

CARACTERIZAÇÃO PALEOCLIMÁTICA E PALEODINÂMICA DO SISTEMA MULTIAQUÍFERO CRETÁCICO DE AVEIRO ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DE ISÓTOPOS AMBIENTAIS

Paula M.M. CARREIRA¹; António M.M. SOARES²; Manuel A. MARQUES da SILVA³; Luis ARAGUÁS-ARAGUÁS⁴; Kazimier ROSANSKI⁵; Martin STUTE⁶

RESUMO

Através da aplicação de técnicas isotópicas e hidroquímicas no estudo dos sistema multiaquífero Cretácico da Bacia do Baixo Vouga, tentou-se avaliar o efeito da intensa exploração do sistema ao longo de quase quatro décadas.

Verificou-se que os teores em ^{14}C decrescem quase linearmente entre os kms 5 e 8 a partir da área de recarga em direcção ao litoral. No entanto, entre os kms 8 e 16 as concentrações em ^{14}C mantêm-se praticamente constantes, indicando uma velocidade aparente do fluxo subterrâneo superior, que terá sido induzida pela descida do nível do mar em cerca de 100 m durante o último máximo glacial há cerca de 18 ka.

Por outro lado, constata-se um enriquecimento em ^{18}O e em ^2H , também dos bordos da bacia em direcção ao litoral, facto que parece ser único nas paleoáguas no continente europeu. Admite-se que este fenómeno resulte de uma recarga de águas de precipitação originada no primeiro processo de condensação, refletindo, portanto, modificações isotópicas ocorridas na massa de água oceânica.

A utilização de gases raros como indicadores paleoclimáticos revelou uma diferença de 5°C entre as águas holocénicas (idades inferiores a 10 ka BP) e as plistocénicas - período glacial (paleoáguas com idades médias corrigidas em torno de 18 ka BP) demonstrando a diferença de climas prevalentes nos respectivos períodos de recarga.

Palavras-chave: Isótopos ambientais, oxigénio-18, deutério, carbono-14, gases nobres (He, Ne, Ar, Kr e Xe), época glacial, paleoáguas, paleotermómetros.

¹ Geóloga, Assistente de Investigação no Instituto Tecnológico e Nuclear

² Engenheiro Químico, Investigador Auxiliar no Instituto Tecnológico e Nuclear (actualmente Subdirector do Instituto Português de Arqueologia)

³ Geólogo, Professor Associado do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro

⁴ Geólogo, Isotope Hydrology Section, International Atomic Energy Agency

⁵ Físico Nuclear, Faculty of Physics, Cracovia, Polónia

⁶ Geólogo, Lamont-Doherty Earth Observatory, Columbia University, USA

1 - INTRODUÇÃO

O trabalho desenvolvido teve como fim a caracterização paleoclimatológica e paleohidrológica do sistema multiaquífero Cretácico da Bacia do Baixo Vouga, na região de Aveiro-Ílhavo, através da aplicação de técnicas isotópicas em conjunto com métodos hidrogeológicos tradicionais (definição da piezometria regional, avaliação de parâmetros hidrodinâmicos, caracterização físico-química, etc.).

Para além do estudo do sistema aquífero do ponto de vista paleoclimático e paleohidrológico, este trabalho revela-se de extrema importância dado que o aquífero Cretácico de Aveiro representa uma notável reserva dos recursos hídricos desta desenvolvida região. Até aos anos 60 a exploração das reservas subterrâneas incidiam quase exclusivamente nas formações quaternárias (sistema aquífero mais superficial), não só devido à sua produtividade mas também pela fácil acessibilidade. O enorme desenvolvimento industrial e populacional verificado na região de Aveiro e áreas limítrofes obrigaram à procura de outras alternativas para o abastecimento de água.

Por outro lado, há mais de três décadas que as formações cretácicas vêm sendo exploradas e investigadas essencialmente por métodos clássicos.

A aplicação de gases nobres dissolvidos nos sistemas hídricos subterrâneos, adquiriu na última década importância cada vez maior em estudos hidrológicos, em particular quando se pretende determinar a temperatura de recarga de sistemas aquíferos antigos, na tentativa de relacionar as informações obtidas através desta técnica com a própria dinâmica dos sistemas e com as variações climáticas a nível mundial. Trata-se de associar a paleohidrologia com a paleoclimatologia, a fim de que o conhecimento das variações climáticas do passado possam permitir compreender as variações actuais do clima.

2 - ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO

Do ponto de vista hidrogeológico considera-se na região de Aveiro a existência de dois sistemas aquíferos principais: o sistema Quaternário e o sistema multiaquífero Cretácico. O primeiro, superficial, é constituído por sedimentos detríticos de idade pleistocénica e holocénica, formado por níveis de praias marinhas e depósitos fluviais associados. Constituem unidades aquíferas de tipo freático ou semi-cativo, por vezes de carácter local. A unidade superficial é recarregada facilmente pelas precipitações locais e é muito vulnerável à contaminação, apresentando-se em algumas áreas, com elevados teores de poluição.

O segundo conjunto, das unidades cretácicas o aquífero confinado de Aveiro, é considerado como um sistema multiaquífero, por se combinarem formações hidrogeológicas permeáveis, semipermeáveis e impermeáveis (MARQUES da SILVA, 1990). Da base para o topo, é constituído por várias sequências de grés médios a grosseiros, o “Belasiano”, a que se segue um fino e descontínuo leito, por vezes fossilífero, de idade essencialmente cenomaniana, a chamada “Formação Carbonatada”. Segue-se-lhe uma sequência gronocrescente, do Cenomaniano/Turoniano, designado por Grés Micáceo, sobrepondo-se-lhe um espesso conjunto de grés também grosseiros, e argilas arenosas, localmente conhecidos por Grés de Oiã, de idade Turoniana, que gradam a tecto arenitos arcósicos e margosos, os Grés de Verba

(Coniaciano/Santoniano). O conjunto é coberto pelos Arenitos e Argilas de Aveiro/Vagos, essencialmente senonianos.

Do ponto de vista hidrogeológico, é possível considerar na parte inferior do Belasiano dois conjuntos multicamada, de baixa permeabilidade, com águas muito mineralizadas. Desde a parte superior do Belasiano até aos Grés de Oiã, existe o “Conjunto Aquífero Principal” de excelente produtividade e contendo águas de boa qualidade. Os Grés de Verba são considerados como um aquífero, estando todo o conjunto coberto pelo Seniniano argiloso que se apresenta praticamente como impermeável.

As formações permeáveis afloram apenas na parte leste da bacia, numa estreita faixa de orientação praticamente N-S, a cerca de 25 km da costa. Desde a área de recarga, as camadas mergulham suavemente para NW, desconhecendo-se se afloram directamente e onde sob o oceano, ou se pelo contrário continuam protegidas pelo tecto argiloso impermeável. O conjunto apresenta uma estrutura em sinclinal algo assimétrico.

A piezometria existente indica haver actualmente diferentes direcções de fluxo das águas subterrâneas. A principal tem orientação aproximadamente E-W, começando na área de recarga desenvolvendo-se segundo o eixo do sinclinal. Esta direcção coincide com a do fluxo geral do sistema natural não influenciado.

Como resultado da intensa exploração do sistema aquífero profundo, tem sido observado um decréscimo significativo nos níveis piezométricos. Ao longo da linha de fluxo principal, perto da cidade de Aveiro, esse cone de depressão atingiu valores da ordem dos 40 a 50 m abaixo do nível do mar. A área de maior consumo localiza-se a cerca de 9 km da linha de costa e ocupa uma área de aproximadamente 9 km² (MARQUES da SILVA, 1990).

3 - AMOSTRAGEM. PARTE EXPERIMENTAL

Na região compreendida entre aproximadamente Vagos a Sul e Torreira a Norte foram realizadas cinco campanhas de amostragem em furos e nascentes, tendo sido colhidas amostras de água do aquífero superficial e do aquífero profundo, com vista à realização de análises isotópicas e análises físico-químicas.

No total foram amostrados 27 furos que captam o sistema multiaquífero Cretácico e 15 furos e nascentes representativas do sistema superficial Quaternário.

3.1 - Análises isotópicas

3.1.1 - Determinação dos valores de $\delta^{18}\text{O}$ e de $\delta^2\text{H}$

As análises isotópicas (determinação da razão $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ e $^2\text{H}/^1\text{H}$ e teor em ^3H), foram realizadas pelo Laboratório de Isótopos Ambientais do Departamento de Química do ITN.

A determinação dos valores dos valores delta⁷ ($\delta^2\text{H}$ e $\delta^{18}\text{O}$) nas amostras de água foram efectuadas num espectrómetro de massa SIRA 10 VG ISOGAS, utilizando os métodos de FRIEDMAN e de ESPTEIN e MAYEDA, nomeadamente na determinação de $\delta^2\text{H}$ e de $\delta^{18}\text{O}$ (GONFIANTINI, 1981). Os valores das razões isotópicas foram determinados em relação ao padrão internacional V-SMOW (Vienna-Standard Mean Ocean Water). O valor médio do desvio padrão associado a estes resultados é de 0,1‰ para os valores de oxigénio-18 e de 1‰ para os valores de deutério.

3.1.2 - Determinação do teor em ³H

Na medição dos teores em ³H utilizou-se a técnica de enriquecimento electrolítico e posterior medição das taxas de contagem dessa espécie radioactiva por cintilação líquida (IAEA, 1976). Os resultados foram expressos em Unidades de Trítio (TU)⁸, sendo o valor médio dos desvios padrão associados de 0,7 TU.

3.1.3 - Determinação do teor em ¹⁴C e de $\delta^{13}\text{C}$

Na determinação do teor em ¹⁴C das águas subterrâneas procedeu-se à precipitação *in situ* do carbono inorgânico total dissolvido, através da reacção com cloreto de bário, em condições de pH superiores a 9 (I.A.E.A., 1981). A partir do precipitado (BaCO_3) realizou-se uma síntese de benzeno, com vista à medição das taxas de contagem desta espécie radioactiva por cintilação líquida (SOARES, 1989; pp 41-49). Os resultados foram expressos em pmc - percentagem de carbono moderno⁹.

Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ expressos em relação ao padrão PDB foram determinados a partir do CO_2 produzido quando da síntese do benzeno. A incerteza média que lhe está associada é de 0,1‰.

3.1.4 - Determinação do teor em gases nobres

Durante a campanha realizada em Fevereiro de 1995, procedeu-se à amostragem de água subterrânea para determinação dos teores em gases nobres (He, Ne, Ar, Kr e Xe) dissolvidos

⁷ δ (‰) = $[(R_a - R_p) - 1] \times 1000$

R_a representa a razão isotópica entre as concentrações das espécies de interesse na amostra (por exemplo: $^2\text{H}/^1\text{H}$, $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ou $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$), e R_p refere-se à mesma razão isotópica determinada no padrão.

⁸ A unidade TU é definida como uma razão entre concentrações isotópicas:

$$1 \text{ TU} = [^3\text{H}] / [^1\text{H}] = 10^{-18}$$

$$1 \text{ TU} = 1,182 \times 10^{-4} \text{ Bq/ml} = 3,195 \times 10^{-9} \mu\text{Ci/ml}$$

⁹ pmc é definido como a razão expressa em percentagem, entre a actividade normalizada da amostra para $\delta^{13}\text{C} = -25$ ‰ (A_{sn}) e a actividade absoluta do padrão moderno de referência:

$$\text{pmc} = [A_{sn}/A_{on} \times e^{\lambda(y-1950)}] \times 100 \%$$

em que A_{on} corresponde a 0,7459 da actividade do padrão ácido oxálico normalizada para $\delta^{13}\text{C} = -25$ ‰, $\lambda = 1/8267 \text{ ano}^{-1}$ e $y =$ ano de medição (STUIVER e POLACH, 1977).

nos dois sistemas aquíferos, concretamente três amostras da unidade aquífera Quaternária e quinze na unidade multiaquífera Cretácica.

As análises foram efectuadas no laboratório de Lamont-Doherty Earth Observatory da Universidade de Columbia (EUA). O procedimento analítico das amostras de água para determinação de gases nobres encontra-se descrito em STUTE *et al.*, 1995a. Em sistemas aquosos a dissolução de gases nobres é definida pela Lei de Henry. A precisão associada a estes cálculos é superior a $\pm 2\%$ para um intervalo de 2 °C.

O equilíbrio água - ar atmosférico subterrâneo é a principal origem da presença de gases nobres nos sistemas hídricos subterrâneos. A dissolução de gases num sistema aquoso é função, essencialmente, da temperatura e da pressão parcial existente na atmosfera restrita do solo (ANDREWS, 1992; ANDREWS, 1993, STUTE e SCHLOSSER, 1993).

3.2 - Análises físico-químicas

Em todas as amostras de água subterrânea colhidas durante as várias campanhas procedeu-se *in situ* à determinação da temperatura, condutividade eléctrica e pH. Procedeu-se ainda à determinação dos teores em Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- das amostras.

4 - RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

4.1 - Evolução hidroquímica

A evolução hidroquímica da água subterrânea no sistema multiaquífero Cretácico é caracterizada por uma mudança gradual de uma água de fácies bicarbonatada cálcica na área de recarga e nas proximidades dos bordos da bacia sedimentar, para águas do tipo bicarbonatada sódica a cloretada sódica nas captações mais profundas situadas junto ao litoral (Figura 1). Esta evolução é acompanhada por um aumento gradual da concentração em sais dissolvido, que passam de 175 mg/l cerca da área de recarga a 738 mg/l junto ao litoral.

Por outro lado, observando a variação dos teores em cálcio e os valores da razão cálcio/sódio em função da distância aos bordos da bacia sedimentar, e em função da profundidade média das captações, duas “linhas” paralelas de evolução são visíveis quando os valores são representados em diagrama (Figura 2). Ao longo de cada linha de fluxo a água subterrânea apresenta uma evolução química semelhante. O decréscimo em Ca^{2+} acompanhado por um aumento de Na^+ está associado a trocas iónicas entre a matriz argilosa do aquífero e a água subterrânea. Este mecanismo de troca iónica nas águas subterrâneas é confirmado pelo trabalho efectuado por OLIVEIRA (1997).

Os furos localizados perto da linha de costa (5,14 e 15) apresentam um padrão de distribuição diferente dos restantes, quando o teor em HCO_3^- (Figura 3) e a razão Na/Cl, são representados em função da distância à área de recarga. Da análise da figura anterior, verifica-se um aumento dos teores em alcalinidade e um decréscimo da razão Na/Cl, nas captações localizadas na zona mais profunda acessível do aquífero confinado, apontando para mistura com outro tipo de água, proveniente, possivelmente, dos níveis mais profundos do Cretácico inferior que apresentam teores de mineralização elevados (MARQUES da SILVA, 1990).

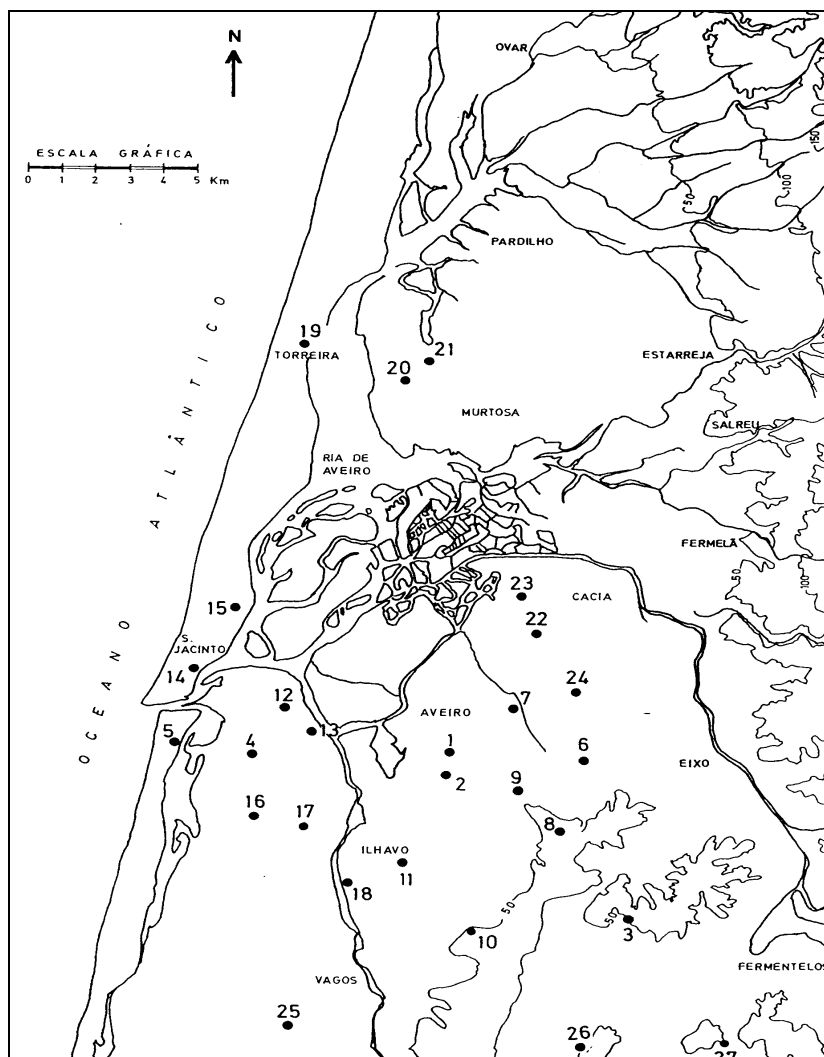


Figura 1 - Localização dos furos amostrados pertencentes ao aquífero Cretácico de Aveiro.

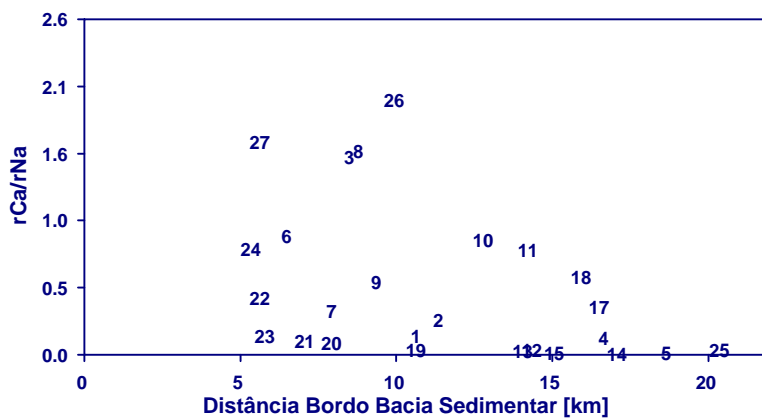


Figura 2 - Variação da razão Ca/Na em função da distância à área de recarga. São visíveis duas linhas paralelas de evolução do fluxo subterrâneo.

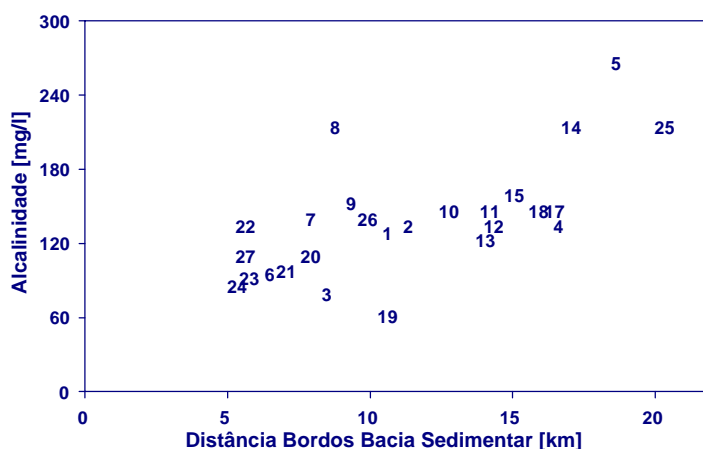


Figura 3 - Variação do teor em HCO₃ em função da distância à área de recarga. O aumento de teor nos furos 5, 14 e 15 indicam a presença de outro tipo de água.

4.2 - Variação em ¹⁴C nas águas subterrâneas do sistema multiaquífero Cretácico

O teor em ¹⁴C obtido nas amostras de água subterrânea pertencentes ao sistema confinado varia entre 43,6±0,4 e 0,9±0,3 pmc, respectivamente a cerca de 5 km e de 20 km da área de recarga. Os teores em trítio obtidos nas diferentes amostras são nulos. Quando o teor em ¹⁴C se representa em escala logarítmica em função da distância aos bordos da bacia sedimentar, observa-se que entre os kms 5 e 8 a concentração em carbono-14 decresce quase linearmente, permanecendo aproximadamente constante entre os kms 8 e 16 (Figura 4).

As idades aparentes das águas subterrâneas foram calculadas utilizando os valores de δ¹³C para correcção da equação de Gonfiantini¹⁰ e admitindo um valor de concentração inicial em ¹⁴C igual a 100 pmc. As idades aparentes de ¹⁴C variam entre 5,9±2,4 a 35,0±6,2 ka (±2σ), respectivamente nas proximidades da área de recarga e na área mais profunda acessível do aquífero.

A velocidade aparente do fluxo subterrâneo foi calculada entre furos adjacentes através da idade de ¹⁴C (segundo a direcção principal do fluxo subterrâneo). Observam-se velocidades aparentes próximas de 1m/a na região compreendida entre os kms 5 e 8 da área de recarga e

$$t_{(\text{anos})} = 8267 \ln (C_o/C)$$

$$C_o = 100 (\delta - \delta C) \times (1 + 2\varepsilon/1000) / (\delta G - \delta C + \varepsilon)$$

em que:

C - concentração em ¹⁴C (pmc) determinada para a amostra

C_o - concentração inicial em ¹⁴C na amostra

δ - δ¹³C do carbono inorgânico total dissolvido na amostra (determinado)

δC - δ¹³C da matriz do aquífero (0±1‰)

δG - δ¹³C do CO₂ do solo (-26±1‰)

ε - factor de enriquecimento isotópico (7,0±0,5‰)

próximas de 5 m/a na região central entre os kms 8 e 16, diminuindo em seguida ao longo do fluxo.

A velocidade média aparente do fluxo subterrâneo de 1 m/a representa as condições de fluxo durante o Holocénico. Enquanto a velocidade aparente de 5 m/a obtida na região central da bacia foi provavelmente induzida pela mudança do nível do mar, cerca de 100 m menos que actualmente, durante o último máximo glacial. As idades aparentes de ^{14}C das amostras situadas entre os kms 8 e 16 da área de recarga distribuem-se perto dos 18 ka BP apoiando a idade glacial desta água.

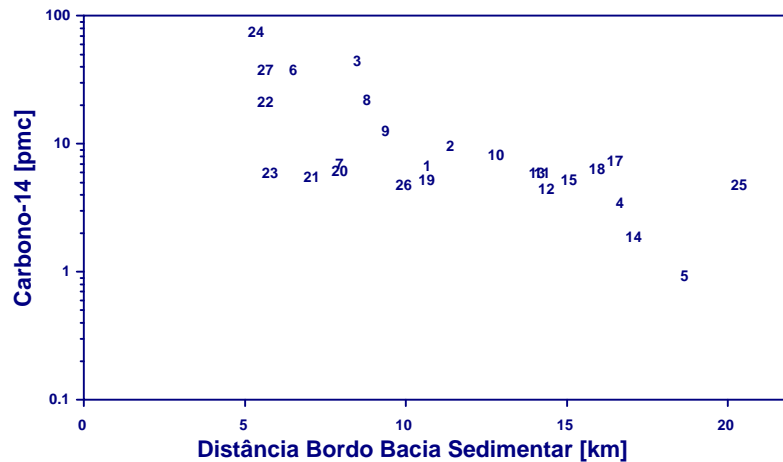


Figura 4 - Variação de teor em ^{14}C em função da distância à área de recarga. Entre os kms 8 e 16 a concentração em carbono-14 permanece aproximadamente constante.

4.3 - Variação dos valores de $\delta^2\text{H}$ e de $\delta^{18}\text{O}$ nos sistemas multiaquífero Cretácico e Quaternário

Dois grupos de águas podem ser reconhecidos quando se representa em diagrama os valores de $\delta^{18}\text{O}$. Um grupo representa as amostras de água subterrânea do aquífero profundo confinado, mais enriquecidas nas espécies isotópicas pesadas, enquanto o outro é constituído pelas amostras de água pertencentes ao aquífero superficial freático, ou seja, representam a composição isotópica da precipitação actual na região (Figura 5).

A composição isotópica do aquífero profundo varia entre -28 a -23 ‰ para o $\delta^2\text{H}$ e entre -4,9 a 4,0 ‰ para o $\delta^{18}\text{O}$, enquanto a composição do aquífero superficial varia entre -29 a -25 ‰ para o $\delta^2\text{H}$ e entre -5 a -4,5 ‰ para o $\delta^{18}\text{O}$. No diagrama anterior (Figura 4) encontra-se também representada a composição isotópica média da precipitação caída na estação meteorológica do Porto, Serra do Pilar, sendo o valor da média ponderada de uma série de 5 anos igual a: $\delta^{18}\text{O} = -5,11$ ‰ e $\delta^2\text{H} = -30,7$ ‰ (IAEA, 1994).

Observa-se um enriquecimento nos valores de $\delta^{18}\text{O}$ e de $\delta^2\text{H}$ no sistema multiaquífero Cretácico segundo o fluxo subterrâneo, ou seja, dos bordos da bacia em direcção ao litoral. O enriquecimento nas espécies isotópicas pesadas é também aparente quando os valores δ são representados em função do teor em ^{14}C (Fig. 6). A composição isotópica da água subterrânea em furos localizados próximo do bordo da bacia (idades holocénicas) apresentam valores de $\delta^{18}\text{O}$ e de $\delta^2\text{H}$ similares aos obtidos nas amostras de água do aquífero superficial (recarga moderna, teores em trítio entre 3 a 6 TU), enquanto que as águas mais antigas são sistematicamente mais enriquecidas em oxigénio-18 e em deutério.

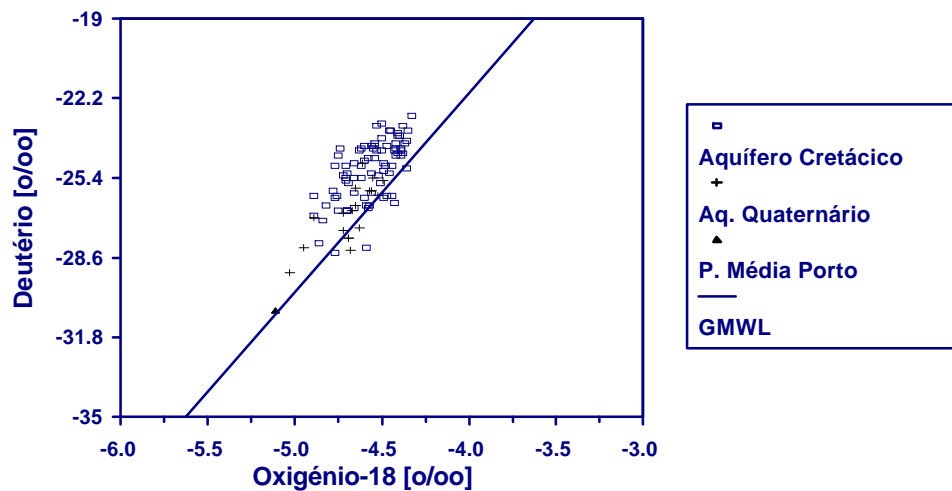


Figura 5 - No diagrama são visíveis dois grupos de águas. As amostras de água subterrânea do aquífero profundo são mais enriquecidas nas espécies isotópicas pesadas.

O enriquecimento isotópico observado nas paleoáguas de Aveiro é único no Continente Europeu: as águas subterrâneas da Grã-Bretanha e da Europa Central infiltradas durante a última glaciação apresentam um empobrecimento em oxigénio-18 e em deutério relativamente aos valores encontrados na precipitação moderna na região.

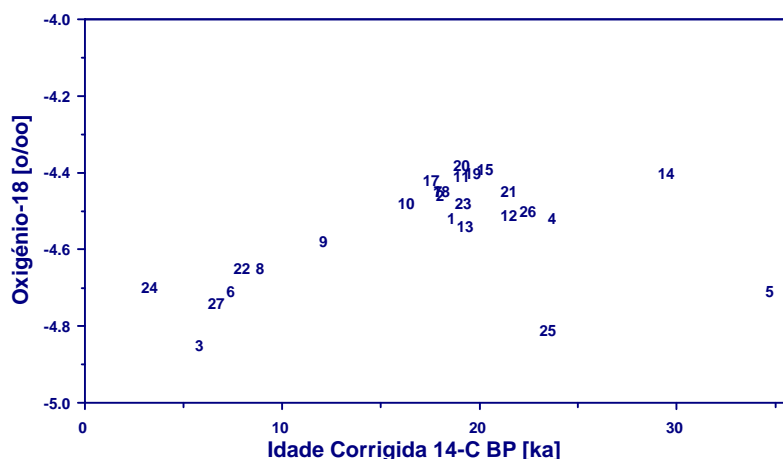


Figura 6 - Variação dos valores de $\delta^{18}\text{O}$ em função das idades aparentes da água subterrânea (sistema multiaquífero Cretácico de Aveiro).

Por outro lado, um enriquecimento em isótopos pesados em paleoáguas foi observado em aquíferos costeiros na África do Sul (VOGEL *et al.*, 1982), Florida (PLUMMER, 1993) e no Texas (STUTE, 1994). Admite-se que durante o último máximo glacial a composição isotópica do oceano estaria enriquecida em cerca de 1,3 a 1,6 ‰ em $\delta^{18}\text{O}$ e cerca de 10 ‰ em $\delta^2\text{H}$, por acumulação de gelo nas calotes polares. Assim, se um aquífero costeiro tivesse sido recarregado essencialmente pela precipitação originada no primeiro processo de condensação, em primeira instância, a água infiltrada irá reflectir as modificações isotópicas ocorridas no oceano, e não as variações de temperatura atmosférica induzidas por variações climáticas.

4.4 - Gases nobres como indicadores da temperatura ambiente na área de recarga de um sistema aquífero

A utilização dos teores em gases nobres como indicadores da temperatura ambiente na região (área de recarga de um aquífero), baseia-se na relação de dependência da solubilidade destes gases em função da temperatura, ou seja, os teores em He, Ne, Ar, Kr e Xe dissolvidos no sistema aquoso subterrâneo, caso não existam factores externos ao sistema, são função da temperatura média existente na área de recarga (zona não saturada) quando o equilíbrio água-ar atmosférico é alcançado.

Estudos efectuados em sistemas hídricos subterrâneos (águas datadas do Holocénico), através das concentrações em gases nobres foram obtidos valores de temperatura ambiente, sensivelmente iguais aos registados actualmente nessas regiões. Dada a proximidade destes valores (temperatura de gases nobres (TGN) e temperatura média anual), é possível estimar qual a “temperatura ambiente” existente na região a partir das concentrações em gases nobres dissolvidos, em águas antigas (ANDREWS, 1992; STUTE e SCHLOSSER, 1993).

Os valores de temperatura ambiental assim calculados, para um sistema aquífero com águas antigas, permitem colocar estes dados num contexto paleoclimático, quando em paralelo, se realiza uma datação das águas do sistema.

Procedeu-se à amostragem de água subterrânea para determinação do teor em gases nobres (He, Ne, Ar, Kr, e Xe) dissolvidos no sistema aquoso, em 15 furos que captam o sistema profundo e em 3 captações pertencentes ao sistema superficial. Os resultados obtidos apresentam-se na Quadro 1.

Os resultados obtidos nas amostras de água colhidas na região revelam uma diferença de 5 °C entre os dois grupos de amostras, ou seja, entre o grupo de amostras com idades holocénicas (sistema superficial e amostras de água do sistema profundo localizadas perto da área de recarga com idades corrigidas inferiores a 10 ka BP), as quais apresentam temperaturas que rondam os 14 °C, valor similar ao valor médio anual registado na região, e as amostras com idade corrigida de ^{14}C em torno de 18 ka BP (idade Plistocénica - período glacial), as quais apresentam valores médios de temperatura de 9 °C, o que indica um clima muito mais frio na região (Figura 6).

Os resultados obtidos nas determinações de gases nobres dissolvidos no sistema aquoso apoiam a hipótese formulada das paleoáguas de Aveiro serem de idade glacial (idade corrigida de ^{14}C de 18 ka BP) e do enriquecimento observado nas espécies isotópicas pesadas se dever ao enriquecimento da massa de água oceânica durante este período.

QUADRO 1
Temperatura em gases nobres

Furo	Idade Corrigida $\pm 2\sigma$ (ka)	T _{Ne} (°C)	T _{Ar} (°C)	T _{Kr} (°C)	T _{Xe} (°C)	T _{av} $\pm \sigma$ (°C)
1	18.7 \pm 3.5	8.3	7.7	9.1	8.3	8.3 \pm 0.6
2	18.1 \pm 5.6	9.2	8.8	9.7	9.1	9.2 \pm 0.4
3	5.9 \pm 2.4	14.2	13.5	14.9	14.1	14.2 \pm 0.6
4	23.8 \pm 3.7	9.0	8.3	9.9	8.8	9.0 \pm 0.7
5	34.8 \pm 6.2	9.3	8.8	10.0	9.2	9.3 \pm 0.5
6	7.5 \pm 2.4	13.2	12.4	14.2	12.9	13.2 \pm 0.7
8	9.0 \pm 2.7	11.3	10.7	12.0	11.2	11.3 \pm 0.5
9	12.2 \pm 3.1	10.0	9.3	10.9	9.8	10.0 \pm 0.7
10	16.4 \pm 2.9	10.4	9.9	11.0	10.3	10.4 \pm 0.5
11	19.2 \pm 3.1	9.4	8.8	10.2	9.3	9.4 \pm 0.6
12	21.6 \pm 3.4	8.8	8.0	9.7	8.7	8.8 \pm 0.7
13	19.4 \pm 3.8	8.5	8.1	9.1	8.4	8.5 \pm 0.5
14	29.6 \pm 4.0	8.5	8.1	9.0	8.5	8.5 \pm 0.4
18	18.2 \pm 3.1	9.6	9.0	10.4	9.4	9.6 \pm 0.6
27	6.8 \pm 2.4	14.2	13.7	15.1	13.9	14.2 \pm 0.6
Quat.	-	15.5	14.7	16.2	15.5	15.5 \pm 0.6
Quat.	-	14.1	13.3	14.9	14.1	14.1 \pm 0.7
Quat.	-	15.4	15.2	15.7	15.2	15.4 \pm 0.2

iv- as temperaturas médias obtidas através das análises de gases nobres dissolvidos nos sistemas subterrâneos indicam para as amostras com idades holocénicas (idades corrigidas de ^{14}C inferiores a 10 ka BP e amostras do sistema superficial com ^3H), temperaturas da ordem dos $14\text{ }^\circ\text{C}$, valor similar ao valor médio anual de temperatura registado na região. As amostras com idades corrigidas de ^{14}C em torno de 18 ka BP (idade Plistocénica - máximo glacial) apresentam valores médios de temperatura de $9\text{ }^\circ\text{C}$, indicando um clima muito mais frio na região durante esse período.

6 - AGRADECIMENTOS

P. Carreira agradece a Bolsa de Doutoramento à JNICT, Programa PRAXIS XXI.

7 - BIBLIOGRAFIA

- ANDREWS, J.N. - Mechanisms for noble gas dissolution by groundwaters, in Isotopes of Noble Gases as Tracers in Environmental Studies. International Atomic Energy Agency, Vienna, 1992, 87-110.
- ANDREWS, J.N. - Isotopic composition on groundwaters and palaeoclimate at aquifer recharge, in Isotope Techniques in the Study of Past and Current Environmental Changes in Hydrosphere. International Atomic Energy Agency, Vienna, 1993, 271-292.
- GONFIANTINI, R. - The δ -notation for expressing stable isotope ratio variations, in Stable Isotope Hydrology. Deuterium and Oxygen-18 in the Water Cycle. International Atomic Energy Agency. Technical Reports Series N^o 210, Vienna, 1981, 35-84.
- IAEA - Procedure and technique critique for tritium enrichment by electrolysis at the IAEA laboratory. International Atomic Energy Agency. Isotope Hydrology Laboratory, Technical Procedure Note 19, Vienna, 1976.
- IAEA - Sampling of water for ^{14}C analysis. International Atomic Energy Agency. Isotope Hydrology Laboratory. Vienna, 1981.
- IAEA - Environmental isotope data N^o 10: world survey of isotope concentration in precipitation (1988-1991). International Atomic Energy Agency. Technical Reports Series, N^o 371, Vienna, 1994.
- MARQUES da SILVA, M.A. - Hidrogeologia del sistema multiacuifero Cretacico del Bajo Vouga-Aveiro (Portugal). Tese de Doutoramento. Universidade de Barcelona, Faculdade de Geologia, 2 Vols., 1990, 436 pp.
- OLIVEIRA, T.I.F. - Capacidade de troca catiónica no Cretácico de Aveiro e sua influência no quimismo da água. Tese de Mestrado, Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro, 1997, 132pp.
- PLUMMER, L.N. - Stable isotope enrichment in paleowaters of the southeast Atlantic coastal plain, United States. Science, Vol. 262, 1993, 2016-2020.
- SOARES, A.M.M. - O efeito de reservatório oceânico nas águas costeiras de Portugal Continental. ICEN-LNETI, Sacavém, 1989.
- STUIVER, M.; POLACH, H.A. - Discussion. Reporting of ^{14}C data. Radiocarbon, Vol. 19, N^o 3, 1977.

- STUTE, M.; SCHLOSSER, P.; CLARK, J.F.; BROECKER, W.S. - Paleotemperatures in the southwestern United States derived from noble gases in groundwater. Science, Vol. 256, 1992, 1000-1003.
- STUTE, M.; SCHLOSSER, P. - Principles and applications of noble gas paleothermometer, in Climate Changes in Continental Records. Geophysical Monograph 78. American Geophysical Union, 1993, 89-100.
- STUTE, M.; FORSTER, M.; FRISCHKORN, H.; SEREJO, A.; CLARCK, J.F.; SCHLOSSER, P.; BROECKER, W.S.; BONANI, G. - Cooling of tropical Brazil (5 °C) during the last glacial maximum. Science, Vol. 269, 1995, 379-383.
- VOGEL, J.C.; TALMA, A.S.; HEATON, T.H.E. - The age and isotopic composition of groundwater in the Stampriet artesian Basin, SWA. Relatório Interno da National Physical Research Laboratory, Council of Scientific and Industrial Research, Pretória, 1982, 90 pp.