.8 TU;
- As águas do furo de captação AC5 (Caniceira), caracterizadas por valores de ^3H consideravelmente mais baixos, indicando um tempo de circulação superior ao das restantes águas subterrâneas da área em estudo.

Estes dois grupos de águas encontram-se bem evidentes no diagrama da Figura 16.

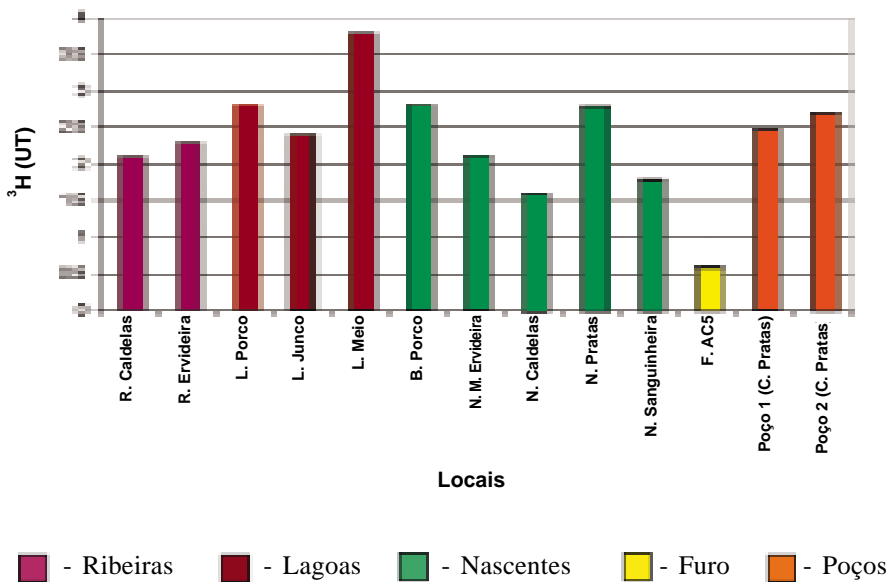


Figura 16 – Concentração em ^3H (TU) nas águas superficiais e subterrâneas da área em estudo.

Os valores de ^3H apresentados pelas águas amostradas em ribeiras, nascentes e poços são da mesma ordem de grandeza dos valores de ^3H da precipitação atmosférica actual em Portugal Continental (ITN, 2002), o que indica tratar-se de águas meteóricas recentes, de recarga e circulação local.

A análise do diagrama da Figura 17, confirma o modelo que está a ser traçado: podemos observar que as águas com concentração em Cl mais elevada (Furo AC5 e ribeira da Ervideira) apresentam valores de ^3H distintos (0.6 e 2.3 TU, respectivamente). Estas assinaturas isotópicas distintas podem ser encaradas como o resultado de estarmos perante duas origens diferenciadas para o Cl. No caso da ribeira da Ervideira, a concentração em ^3H indica tratar-se de águas meteóricas recentes, sendo a elevada concentração em Cl (± 158 mg/l) provavelmente o resultado de contaminação antrópica.

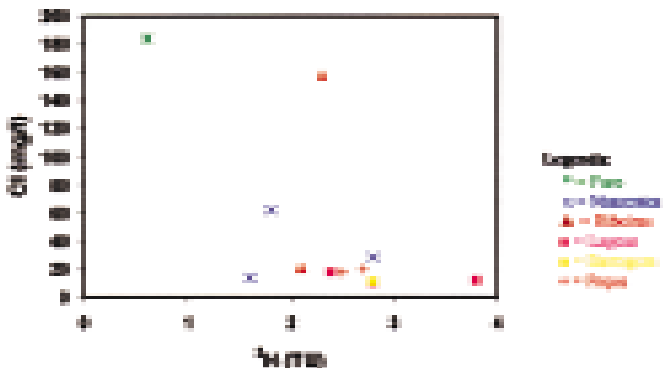


Figura 17 – Diagrama Cl vs ³H para as águas em estudo.

A água do Furo AC5, igualmente caracterizada pela elevada presença de cloretos (± 184 mg/l), apresenta baixa concentração em ³H (0.6 TU), indicando tratar-se de uma água antiga, à qual deverá estar associada uma circulação subterrânea relativamente longa e demorada. Neste caso e como já foi referido anteriormente, a elevada concentração em Cl poderá estar associada à dissolução de sais (sal-gema, NaCl) depositados em profundidade no seio das formações geológicas. O facto de as águas da ribeira e da nascente da Ervideira apresentarem valores de ³H da ordem de 2 TU indica que a entrada do Cl, K, Ca e SO₄ para o sistema é relativamente rápida, dado tratarem-se de águas meteóricas recentes, com percursos superficiais e subterrâneos relativamente curtos (Figuras 18,19 e 20).

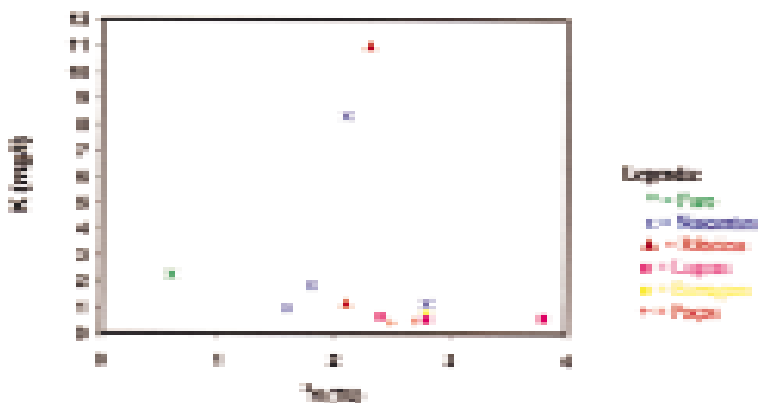


Figura 18 – Diagrama K vs ³H para as águas em estudo.

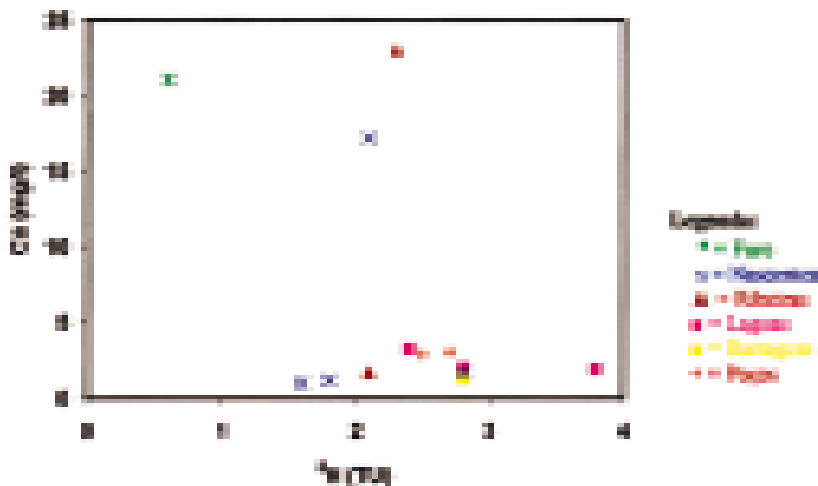


Figura 19 – Diagrama Ca vs 3H para as águas em estudo.

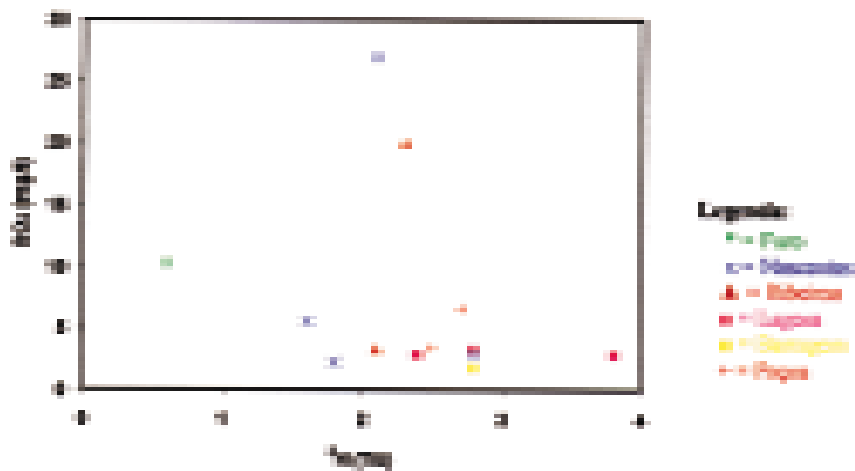


Figura 20 – Diagrama SO₄ vs 3H para as águas em estudo.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi suportado pelo Projecto “O CAMPO MILITAR DE SANTA MARGARIDA: ESTUDO DO IMPACTO AMBIENTAL APÓS MEIO SÉCULO DE UTILIZAÇÃO” Apoiado pela Divisão de Planeamento e Programação do Estado Maior do Exército.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cook, P. & Herczeg, A. L. (2000)* Environmental tracers in subsurface hydrology. Kluwer Academic Publishers, 529 pp.
- Hoefs, J. (1997)* Stable Isotope Geochemistry. 4th, Completely Revised, Updated, and Enlarged Edition. Springer, 201 pp.
- IAEA (1983)* Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology. IAEA, Vienna, Technical Reports Series 91, 439 pp.
- Instituto Tecnológico e Nuclear (2002)* Precipitation data base. Portalegre Meteorological Station (1988 – 2002).