

Capítulo 6

Considerações Finais

A metodologia utilizada para a quantificação dos radioisótopos de U nas águas subterrâneas apresentou resultados satisfatórios. A amostragem ocorreu na Suíte Intrusiva de Itu, em dois poços na cidade de Salto e um em Itu. A coleta foi iniciada em setembro de 2004 e concluída em dezembro de 2005, com a realização de doze amostragens em cada poço, em intervalos de cerca de 30 dias, e nas quais foram feitas medidas de parâmetros físico-químicos *in situ*, como pH, Eh e temperatura.

Os principais resultados obtidos nesta pesquisa estão sintetizados a seguir:

- a. Utilizou-se a técnica da espectrometria alfa para a determinação das concentrações de atividades dos radioisótopos ^{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.
 - b. 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 $(56\pm 20)\%$, cuja variação situou-se entre $(31\pm 1)\%$ e $(96 \pm 4)\%$.
 - c. Os valores obtidos nas análises de duplicatas mostram concordância muito boa para as concentrações de atividade do (^{234}U) e (^{238}U) , como também para as razões de atividades $(^{234}\text{U}/^{238}\text{U})$. 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.

d. Embora não tenha sido feito um trabalho específico para a determinação da exatidão do método, a análise rotineira de amostras de água do Programa Nacional de Intercomparação (PNI) do IRD – CNEN no Laboratório de Geofísica Nuclear do IAG, tem mostrado que os valores obtidos para a concentração de atividade total de urânio (^{238}U , ^{235}U e ^{234}U) são concordantes com os valores de referência, indicando que a exatidão do método é da ordem de 4%, com uma variação entre 1 e 10%.

e. As águas do poço de Itu têm pH ácido, enquanto as de Salto têm pH predominantemente básico. O Eh concentrou-se entre 200 e 450 mV e as temperaturas oscilaram entre 22°C e 27°C, tendo apenas uma coleta com 29°C. As águas de S e SY são oxidantes, enquanto as de I estão na transição entre ambientes redutor e oxidante.

f. As determinações dos sólidos totais dissolvidos (STD) não mostraram uma variação muito grande durante o período de amostragem. Nas águas do poço SY, a quantidade de STD variou de cerca de 200 mg/L a 290 mg/L, com média de (240 ± 37) mg/L. As águas do poço S apresentaram variações relativamente maiores, obtendo-se valores de STD entre 125 mg/L e 230 mg/L, sendo sua média igual a (157 ± 44) mg/L. Em I valores situaram-se no intervalo de 170 mg/L a 330 mg/L, com média de (224 ± 72) mg/L. As quantidades de STD determinadas indicam que todas as águas subterrâneas analisadas são potáveis, no que se refere a este parâmetro, pois os valores são inferiores a

1.000 mg/L, que corresponde ao limite máximo estabelecido pelas normas da OMS (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2000).

g. Verificou-se considerável semelhança nos parâmetros físico-químicos entre as águas dos poços de S e SY. Essa semelhança é maior na época de inverno, quando provavelmente ocorre uma contribuição bem menor das águas que percolam as unidades de rochas sedimentares, que recobrem o granito, as quais devem ser significativamente abastecidas por águas de chuva.

h. 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 menores concentrações de atividades de ambos os radioisótopos foram registradas nos meses de estiagem e as maiores na época de chuva. As razões de atividades ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$) 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 estas razões foram constantes no período. As águas deste poço apresentaram razões de atividades (média = $2,8 \pm 0,1$), que são as de menor magnitude dentre as investigadas neste trabalho.

i. As águas do poço S são caracterizadas pelas menores concentrações de atividade de ambos os radioisótopos. As concentrações de atividade do (^{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 de (^{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 razões ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$) 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 .

j. 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. Desta 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 têm sido frequentemente observados em águas subterrâneas.

k. 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 ($20 \mu\text{g/L}$) (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2000).

l. Os diagramas das razões $(^{234}\text{U}/^{238}\text{U})$, em função do inverso de (^{238}U) , mostram que os pontos alinham-se em uma reta paralela à abscissa, indicando contribuição de água de chuva no poço I. As águas dos poços S e SY mostram que os processos de alimentação são mais complexos do que uma simples mistura de duas fontes distintas. Apesar de próximos, os poços S e SY apresentam comportamento bem diferente, sendo que no primeiro deve haver influência de pelo menos 3 componentes de mistura (água meteórica, água do

aqüífero sedimentar pobre em urânio e água do granito fraturado), enquanto em SY, além da água de chuva, parece haver uma contribuição devida (o) a diferentes graus de lixiviação de U do granito, com solubilização preferencial de ^{234}U , causada pelo estado oxidante destas águas.
