

ISOTÓPOS DE ^{14}C E ^4He NA DATAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO AQUÍFERO TUBARÃO, PORÇÃO LESTE DA BACIA DO PARANÁ NO ESTADO DE SÃO PAULO

Sibele Ezaki¹; Mara Akie Iritani¹; Didier Gastmans²; Marcia Regina Stradioto³; Chang Hung Kiang³

¹ Instituto Geológico, Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Rua Joaquim Távora, 822. São Paulo (SP). sibezaeki@sp.gov.br, mara.iritani@sp.gov.br

² Universidade Estadual Paulista-UNESP, Centro de Estudos Ambientais. Avenida 24-A, 1515 Rio Claro (SP). gastmans@rc.unesp.br

³ Universidade Estadual Paulista, IGCE, Laboratório de Estudos de Bacias. Avenida 24-A, 1515. Rio Claro (SP). marciastradioto@uol.com.br, chang@rc.unesp.br

Palavras-chave: Aquífero Tubarão, datação, gases nobres

INTRODUÇÃO

O uso e a gestão sustentável das águas subterrâneas, assim como sua interação com as águas superficiais, necessitam da avaliação quantitativa e qualitativa de aspectos hidrogeológicos de um aquífero e sua dinâmica associado ao uso de modelos hidrogeológicos conceituais que permitam a quantificação dos fluxos por meio de modelos numéricos. Recentemente, técnicas isotópicas, como a determinação das idades das águas subterrâneas, vêm sendo utilizadas no desenvolvimento e calibração de modelos numéricos de circulação de águas subterrâneas (Sanford *et al.*, 2011; Aggarwal, 2013, Molénat *et al.*, 2013).

Um grande número de isótopos pode ser usado para estimar as idades das águas subterrâneas, que podem variar de décadas a milhares de anos, cada qual com suas vantagens e desvantagens. Requisitos de amostragem de campo, limitações na aplicação de cada traçador, bem como os pressupostos e correções do modelo necessários para estimar as idades das águas subterrâneas, não são triviais, especialmente quando aplicadas em diferentes configurações hidrogeológicas (Aggarwal, 2013).

Este trabalho tem como proposta apresentar resultados de estimativas de tempos de residência o Aquífero Tubarão (AT), obtidos por duas técnicas de datação, sendo uma baseada em carbono-14 e outra, em hélio-4, além de temperaturas de recarga obtidas por outros gases nobres dissolvidos.

O Aquífero Tubarão na porção centro-leste do Estado de São Paulo constitui uma importante fonte de abastecimento de água subterrânea, para uso público e privado, embora seja considerado um aquífero de baixa produtividade, com vazões predominantemente inferiores a 10 m³/h (DAEE/IG/IPT/CPRM, 2005). Trata-se de um aquífero complexo dada sua heterogeneidade litológica e descontinuidade de camadas, tanto lateral como verticalmente, e por apresentar condições de confinamento e/ou semi-confinamento. Sofre pressões crescentes em função da demanda por recursos hídricos em importantes aglomerações urbanas, como na Região Metropolitana de Campinas, Sorocaba, Piracicaba etc.

Salienta-se, assim, a necessidade de aprofundar o conhecimento sobre a circulação das águas subterrâneas e avaliar a dinâmica e potencial de recarga deste aquífero, que podem auxiliar na avaliação e gestão do recurso.

Em função de sua natureza inerte, associada com sua solubilidade distinta e características isotópicas, fazem do hélio um gás nobre ideal para estudos hidrogeológicos. As concentrações dos isótopos de hélio (^3He e ^4He) em águas subterrâneas geralmente ultrapassam os valores esperados para a solubilidade desses gases em condições de equilíbrio, devido à produção em subsuperfície de ambos os isótopos, devido ao decaimento de séries radioativas de elementos presentes na matriz dos aquíferos. Por meio da determinação das taxas de acumulação *in situ* desses isótopos, é possível a determinação dos tempos de residência das águas subterrâneas em aquíferos (Kulongoski *et al.*, 2008).

A área de estudo (UTM 7490 kmN/285 kmE; 7410 kmN/218 kmE zona 23S) está localizada na região central do estado de São Paulo, abrangendo 16 municípios em 6.000 km². Nesta área, foram levantados cerca de 1900 poços tubulares produtivos (146 - abastecimento público; 630 - indústria). O volume estimado de água subterrânea explorada na área estudada é 60 x 10⁶ m³/ano, sendo 47% destinada ao uso industrial e 33% ao abastecimento público. A capacidade específica média destes poços é de 0,13 m³/h/m.

MÉTODOS

Os poços selecionados para amostragem foram preferencialmente aqueles destinados ao abastecimento público, em função do longo e contínuo período de bombeamento, por apresentarem elevadas profundidades (média de 300 m) e boas descrições litológicas.

As amostras de água subterrânea foram coletadas na saída do poço, após período de 5 a 10 minutos de bombeamento no período de maio a novembro de 2017 em 7 poços. Foram analisados *in situ* os parâmetros pH, condutividade elétrica, temperatura da água e alcalinidade. As amostras foram filtradas (acetato 0,45 µm), armazenadas em frascos de PEAD e mantidas à temperatura inferior a 4° C para encaminhamento aos laboratórios de análises hidroquímicas. As alcalinidades total e parcial foram determinadas por titulometria. Alíquotas para análise isotópica de ¹⁸O, ²H e radiocarbono foram coletadas e armazenadas em frasco de vidro âmbar e acondicionadas à temperatura ambiente.

As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Hidrogeologia e Hidroquímica, do IGCE-UNESP, Rio Claro, para determinação de cátions por ICP-AES (Al, Ba, Ca, Fe_{total}, Mg, Mn, Si) e cromatografia iônica (Na⁺, K⁺) e de ânions por cromatografia iônica (F⁻, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻). As análises isotópicas (δ²H e δ¹⁸O) foram realizadas no Laboratório de Isótopos Estáveis do Departamento de Geologia Aplicada (UNESP, Rio Claro), pela técnica de espectroscopia a laser. A análise da razão δ¹³C/¹⁴C e datação por radiocarbono foi efetuada no Environmental Isotope Laboratory, da Universidade de Waterloo, por AMS.

12 poços foram selecionados para amostragem de água em tubos de cobre, e estas encaminhadas para o Isotopic Hydrology Laboratory, em Viena, para extração dos gases (⁴He, ³He, Ne, Ar, Kr, Xe) e análise por Espectrômetro de massa (VG5400).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na área aflorante (área de recarga) do Aquífero Tubarão, a composição hidroquímica predominante é Na-HCO₃ (67%) e Ca-Mg-HCO₃ (30%), com ocorrências de águas Na-Cl e Na-SO₄ (DAEE, 1981, Campos, 1993). Ezaki *et al.* (2016) apresentaram a distribuição espacial destes tipos hidroquímicos de 49 amostras coletadas na mesma região estudada neste trabalho. Meng e Mainard (2001) obtiveram dados geoquímicos de águas subterrâneas de poços da Petrobrás, que atingiram águas profundas na porção confinada, variando de 400 a 4700 m de profundidade. Concentrações muito elevadas de sódio (0,4-25,0 g/L), cloreto (0,04 – 36,0 g/L) e sulfato (0,2 -8,7 g/L) foram encontradas.

Poucos são os estudos isotópicos (²H, ¹⁸O) efetuados na região, como os de Vidal (2002) e IG (2011, 2016) em escala regional, e locais como o de Diniz (1990) em Tietê-SP. Os valores de δ²H obtidos em 141 amostras do Aquífero Tubarão, incluindo as 7 amostras analisadas neste trabalho, variam de -63,5 ‰ a -39,7 ‰, e os valores de δ¹⁸O variam de -9,41 ‰ a -6,25‰.

As primeiras determinações de idades ¹⁴C para águas subterrâneas do Aquífero Tubarão foram apresentadas por IG (2016) e Ezaki *et al.* (2016). O conjunto total de dados de informações de radiocarbono (32 amostras, incluídas as 7 deste trabalho) mostrou um pmC variando de 0,39 (44ky) a 79,96 (1,8 ky). Na porção central da área, que abrange os municípios de Monte Mor, Elias Fausto, Capivari e Mombuca, ocorrem idades estimadas mais antigas de água, seguidas pela área sul, em Porto Feliz e Tietê. Ao norte, ocorrem idades em geral mais jovens, podendo estar relacionada a uma interferência dos corpos de diabásio.

Os resultados de Hélio-4 foram obtidos para 10 amostras e variaram de $1.51E-05$ a $7.64E-08$ $\text{cm}^3\text{STP/g}$ (Figura 1).

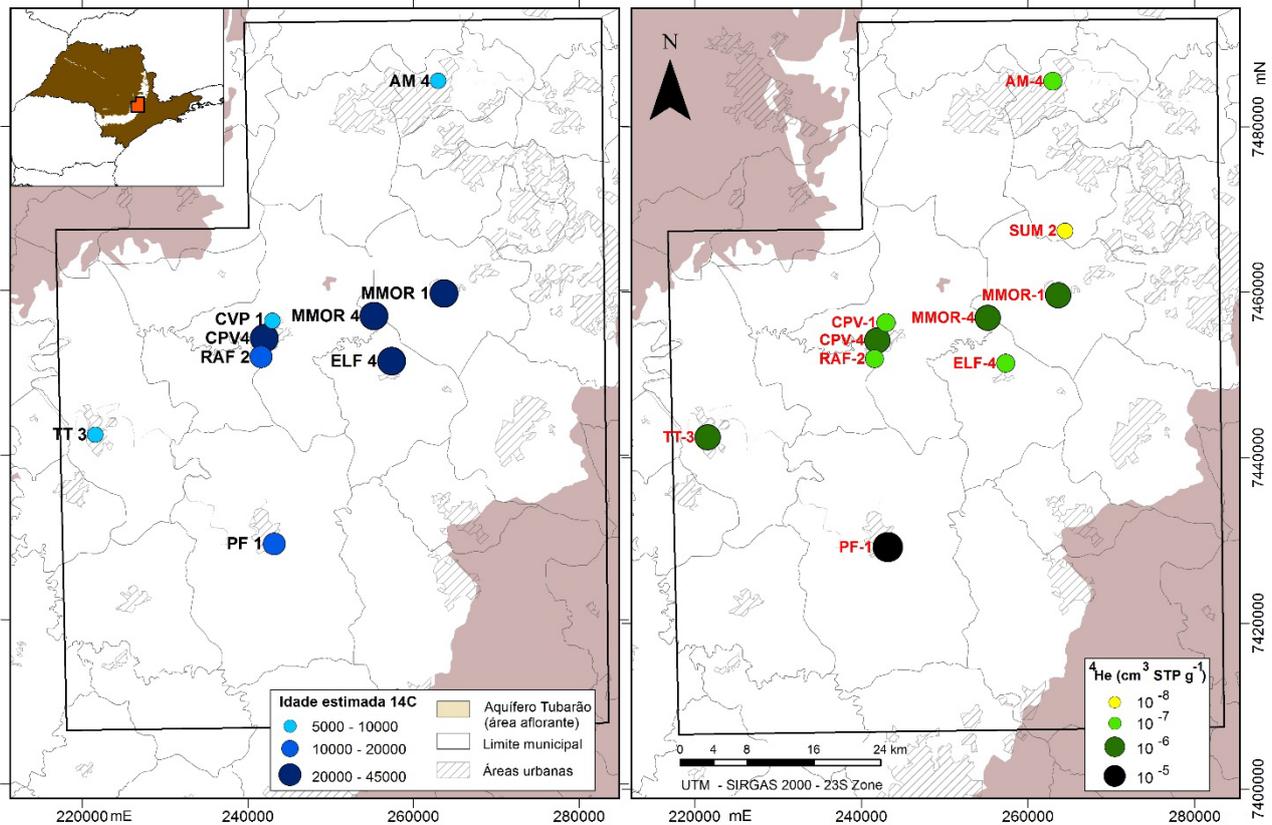


Figura 1. Amostras de poços datadas com ^{14}C e ^4He .

Estes dados demonstram um enriquecimento em ^4He (origem crustal) nestas águas associado ao aumento nas concentrações de $\text{He}(t)$, portanto nas águas mais antigas. Na correlação entre $^3\text{He}/^4\text{He}$ e Ne/He , constata-se que a amostra de Sumaré (SUM-2) está associada a uma contribuição atmosférica (recarga), enquanto a contribuição crustal é observada nas amostras de água mais antigas (MMOR-1, MMOR-4, ELF-4, PF-1).

O diagrama $^3\text{He}/^4\text{He}$ e pmC indica boa correlação entre as idades obtidas pelos dois métodos (Figura 2a). A temperatura dos gases nobres variou de $15,90$ a $20,48$ $^{\circ}\text{C}$ (Figura 2b), indicando que a recarga ocorreu em períodos com clima não muito distinto do atual.

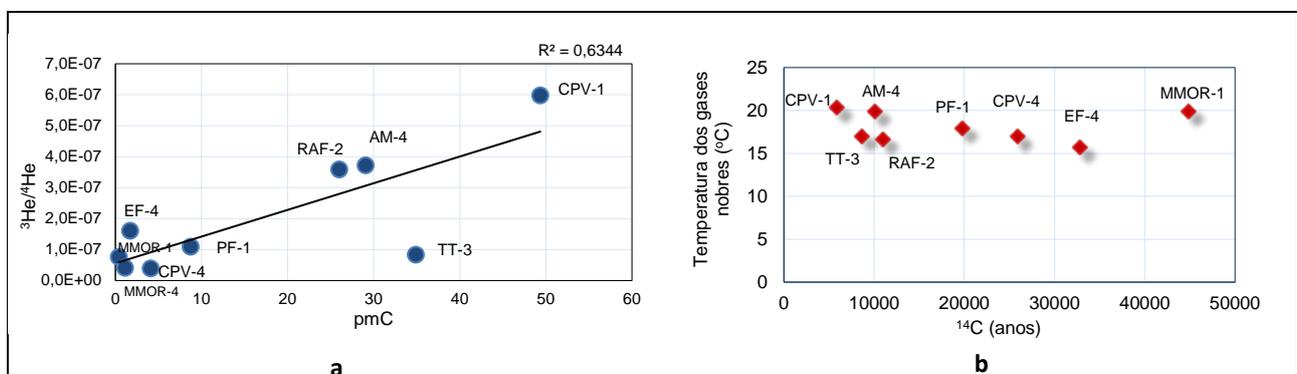


Figura 2. Correlação entre $^3\text{He}/^4\text{He}$ e pmC (a) e relação entre temperatura de gases nobres e idade estimada das águas (b).

REFERÊNCIAS

- AGGARWAL, P.K. Introduction (Chapter 1), in Isotope methods for dating old groundwater. Edited by International Atomic Energy Agency, pp. 1-4. 2013.
- CAMPOS, H.C.N.S. Caracterização e cartografia das províncias hidrogeoquímicas do Estado de São Paulo. São Paulo, 177p. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 1993.
- DAEE – DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Estudo de Águas Subterrâneas. Região Administrativa 5. Campinas. São Paulo, DAEE, 2 v. 1981.
- DAEE – DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Estudo de Águas Subterrâneas. Região Administrativa 4. Sorocaba. São Paulo, DAEE, 2 v. 1982.
- DAEE/IG/IPT/CPRM. Mapa de Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo. Escala 1:1.000.000. Nota explicativa. São Paulo. São Paulo: DAEE-Departamento de Águas e Energia Elétrica, IG- Instituto Geológico, IPT-Instituto de Pesquisas Tecnológicas, CPRM-Serviço Geológico do Brasil, 3 v. (mapa e CD-ROM). 2005.
- DINIZ, H.N. Estudo hidrogeológico do Subgrupo Itararé no médio rio Tietê, município de Tietê, SP. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 118 p. 1990.
- EZAKI, S.; IRITANI, M.A.; ODA, G.H.; GASTMANS, D.; YOSHINAGA, S. Estudo hidroquímico e isotópico das águas subterrâneas na porção central do Aquífero Tubarão, estado de São Paulo – Resultados preliminares. *In: ABAS, CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS*, 19. Campinas, Anais.14p. 2016.
- KULONSKI, J.T.; HILTON, D.R.; CRESSWELL, R.G.; HOSTETIER, S.; JACOBSON, G. Helium-4 characteristics of groundwaters from Central Australia: Comparative chronology with chlorine-36 and carbon-14 dating techniques. *J Hydrol.*, v. 348, p. 176-194. 2008.
- MENG, S.X.; MAYNARD, J.B. Use of statistical analysis to formulate conceptual models of geochemical behavior: water chemical data from the Botucatu aquifer in São Paulo State, Brazil. *J Hydrol.*, v. 250, p. 78-97. 2001.
- MOLÉNAT, J.; GASCUEL-ODOUX, C.; AQUILINA, L.; RUIZ L. Use of gaseous tracers (CFCs and SF6) and transit-time distribution spectrum to validate a shallow groundwater transport model, *Journal of Hydrology*, v. 480, p. 1–9, 2013.
- IG – INSTITUTO GEOLÓGICO. Identificação de áreas potenciais de restrição e controle de captação e uso das águas subterrâneas na porção sul da UGRHI05 – Projeto ARC-TUB1. Relatório Técnico – São Paulo: SMA /IG. 2011.
- IG – INSTITUTO GEOLÓGICO. Circulação das águas subterrâneas e mecanismo de recarga do Sistema Aquífero Tubarão na porção centro-leste do Estado de São Paulo. Relatório Final – São Paulo: SMA /IG. 2011, 1 vol. 2016.
- SANFORD, W. Calibration of models using groundwater age. *Hydrogeol J*, v. 19, n 1, p. 13–16, 2011;
- VIDAL, A.C. Estudo hidrogeológico do aquífero Tubarão na área de afloramento da porção central do Estado de São Paulo. Tese de Doutorado, IGCE-UNESP, Rio Claro, 122 p. 2002.

AGRADECIMENTOS

À Agência Internacional de Energia Atômica pelo auxílio à pesquisa.