



Determinação das concentrações de atividade de ^{234}U e ^{238}U em águas subterrâneas de três poços perfurados em rochas da Suíte Intrusiva de Itu (SP)

F. Souza, R.K. Kawauchi & L.S. Marques

Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas – Departamento de Geofísica - Universidade de São Paulo - Rua do Matão, 1226 - 05508-090 São Paulo, SP, francisca@iag.usp.br.

Abstract Activity concentrations of (^{234}U) and (^{238}U) were determined in groundwaters drawn from three deep wells drilled in rocks from Itu Intrusive Suite (SP), two located in Salto (S and SY wells) town and the other one in Itu (I well). For those determinations alpha spectrometry technique was used, providing high precision results. The waters from the three wells presented a considerable enrichment of ^{234}U in relation to ^{238}U , indicating an important radioactive disequilibrium of these isotopes. In I well, the activity concentrations of (^{238}U) varied from (1.06 ± 0.03) to (2.1 ± 0.2) mBq/L and those of (^{234}U) spanned from (3.1 ± 0.2) to (6.0 ± 0.4) mBq/L, whereas ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$) activity ratios did not present significant variation, presenting an average of (2.8 ± 0.1) . The S waters showed the lowest uranium concentrations and the largest diversity of (^{238}U) and (^{234}U) activity concentrations, which varied from (0.26 ± 0.02) to (1.07 ± 0.08) mBq/L and from (1.8 ± 0.1) to (7.0 ± 0.5) mBq/L, respectively, and also presented variable ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$) activity ratios, spanning from (2.79 ± 0.07) to (8.1 ± 0.3) . In SY well, (^{238}U) activities varied between (0.8 ± 0.1) and (4.2 ± 0.3) mBq/L and those ones of (^{234}U) from (14 ± 1) to (53 ± 4) mBq/L, whereas ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$) ratios fell in the interval from (12.6 ± 0.3) to (18.3 ± 0.4) . The observed correlation between ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$) activity ratios and uranium concentrations, for S and SY wells, showed complex and distinct recharging processes.

Keywords: uranium, alpha spectrometry, groundwater.

INTRODUÇÃO Geralmente os isótopos ^{234}U e ^{238}U encontram-se em desequilíbrio radioativo nas águas superficiais e subterrâneas, onde a razão de atividades ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$) varia desde 0,6 até valores superiores a 30 (Ivanovich & Murray 1992). O desequilíbrio decorre da interação rocha-água e do processo de recuo sofrido pelo núcleo emissor alfa, com o deslocamento do ^{234}U para fora do mineral, que resultam em razões de atividade superiores à unidade. Dessa forma, a quantificação do desequilíbrio radioativo, entre os isótopos ^{234}U e ^{238}U , tem sido uma ferramenta muito utilizada para a investigação da dinâmica desses elementos químicos no processo de interação rocha-água.

Nesse trabalho encontram-se apresentados os resultados obtidos na determinação das razões e concentrações de atividade de urânio, contidas em solução, de águas subterrâneas extraídas de poços semi-artesianos perfurados em rochas fraturadas da Suíte Intrusiva de Itu (SP). Foram analisadas águas subterrâneas de três poços, pertencentes a particulares, sendo dois deles localizados no Município de Salto (S e SY; $23^{\circ}10' \text{ S}$, $47^{\circ}16' \text{ W}$) e o outro localizado no Município de Itu (I; $23^{\circ}15' \text{ S}$, $47^{\circ}17' \text{ W}$). O poço de Itu perfura rochas intrusivas da Suíte de Itu (Granito Salto) em toda a sua extensão, enquanto os poços de Salto perfuram na parte inferior granitóides da Suíte de Itu, porém cortam na parte superior rochas do Supergrupo Tubarão da Bacia do Paraná.

O método utilizado neste estudo foi a espectrometria alfa, que permite determinar tanto a concentração de urânio, como as ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$), com elevados níveis de precisão e exatidão (Ivanovich & Murray 1992, Reyes 2004, Santos *et al.* 2002).

Este estudo, inédito na literatura, apresenta os primeiros resultados sobre a dinâmica (mobilização, transporte e precipitação) do urânio nesse aquífero fraturado, bem como suas possíveis causas. Ênfase também é dada à investigação do abastecimento recente desse sistema pela contribuição de águas meteóricas.

A SUÍTE INTRUSIVA DE ITU A Suíte Intrusiva de Itu, cujas rochas fraturadas constituem um importante reservatório de águas subterrâneas, amplamente utilizado para finalidades domésticas e industriais, possui uma área de aproximadamente 400 km² e abrange os municípios de Itu, Itupeva, Salto e Indaiatuba. Os granitóides de Itu são geralmente de coloração róseo-avermelhada, sendo representados essencialmente por monzogranitos, sienogranitos e álcali-feldspato granitos, com idade de (590 ± 10) Ma. as rochas encaixantes são predominantemente orto e para-gnaisses, (com intercalações de xistos, quartzitos, anfíbolitos e granulitos básicos), agrupados no Complexo Piracaia, considerado como do Mesoproterozóico, com migmatização superposta do Neoproterozóico. Em sua maioria, as rochas são



leucocráticas, com coloração variando de rosada/avermelhada, e em menor parte, cinza claro a escuro, correspondendo aos corpos graníticos de menores dimensões (Pascholati 1990).

A suíte é composta por quatro corpos graníticos, os quais foram denominados de Granito Salto, Granito Fazenda Santa Cruz, Granito Fazenda Japão e Granito Itupeva (Pascholati 1990). Uma outra unidade de mapeamento, com características que não se enquadram em nenhum dos quatro grupos anteriores, foi denominado de suíte indiferenciada.

Na região existem vários poços perfurados para a extração de água, os quais estão catalogados no Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE). Alguns desses poços comprovadamente cortam espessuras significativas de rochas graníticas, embora alguns deles seccionem também segmentos de granitos em forte estágio de alteração e rochas sedimentares do Supergrupo Tubarão da Bacia do Paraná.

METODOLOGIA E DESCRIÇÃO EXPERIMENTAL Coleta e processamento químico

Os galões para a coleta das águas foram previamente lavados e em seguida acidificados com ácido nítrico diluído por 24 horas. Foram coletados de 50 a 100 L de água de cada poço e efetuadas medidas do pH, Eh e da temperatura no instante da coleta.

Após a coleta, as amostras passaram pelo processo de filtração no laboratório para eliminar o material particulado e colóides. Em uma primeira etapa, realizou-se uma pré-filtração com filtro AP20 (porosidade de 0,8 a 8 µm) para retirar a matéria em suspensão. Em seguida, foi realizada uma nova filtração, com um filtro de membrana com 0,45 µm de poro, para retirada das possíveis partículas coloidais. Ambas as etapas de filtração foram realizadas a vácuo.

Terminada a filtração, as amostras foram acidificadas, com ácido nítrico concentrado, até a obtenção de pH por volta de 2. Depois, cada alíquota de 20 L de água foi evaporada até cerca de 1 L. A seguir a água passou por um tratamento químico para a determinação da concentração de urânio dissolvido, como também das atividades específicas dos radioisótopos ^{234}U e ^{238}U , utilizando-se a técnica de espectrometria alfa. Entretanto, essa metodologia requer um elevado grau de purificação química, visando à separação dos isótopos emissores alfa de outros elementos presentes.

Para a realização do processamento químico, cada alíquota de 1L foi dividida em duas partes, com volumes aproximadamente iguais, e em cada uma delas foi acrescentada uma quantidade conhecida do traçador ^{232}U , bem como carregador de ferro (FeCl_3).

Por meio da adição de hidróxido de amônio, urânio e tório são co-precipitados com os hidróxidos de Fe e Al formados. O precipitado permaneceu em repouso por uma noite.

No dia seguinte, o material precipitado passou por um processo de filtração e a seguir, foi solubilizado utilizando-se HCl 9N, que dissolve os hidróxidos formados contendo urânio e tório. A solução obtida foi evaporada até a secura e retomada novamente em 40 mL de HCl 9N, a qual foi utilizada na etapa cromatográfica de troca iônica, para a separação do urânio.

A separação e purificação do urânio foram efetuadas percolando-se a solução em uma coluna de vidro de 10 cm de comprimento e 15 cm de diâmetro preenchida com resina aniônica AG 1-X8 (100-200 mesh) e pré-condicionada com 40 mL de HCl 9N. Nessa condição, U e Fe ficam retidos na resina. A coluna então é lavada por três vezes consecutivas com 10 mL de HCl 9N e o Fe, que é um forte interferente no processo de eletrodeposição, é eluído com 40 mL de HNO_3 8N. A seguir, o U retido na resina é eluído com 100 mL de HCl 0,1N.

Eletrodeposição e contagem alfa No procedimento utilizado para a eletrodeposição do U, a solução contendo U foi evaporada até quase a secura e recuperada em 1 mL de solução de Na_2SO_4 0,3M. Essa solução foi, então, evaporada à secura e o resíduo foi dissolvido com 0,3 mL de H_2SO_4 concentrado. Feito isto, foi acrescentado 5 mL de água destilada e duas gotas de azul de timol à solução. Essa solução foi, então, aquecida e o seu pH, ajustado para um valor entre 2,1 e 2,4, acrescentando-se algumas gotas de NH_4OH concentrado (Hallstadius 1984). A seguir, a solução final foi transferida para a célula de eletrodeposição e o U foi eletrodepositado em disco de aço inoxidável de diâmetro 25 mm e espessura 0,5 mm, polido especularmente. A eletrólise foi efetuada por uma hora, sob uma densidade de corrente de 1,2 A/cm², sendo que um minuto antes de desligar a fonte de tensão, adicionou-se 1 mL de NH_4OH concentrado para a fixação do depósito. A fonte alfa obtida foi, então, lavada com água destilada e acetona, sendo em seguida, seca sob luz por 20 minutos (Saiki 1988; Vasconcellos *et al.* 1987).

Como o Fe é um forte interferente na eletrodeposição e como algumas amostras ainda apresentavam uma coloração levemente amarelada mesmo após a separação cromatográfica, nessas amostras houve a necessidade de repurificação do U, ou seja, o processo de percolação da solução pela resina foi repetido. Portanto, a solução obtida na eluição da etapa cromatográfica foi evaporada a secura, recuperada em HCl 9N, e novamente

percolada na resina, mas utilizando-se 30 mL de HNO_3 8N (ao invés de 40 mL) para evitar perdas de U quando o Fe é eluído.

As fontes radioativas obtidas foram submetidas à contagem em um espectrômetro alfa, para a determinação da atividade de urânio e das razões de atividades ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$). A resolução dos espectrômetros utilizados é de $(18,0 \pm 0,1)$ keV para o pico do ^{238}U e $(13,4 \pm 0,1)$ keV para o pico do ^{234}U , enquanto a média das eficiências absolutas correspondentes às energias dos picos do ^{234}U (4,84 MeV) e ^{238}U (4,25 MeV) é de $(38 \pm 1)\%$ para energias entre e. A duração das contagens dependeu das atividades dos radioisótopos de urânio, sendo necessárias contagens em torno de 3 dias para Itu (I) e Salto Y (SY) e 5 dias para Salto (S), para acumular pelo menos 1000 contagens no pico de menor atividade, garantindo-se assim uma boa estatística de contagem, com um erro de aproximadamente 3% na medida.

RESULTADOS E DISCUSSÃO Foram analisadas 36 amostras e 23 duplicatas, que apresentam concordância, mostrando que o processamento químico e a análise dos dados estão adequados. Os espectros alfa obtidos apresentam boa resolução (Fig. 1), indicando que os elementos interferentes (radioativos ou não) foram devidamente eliminados durante as etapas de processamento químico realizadas.

O método mostrou-se também satisfatório para a extração química de urânio, uma vez que o rendimento médio foi de $(56 \pm 20)\%$, variando de $(31 \pm 1)\%$ a $(96 \pm 4)\%$, os quais são concordantes com os valores da literatura, para a análise desse mesmo tipo de matriz e empregando-se a mesma técnica analítica (Osmond & Cowart 1992, Reyes 2004).

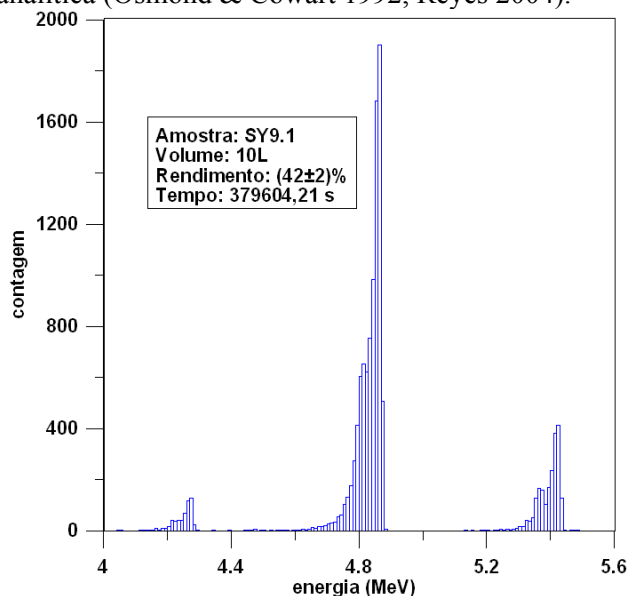


Figura 1. Espectro alfa de uma amostra de água

A Fig. 2 mostra a variação das concentrações de atividade (U) de ^{238}U e da ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$) em função do período de amostragem para as águas dos poços I, S e SY, respectivamente. Os resultados obtidos mostram que as águas de cada poço possuem características distintas, embora todas elas mostrem desequilíbrio radioativo entre esses dois radioisótopos.

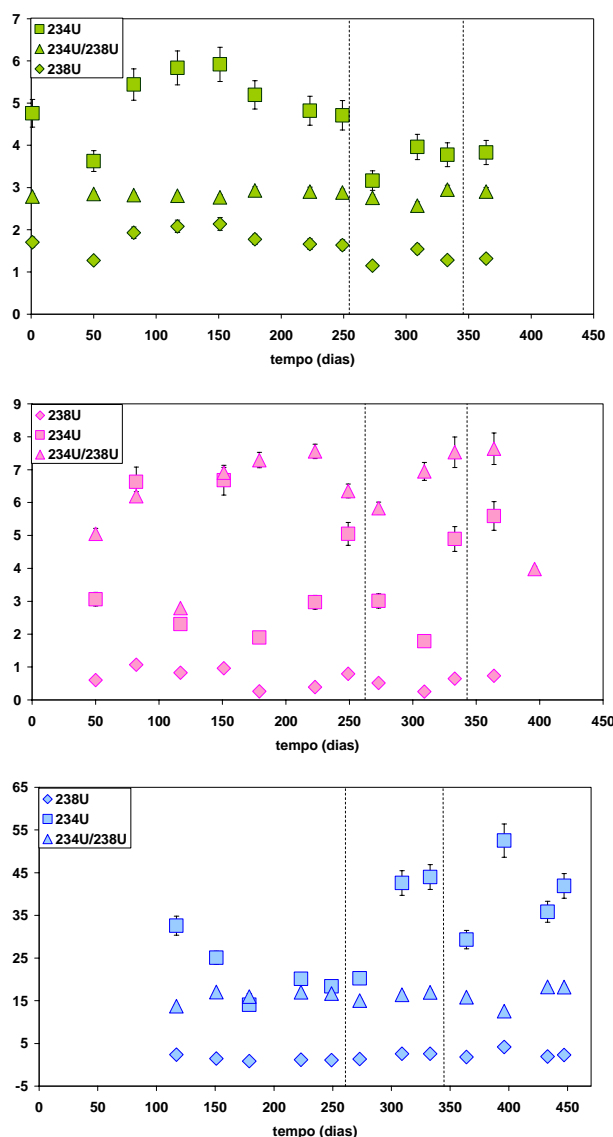


Figura 2. (^{238}U) (mBq/L), (^{234}U) (mBq/L) e ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$) em função do tempo das águas dos poços I, S e SY, respectivamente

O poço I foi o que apresentou a menor variação nas concentrações de atividade dos isótopos de urânio durante o período de amostragem. As (^{238}U) variaram de $(1,06 \pm 0,03)$ a $(2,1 \pm 0,2)$ mBq/L (média = $(1,6 \pm 0,3)$ mBq/L), já as (^{234}U) se situaram entre $(3,1 \pm 0,2)$ e $(6,0 \pm 0,4)$ mBq/L (média = $(4,6 \pm 0,9)$ mBq/L). As maiores atividades de ambos os radioisótopos foram registradas nos meses de estiagem e as menores na época de chuva. As ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$) variaram de $(2,6 \pm 0,3)$

a ($3,0 \pm 0,2$), cujos valores são iguais considerando-se as incertezas analíticas, o que demonstra que essas razões foram constantes no período. As águas desse poço apresentaram as razões de atividades (média = $2,8 \pm 0,1$) de menor magnitude dentre as investigadas neste trabalho.

As águas do poço S são caracterizadas pelas menores concentrações de atividade de ambos os radioisótopos. As (^{238}U) variaram de ($0,26 \pm 0,02$) a ($1,07 \pm 0,08$) mBq/L (média = ($0,6 \pm 0,3$) mBq/L), com uma tendência dos menores valores serem registrados no período de maior estiagem. As (^{234}U) se situaram no intervalo entre ($1,8 \pm 0,1$) e ($7,0 \pm 0,5$) mBq/L (média = (4 ± 2) mBq/L, apresentando um comportamento bem irregular ao longo do tempo, resultando em ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$) também irregulares e com variação bem significativa, as quais se situaram entre ($2,79 \pm 0,07$) e ($8,1 \pm 0,3$), com média (6 ± 2). Entretanto, a última coleta realizada nesse poço (S12) apresentou resultados anormalmente altos para as concentrações de atividade de ambos os isótopos (^{238}U = (19 ± 2) mBq/L; ^{234}U = (75 ± 6) mBq/L), os quais não foram considerados nesses cálculos. Como os resultados foram também confirmados na análise da duplicata, acredita-se que ocorreu algum tipo de contaminação na coleta, filtração ou na evaporação da amostra, já que a partir dessa etapa as duas alíquotas foram completamente separadas para o processamento radioquímico.

As águas do poço SY, por outro lado, são as que apresentam as maiores (^{234}U), as quais variaram significativamente no período de amostragem, situando-se entre (14 ± 1) e (53 ± 4) mBq/L, cuja média foi de (31 ± 12) mBq/L, com os maiores valores registrados no período de seca. As (^{238}U) também variaram no período, apresentando o mesmo tipo de comportamento observado para o ^{234}U , com valores entre ($0,8 \pm 0,1$) e ($4,2 \pm 0,3$) mBq/L e média ($2,0 \pm 0,9$) mBq/L. Dessa forma, as razões ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$) apresentaram uma variação relativamente pequena, com média (16 ± 2) (intervalo de $12,6 \pm 0,3$ a $18,3 \pm 0,4$), que mostra que as águas desse poço são as que exibem o mais forte desequilíbrio radioativo entre os isótopos de urânio. Razões de atividade acima de 12, como as desse poço, não são frequentemente verificadas em águas subterrâneas (Osmond & Cowart 1992).

Os dados obtidos nos poços I e SY, cujas águas são predominantemente provenientes do granito fraturado, podem ser explicados pelos seus diferentes estados de oxidação, já que as concentrações de atividade do ^{238}U nas águas de I (ambiente de transição) são menores do que as de SY (oxidantes). Nota-se também, que as águas do poço I são as que possuem a menor razão de atividades ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$), uma vez que o estado de

oxidação não favorece a solubilização do ^{234}U e nem forte lixiviação de urânio da rocha hospedeira, sendo o desequilíbrio observado causado principalmente pelo processo de recuo alfa. Além disso, as águas desse poço mostraram um aumento nas concentrações de atividade de ^{238}U e principalmente de ^{234}U na época de maior pluviosidade (Fig. 3).

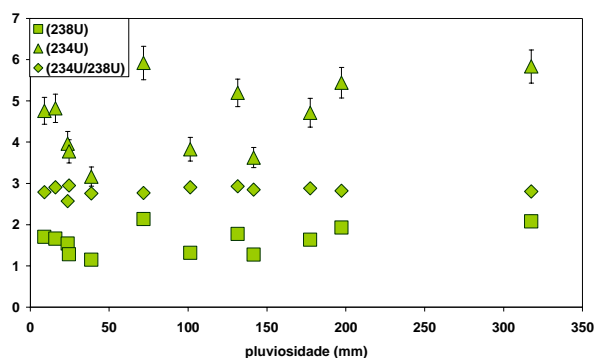


Figura 3. (^{238}U) (mBq/L), (^{234}U) (mBq/L) e ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$) em função da pluviosidade mensal das águas do poço I

Mesmo nesse ambiente pouco favorável para a dissolução de urânio nas águas do poço I, observa-se que as concentrações de urânio são ainda significativas, variando de ($0,19 \pm 0,01$) a ($0,35 \pm 0,02$) ng/g. Entretanto, deve ser destacado que esse poço perfura o Granito Salto da Suíte Intrusiva de Itu, que de acordo com Pascholati (1990) possui concentrações de urânio, cuja média é de $4,3 \mu\text{g/g}$.

Os granitos da Suíte Intrusiva de Itu não afloram no local onde foram perfurados os poços S e SY, sendo cobertos pelas rochas sedimentares do Supergrupo Tubarão da Bacia do Paraná. O comportamento de urânio em SY, que é internamente revestido até atingir uma profundidade considerável dentro do corpo granítico, é compatível com o estado oxidante das suas águas. Devido a essas condições, a lixiviação de urânio foi maior (variando de ($0,14 \pm 0,01$) a ($0,42 \pm 0,03$) ng/g), com forte aumento das (^{234}U), que provocaram desequilíbrios radioativos muito maiores do que os do poço I.

Embora as águas de S e SY sejam oxidantes e possuam parâmetros físico-químicos similares, as (^{234}U) e (^{238}U) são nitidamente distintas, como também as ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$). Essas diferenças são causadas pela contribuição de água subterrânea do aquífero sedimentar, provavelmente muito empobrecido em urânio, já que as águas de S possuem concentrações que variaram entre ($0,032 \pm 0,002$) e ($0,16 \pm 0,01$) ng/g, as quais são muito mais baixas que as de SY, situado a apenas 400 m de distância. Além das menores valores de (^{234}U) e (^{238}U), observa-se um



desequilíbrio bem menor do que o verificado em SY, muito embora seja ainda bastante elevado.

CONCLUSÕES

1) Utilizou-se a técnica da espectrometria alfa para a determinação das (^{234}U) e (^{238}U). O procedimento químico foi eficiente, de modo que foram obtidas fontes suficientemente finas, garantindo a obtenção de resultados confiáveis e seguros, com espectros de boa resolução.

2) Foram analisadas 59 amostras, sendo 12 de cada um dos poços e mais 23 duplicatas. O método mostrou-se satisfatório para a extração química de urânio, com rendimento médio (56 ± 20)%, cuja variação situou-se entre (31 ± 1)% e (96 ± 4)%.

3) Os valores obtidos nas análises de duplicatas mostram concordância muito boa para as (^{234}U) e (^{238}U), como também para as ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$). Das 23 amostras analisadas em duplicata, 20 mostraram igualdade estatística, considerando-se incertezas de 1σ , o que demonstra a ótima reprodutibilidade da técnica, conforme as condições experimentais adotadas, mesmo para concentrações de urânio relativamente baixas, como as de algumas amostras investigadas neste trabalho.

4) O poço I é o que apresentou a menor variação nas concentrações de atividade dos isótopos de urânio durante o período de amostragem. As atividades de (^{238}U) variaram de ($1,06 \pm 0,03$) a ($2,1 \pm 0,2$) mBq/L (média = ($1,6 \pm 0,3$) mBq/L), já as de (^{234}U) se situaram entre ($3,1 \pm 0,2$) e ($6,0 \pm 0,4$) mBq/L (média = ($4,6 \pm 0,9$) mBq/L). As maiores concentrações de atividades de ambos os radioisótopos foram registradas nos meses de estiagem e as menores na época de chuva. As ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$) variaram de $2,6 \pm 0,3$ a $3,0 \pm 0,2$, cujos valores são iguais considerando-se as incertezas analíticas, o que demonstra que essas razões foram constantes no período. As águas desse poço apresentaram razões de atividades (média = 2,8

$\pm 0,1$), que são as de menor magnitude dentre as investigadas neste trabalho.

5) As águas do poço S são caracterizadas pelas menores concentrações de atividade de ambos os radioisótopos. As (^{238}U) variaram de ($0,26 \pm 0,02$) a ($1,07 \pm 0,08$) mBq/L (média = ($0,6 \pm 0,3$) mBq/L), com uma tendência dos menores valores serem registrados nos período de maior estiagem. As (^{234}U) se situaram no intervalo entre ($1,8 \pm 0,1$) e ($7,0 \pm 0,5$) mBq/L (média = (4 ± 2) mBq/L, apresentando um comportamento bem irregular ao longo do tempo, resultando em ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$) também irregulares e com variação bem significativa, situando-se entre ($2,79 \pm 0,07$) e ($8,1 \pm 0,3$), com média = 6 ± 2 .

6) As águas do poço SY são as que apresentam as maiores concentrações de atividade de (^{234}U), as quais variaram significativamente no período de amostragem, situando-se entre (14 ± 1) e (53 ± 4) mBq/L, cuja média foi de (31 ± 12) mBq/L, com os maiores valores registrados no período de seca. As atividades de (^{238}U) também variaram no período, apresentando o mesmo tipo de comportamento observado para o (^{234}U), com valores entre ($0,8 \pm 0,1$) e ($4,2 \pm 0,3$) mBq/L e média ($2,0 \pm 0,9$) mBq/L. Dessa forma, as razões ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$) apresentaram uma variação relativamente pequena, com média de 16 ± 2 (intervalo de $12,6 \pm 0,3$ a $18,3 \pm 0,4$). Desequilíbrios radioativos tão altos não são freqüentemente observados em águas subterrâneas.

7) As águas do poço I apresentam concentrações de urânio variando de ($0,19 \pm 0,01$) a ($0,35 \pm 0,02$) ng/g. As do poço SY variaram entre ($0,14 \pm 0,01$) a ($0,42 \pm 0,03$) ng/g. Em S, as concentrações que variaram entre ($0,032 \pm 0,002$) e ($0,16 \pm 0,01$) ng/g. As concentrações de urânio estão muito abaixo do limite máximo permitido para águas potáveis (20 µg/L) (Ministério da Saúde 2000).

Agradecimentos À FAPESP pela bolsa e projeto de pesquisa (processos: 03/10305-1 e 03/117930).

Referências

- HALLSTADIUS L. 1984. A method for the electrodeposition of actinides. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, **223**: pp.226-227.
- IVANOVICH M. & MURRAY A. 1992. Spectroscopic methods. In: Ivanovich, M & Harmon, R. S. *Uranium series disequilibrium: Applications to Earth, Marine and Environmental Sciences*. 2º Ed., Oxford, Claredoa Press, 910p.
- OSMOND J.K. & COWARD J.B. 1992. Ground Water. In: IVANOVICH M. & HARMOSN R.S. *Uranium series disequilibrium: Applications to Earth, Marine and Environmental Sciences*. 2º Ed., Oxford, Claredon Press, 910p.
- PASCHOLATI E.M. 1990. *Caracterização geofísica da suíte intrusiva de Itu*, Tese de doutorado, IAG-USP, 135p.
- REYES E. 2004. *Determinação dos radioisótopos ^{238}U , ^{234}U , ^{226}Ra e ^{228}Ra em águas subterrâneas de poços perfurados nos granitóides de Morungaba em Valinhos (SP)*, Dissertação de mestrado, IAG-USP, 94p.
- SAIKI M. 1988. Determination of $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ and $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ isotopic ratios by alpha spectrometry. *Série Publicação IPEN*, **240**: 1-12.
- SANTOS R.N. dos, MARQUES L.S., RIBEIRO F.B. Determination of uranium concentrations and activity ratios in silicates by alpha spectrometry: application to



XLIII Congresso Brasileiro de Geologia
Aracaju, 3 a 8 de setembro de 2006

the volcanic rocks from the Trindade and Martin Vaz Islands (Brazil). *Applied Radiation and Isotopes*, **56**(5), pp.741-750. (2002).

VASCONCELLOS M.B.A., ARMELIN M.J.A.,
FIGUEIREDO A.M.G., MAZZILLI B.P., SAIKI M.

1987. A comparative study of some nuclear methods for $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ isotopic ratio determination. *Journal of Radioanalytical Nucl. Chem.*, Articles, **113**: pp. 357-370.