

OCORRÊNCIA DE RADÔNIO, DE RÁDIO E DE CHUMBO-210 EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NAS CERCANIAS DE GOIÂNIA

Dejanira C. Lauria¹; Milton M. Silva Júnior²; Ieda G. Nicoli³; Heliana F. da Costa³;
Lucinei R. Pimenta³; Laércio Lara de Carvalho¹ & Rosangela S. Correa³

Resumo - Num levantamento preliminar foram determinadas as concentrações em atividade de Rn-222, Ra-226, Ra-228 e Pb-210 em águas subterrâneas de abastecimento público localizadas nas cercanias de Goiânia. As amostras foram coletadas em dezessete poços, dos quais 13 estavam localizados no Grupo Araxá, 2 no complexo Anápolis-Itauçu e 2 na seqüência Anicus-Itaberaí. Os teores de radio e chumbo-210 nas águas foram baixos, variando entre <0,004 e 0,023 Bq/l de Ra-226, entre <0,02 e 0,05 Bq/l de Ra-228 e entre <0,02 e 0,11 Bq/l de Pb-210, e não excederam os níveis de radioatividade recomendados para água potável pela legislação brasileira. Por outro lado, as concentrações de Rn-222 variaram entre <3 e 420 Bq/l, sendo que em 4 amostras os teores são relativamente elevados. Os mais elevados valores de concentração de Rn foram encontrados em amostras provenientes do Grupo Araxá, enquanto os valores mais baixos foram encontrados em amostras provenientes da seqüência Anicus-Itaberaí.

Abstract - In a preliminary survey the radium, radon and lead-210 activity concentrations in groundwater from public supply near to the Goiânia city have been determined. Samples had been collected from 17 wells, which were located in the Grupo Araxá (13), complexo Anápolis-Itauçu (2) and the seqüência Anicus-Itaberaí(2). The radium and lead-210 levels are low, ranging <0,004 and 0,023 Bq/l for Ra-226, from <0,02 and 0,05 Bq/l for Ra-228 and from <0,02 to 0,11 Bq/l for Pb-210, and the radioactive levels did not exceed the Brazilian legislation. On the other hand, the activity concentrations of Rn-222 varied from <3 to 420 Bq/l and in four samples the levels can be considered high levels. The highest radon levels were found in samples from the Grupo Araxá and the low values were found in samples from the seqüência Anicus-Itaberaí.

¹ Instituto de Radioproteção e Dosimetria; Av. Salvador Allende s/n;Recreio dos Bandeirantes; CEP 22780-430; Rio de Janeiro-RJ. Tel (021) 34118101. dejanira@ird.gov.br

² EMARH – GO - Superintendência de Recursos Hídricos.Palácio Pedro Ludovico Teixeira; 1º andar; Av. 84; Praça Cívica, Centro; Goiânia-GO. Tel (62)2015152/2015153

³ Centro Regional de Ciências Nucleares do Centro Oeste; Br 060; km 174,5; CEP 75345-000; Abadia de Goiás, telefone:++625033000; fax:++625033020.

Palavras-Chave – radônio; rádio; chumbo-210; água subterrânea; grupo Araxá.

INTRODUÇÃO

Uma vez que os isótopos naturais radioativos ocorrem naturalmente nas rochas e solos, eles são onipresentes na terra. No entanto, os teores encontrados nos diferentes compartimentos ambientais dependerão de uma série de fatores tais como clima e características geológicas. Nas águas os valores mais elevados de concentração dos isótopos são encontrados usualmente em águas subterrâneas; o que justifica o interesse elevado em pesquisas de distribuição dos isótopos neste meio. Estes estudos visam não apenas avaliar o risco para a saúde da população devido ao seu consumo, mas também utilizar as características dos isótopos radioativos em estudos hidrogeológicos (Lauria, 2002a e 2002b). Adicionalmente, os estudos que relacionam estruturas geológicas e tipos de rochas com os níveis de isótopos radioativos nas águas subterrâneas podem prognosticar concentrações dos isótopos em águas de áreas não estudadas e assim subsidiar o desenvolvimento de planos de abastecimento público.

Os isótopos radioativos naturais mais comumente encontrados em águas subterrâneas e mais importantes considerando-se a saúde da população são Rn-222, Ra-226, Ra-228 e Pb-210.

O gás radônio-222 é um isótopo radioativo emissor de partículas alfa, produto de decaimento da série radioativa natural do urânio: $U-238 \rightarrow Th-234 \rightarrow U-234 \rightarrow Th-230 \rightarrow Ra-226 \rightarrow Rn-222$. Devido a sua meia-vida curta (3,84 dias), o gás nobre, Rn-222, pode migrar em águas subterrâneas por distâncias relativamente curtas. Portanto, em contraste com outros íons encontrados comumente em águas subterrâneas, grande parte do Rn na água é liberado da rocha nas proximidades de onde é encontrado. Sua concentração não é controlada pela concentração de seu pai, o rádio (Ra-226), na água; mas depende basicamente do conteúdo de urânio ou rádio na rocha. As mais elevadas concentrações de Rn em águas têm sido relacionadas a rochas de granito. Embora em níveis inferiores, águas que circulam em áreas ativas vulcânicas também contêm elevadas concentrações, especialmente aquelas de sistemas geotérmicos (Alessandro, 2003). Um levantamento mundial das concentrações de Rn em água subterrânea encontrou a concentração média de 183 Bq/l (NCRP, 1984).

Dentre os quatro isótopos de rádio derivados das séries radioativas naturais, os produtos de decaimentos do U-238 e Th-232, o Ra-226 e o Ra-228 são considerados o mais importantes. Esta importância é decorrente de suas longas meias-vida (respectivamente 1620 e 5,7 anos) e a abundância natural de seus precursores. Em águas subterrâneas as concentrações de Ra variam numa faixa de 0,01 a 38 Bq/l, dependendo de fatores tais como o tipo de rocha do aquífero e características físico-químicas da água (Gascoyne, 1989). As concentrações dependem da fase sólida por onde a água circula; águas que circulam em rochas com maiores teores de U e Th, como

as graníticas, tendem a ter maiores concentrações dos isótopos do que aquelas que circulam em aquíferos com rochas pobres em U e Th, como as carboníticas (Michel, 1990).

O Pb-210 é produto de decaimento da série do U-238, é um emissor beta de meia-vida de 21 anos. A mobilidade de chumbo no ambiente é bastante restrita, no entanto condições especiais como altas concentrações de ácidos húmicos em água podem ser responsáveis por elevar as concentrações em águas.

Em relação aos níveis de isótopos naturais em águas, os órgãos regularizadores mundiais têm fixado limites para concentração em água potável. No Brasil, os limites são fixados em relação à atividade alfa total (0,1 Bq/l) e beta total (1 Bq/l) (Portaria do Ministério da Saúde No.36/GM, dezembro 2000). Se estes limites forem ultrapassados, determinações específicas dos isótopos têm que ser realizadas. Os riscos para a saúde humana devido ao Rn-222 estão relacionados à inalação devido ao desprendimento do gás das águas (de 30 a 95% do Rn é liberado da água dependendo do uso: beber, banho, lavagem etc...) e à ingestão direta juntamente com a água. O limite de concentração de Rn-222 em água não foi ainda fixado no Brasil, mas em vários países os limites para consumo foram fixados em valores que variam entre 11 Bq e 500 Bq por litro de água (EPA, 1999). Como raros são os levantamentos das concentrações de Rn nas águas consumidas pelos brasileiros, o conhecimento destas concentrações pode auxiliar no desenvolvimento de planos de abastecimento público e no estabelecimento de um limite para Rn em água potável no Brasil.

Este trabalho reporta os dados de concentração de isótopos radioativos em águas subterrâneas obtidos nas cercanias da cidade Goiânia, relacionando-os com a formação geológica e dados hidrológicos locais. É a etapa inicial de um projeto mais amplo que tem como objetivo específico caracterizar as águas subterrâneas da região centro-oeste brasileira, considerando as formações geológicas e as características hidrológicas e hidrogeológicas. Esta etapa, considerada uma etapa de reconhecimento de área e otimização de procedimentos, deverá fornecer informações para a elaboração de uma estratégia para a extensão do projeto a toda região. O objetivo geral do projeto é gerar informações que subsidiem o gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos e estudos de risco para saúde da população na região centro-oeste.

ÁREA DE ESTUDO

A região investigada nesta etapa do trabalho está inserida na Província Hidrogeológica do Centro Oeste (Lacerda Filho, 2000). As águas do lençol subterrâneo circulam em rochas porosas ou fraturadas com importância hidrogeológica localizada, constituindo aquíferos restritos a ambientes gerados pelos falhamentos e fraturamentos regionais. Os aquíferos são do tipo locais, posicionados em fraturas nas rochas Arqueanas pertencentes ao domínio tectono estratigráfico relacionado com

os terrenos Granito-Greenstone e Proterozóicas relacionadas à fase de Rifteamento intracontinental. A área está limitada a poucos afloramentos rochosos.

Geologia regional e principais unidades litoestratigráficas

Pai - Sequência Anicuns-Itaberá

Trata-se de uma seqüência de rochas metavulcânicas básico-ultrabásicas a intermediárias, químico-exalativas/mistas (tufáceas) e metassedimentares, milonitizadas e metamorizadas na fácies xisto-verde baixo. A unidade metavulcânica máfica é representada por anfibolitos, anfibólio xistos, epidoto anfibolito, clorita xistos e quartzo-clorita xistos, com intercalações de níveis centimétricos a métricos de metachert ferrífero piritoso. A unidade metaultramáfica, com seus produtos hidrotermalizados ocorre como lentes intercaladas em toda a seqüência, geralmente transformadas em serpentinitos, talco xistos, talco-tremolita xistos, tremolititos e actinolita xistos. Os termos químico-exalativos/tufáceos são caracterizados por metacherts, metacherts piritosos, formações ferríferas, que se intercalam, na forma de lentes, em quartzo-clorita xisto, quartzo-clorita-sericita-plagioclásio xistos, muscovita xistos e cianita-muscovita xistos de provável origem tufácea. Associadas a esta unidade ocorrem níveis expressivos de mármore magnesianos e dolomíticos, com lentes decimétricas de metacalcário silicoso. Os metassedimentos pelíticos a psamíticos são representados por biotita-clorita-muscovita xistos, biotita-calcixistos, biotita xistos grafitosos, granada-muscovita-biotita xistos, quartzitos ferruginosos, cianita-muscovita-sericita-cloritóide xistos e sericita-clorita-quartzo xistos (Lacerda Filho, 2000).

Grupo Araxá

A Formação Araxá é citada como a unidade mais antiga de um complexo pré-cambriano. O grupo é subdividido nas unidades A e B, onde a primeira é composta por sedimentos plataformais tipo marinho raso, representados por muscovita-clorita xistos, às vezes com cloritóides, biotita-muscovita-quartzo xistos, granada-muscovita-clorita xistos, clorita-quartzo xistos, grafita xistos, sericita quartzitos e hematita-sericita quartzitos (hx), e a unidade B, definida por uma seqüência pelítica marinha, constituída por calci-clorita-biotita xistos, calci-clorita-biotita xistos feldspáticos, calci-granada-biotita-quartzo xistos feldspáticos, granada-clorita xistos, hornblenda-granada xistos feldspáticos, grafita xistos, lentes de metacalcários, quartzitos micáceos e subordinadamente, lentes de anfibolito (Lacerda Filho, 2000). Os poços 1, 2, 3, 4, 6, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 e 17 estão localizados no Grupo Araxá, perfurados nos domínios dos micaxistos e quartzitos da Unidade B.

Complexo Granulítico Anápolis-Itauçu

Compreende um conjunto de rochas gnáissicas de alto grau, orto e paraderivadas e tectonicamente intercaladas com direção geral NW-SE, que ocorre na porção sudeste do Estado de Goiás, entre as cidades de Itaguaru e Pires do Rio. Essas rochas apresentam coloração esverdeada, bandamento e textura fina a média e às vezes encontram-se intensamente milonitizadas, associadas com processos retrometamórficos, envolvendo lentes de granulitos anfibolitizados em meio às faixas granulíticas, e imbricadas tectonicamente com os metassedimentos do Grupo Araxá. Os granulitos paraderivados (Pais) são caracterizados por gnaisses sílico-aluminosos e quartzofeldspáticos, granada gnaisses, rochas calcissilicáticas, diopsídio mármores, granada quartzitos e gonditos, associados com gnaisses graníticos, esses últimos relacionados a líquidos anatéticos (Lacerda Filho, 2000).

MATERIAIS E MÉTODOS

Águas de dezessete poços de abastecimento público foram coletadas entre 30 de outubro e 28 de novembro de 2003. A localização geográfica dos locais de amostragem foi determinada por um sistema de navegação de satélite GPS (Garmin, model 45 XL). A figura 1 mostra a localização da maior parte dos poços no mapa geológico e as principais características e localização dos poços amostrados são apresentadas na tabela 1.

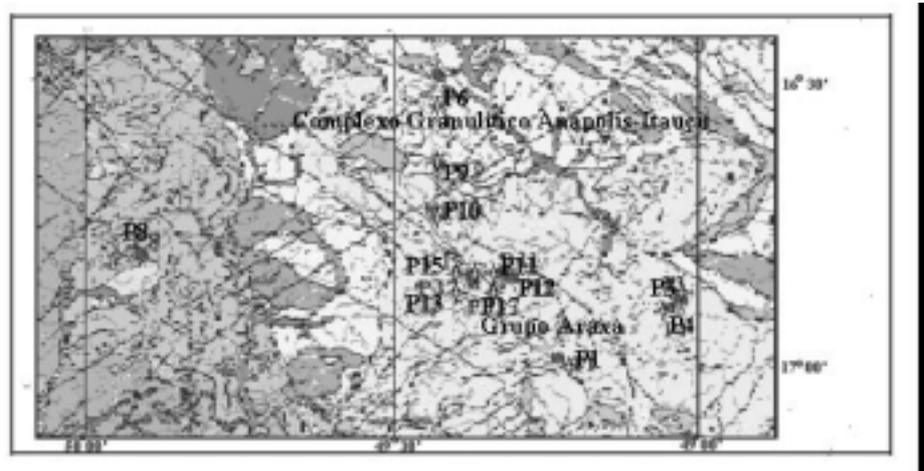


Figura 1 - Mapa geológico e localização dos poços no grupo Araxá e no Complexo Anápolis-Itauçu.

Tabela 1 - Localização dos poços e algumas de suas características.

Local	Latitude	Longitude	Profund. (m)	NE (m)	ND (m)	Q (m ³ /h)	Grupo
P01	16°57'.423	49°14'.206	120	2	71,2	17,22	Araxá
P02	17°06'.781	49°24'.936	80	0	41	75	Araxá
P03	16°51'.442	49°02'.228	82	12	58	4	Araxá
P04	16°52'.116	49°02'.655	100	4	66	1,8	Araxá
P05	16°24'.934	49°13'.286	100	1	7	19	Anápolis-Itaçu
P06	16°29'.617	49°25'.451	100	14	31	4,2	Araxá
P07	16°22'.225	49°19'.457	120	2	40	39,6	Anápolis-Itaçu
P08	16°47'.854	49°54'.846	60	0	18	66	Anicus-Itaberaí
P09	16°38'.486	49°25'.164	105	11,6	36	13,42	Anicus-Itaberaí
P10	16°42'.674	49°26'.225	100	-	-	14,4	Araxá
P11	16°49'.252	49°19'.004	80	0	41	75	Araxá
P12	16°49'.093	49°19'.145	80	3	20	16	Araxá
P13	16°49'.163	49°19'.204	100	3	11	19,8	Araxá
P14	16°49'.030	49°19'.184	90	0	29	12	Araxá
P15	16°49'.894	49°22'.153	80	-	-	66	Araxá
P16	16°50'.074'	49°22'.279	100	1	40	47	Araxá
P17	16°50'.031	49°22'.283	100	0	40	46	Araxá

Determinações dos isótopos radioativos

Para as medidas de Rn em água foi utilizado o método de cintilação em meio líquido que foi otimizado para este propósito e está implantado no Centro de Ciências Nucleares do Centro-Oeste localizado em Abadia de Goiás. A água foi coletada diretamente no poço. A bomba era ligada e a água deixada correr por um tubo de polietileno pelo menos 5 minutos. Então, o tubo era colocado em um balde e quando este estava cheio, 10 ml de água era coletado diretamente de dentro do tubo, imerso na água, com um seringa médica de 20 ml de capacidade. A agulha era conectada á seringa, a qual era subsequenteemente inserida nos 10 ml da solução cintiladora ((4.0g/l PPO and 0.01 g/l of POPOP em Permafluor® (Perkin Elmer)) que se encontrava no frasco de cintilação; a amostra era então injetada vagarosamente na solução. As amostras eram coletadas em duplicadas, colocadas em uma sacola térmica com gelo e levadas para o laboratório. As amostras eram contadas após um período não inferior a 3 horas (para permitir o equilíbrio entre Rn e seus filhos) e não superior a 30-50 horas após amostragem (para que quantidade significativa do Rn não tenha decaído). As amostras eram colocadas para contagem em um contador de cintilação em meio líquido (Packard, TRI-CARB 3100/SL). O tempo de contagem foi fixado em 50 minutos (Lauria e colaboradores, 2004).

As determinações de rádio e chumbo-210 foram realizadas por contagem alfa e beta total em um contador proporcional de baixa radiação de fundo (Bertold, model: LB770-1) (Godoy e colaboradores, 1994). Por este método o Ra e o Pb são coprecipitados como Ba(Ra,Pb)SO₄, por

adição de H_2SO_4 e $BaCl_2$ á 1 litro de água. Em seguida Ra e Pb são separados por dissolução do precipitado de sulfato com ácido nitrilotriacético (NTA), e reprecipitação de $Ba(Ra)SO_4$ por adição de ácido acético até pH 4.5-5.0. O chumbo permanece em solução. Após purificação do precipitado de sulfato, o precipitado é filtrado e após um mês de crescimento a concentração de Ra-226 é determinada por contagem alfa total e a de Ra-228 por contagem beta total. Para a determinação de Ra-228 as partículas alfa de Ra-226 são barradas por um filtro de papel. Chumbo-210 é precipitado da solução de NTA como PbS . Após a eliminação de sulfeto por adição de ácido nítrico, chumbo é precipitado como $PbCrO_4$ e o precipitado é filtrado. Após duas semanas, o filtro contendo o precipitado é levado ao contador e o Pb-210 é determinado através da contagem beta total de seu filho Bi-210.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As concentrações dos isótopos radioativos nas águas dos poços variaram entre <3 e 420 Bq/l de Rn-222, $<0,004$ e 0,023 Bq/l de Ra-226, $<0,02$ e 0,05 Bq/l de Ra-228 e entre $<0,02$ e 0,11 Bq/l de Pb-210 (tabela 2). Os níveis dos isótopos de rádio e Pb-210 são baixos e inferiores aos limites estipulados para radioatividade em água potável; muitos valores encontrados foram inferiores ou estão próximos das concentrações mínimas detectáveis, CMD.

Comparando-se os teores dos isótopos de Ra com os teores encontrados em águas subterrâneas brasileiras pode-se observar que os valores obtidos são inferiores ou estão nos limites inferiores das faixas dos valores publicados. Assim: os valores das concentrações de Ra-226 são inferiores a aqueles encontrados no aquífero Guarani, enquanto alguns dos valores de Ra-228 são ligeiramente superiores (0,03 a 1,49 Bq/l de Ra-226 e 0,0018 e 0,0073 Bq/l de Ra-228) (Bonotto, 2004). Tanto as concentrações encontradas no estado de São Paulo ($<0,0022$ a 0,235 Bq/l de Ra-226 e de $<0,0037$ a 0,131 Bq/l de Ra-228) quanto as encontradas na Região dos Lagos-Rio de Janeiro ($<0,002$ a 0,492 Bq/l para Ra-226 e de $<0,01$ to 1,50 Bq/l para Ra-228) alcançaram valores muito superiores a aqueles observados neste trabalho (Oliveira e colaboradores, 2001, Almeida e colaboradores 2004).

Em relação á Rn, no entanto, a situação é oposta. Quando os valores encontrados são confrontados com aqueles obtidos em estudos no Brasil, $<0,47$ e 57,34 Bq/l no aquífero Guarani; 0,40 a 315 Bq/l no estado de São Paulo e <3 a 75 Bq/l na Região dos Lagos-RJ, observa-se que neste trabalho foram encontrados alguns valores mais elevados (Bonotto, 2004; Oliveira e colaboradores, 2001 e Almeida e colaboradores 2004).

O valor da média geométrica das concentrações das 13 amostras localizadas no grupo Araxá foi de 106 Bq/l, enquanto que das 2 amostras do complexo Anápolis-Itaçu foi 27 Bq/l e das 2

amostras originadas no complexo Anicus-Itaperai apresentaram concentrações <3 Bq/l. Apenas uma das amostras do Grupo Araxá apresentou baixo valor de concentração de Rn, P04 (<3 Bq/l), nas demais 12 amostras as concentrações variaram entre 79 e 420 Bq/l.

Na figura 2 as concentrações de Rn-222 relacionadas às formações geológicas são representadas graficamente, mostrando a tendência das amostras provenientes do grupo Araxá de apresentar concentrações mais elevadas.

Tabela 2 - Concentrações de isótopos radioativos nas amostras de água subterrâneas.

Local de Amostragem	Rn-222 (Bq/l)	Ra-226 (Bq/l)	Ra-228 (Bq/l)	Pb-210 (Bq/l)
P01	123±4	0,006±0,003	<0,02	0,06±0,01
P02	140±4	0,020±0,004	<0,02	0,059±0,006
P03	280±9	<0,007	0,023±0,004	0,110±0,009
P04	<3	0,007±0,002	<0,01	0,032±0,006
P05	24±1	<0,004	<0,01	0,033±0,008
P06	107±3	0,006±0,003	0,021±0,006	<0,02
P07	30±1	0,005±0,002	0,020±0,006	0,065±0,008
P08	<3	<0,004	<0,01	0,02±0,01
P09	<3	<0,004	<0,01	0,05±0,01
P10	420±12	<0,004	<0,02	0,082±0,009
P11	106±3	<0,004	0,029±0,004	0,0512±0,008
P12	131±4	NA	NA	NA
P13	126±4	0,023±0,006	0,05±0,01	0,036±0,009
P14	193±6	0,008±0,002	<0,01	<0,04
P15	79±2	0,007±0,002	<0,01	0,022±0,007
P16	193±6	0,012±0,003	0,029±0,007	0,033±0,008
P17	136±4	0,006±0,003	0,032±0,008	0,06±0,013

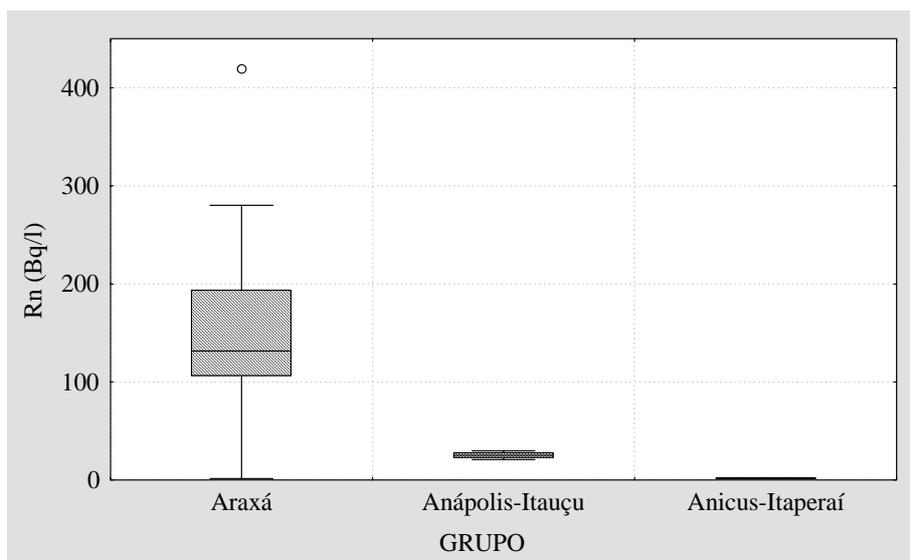


Figura 2 - Box-wiskers das concentrações de Rn-222 nas diferentes formações geológicas.

Nos poços coletados no Grupo Araxá predominam as litologias: calcixistos, granada xistos, biotita – quartzo xistos e quartzitos micáceos (P01, P02, P03, P04 e P10) (valor da mediana da concentração de Rn-222, 79 Bq/l) e quartzito (P11, P12, P13, P14, P15, P16 e P17) (valor da mediana da concentração de Rn-222, 132 Bq/l). Comparando-se os valores observados nestas litologias (teste t), nenhuma diferença estatisticamente significativa foi observada, indicando que em relação aos teores de Rn não há diferença entre as duas litologias.

Ao contrário do observado no aquífero Guarani por Bonotto (2004), não foi encontrada correlação entre as concentrações de Ra-226 e Rn-222 nas águas. No entanto, assim como em relação ao radônio, as concentrações de Ra-226 nas águas do grupo Araxá tendem a ter valores superiores às demais formações (figura 3).

Não foram observadas correlações entre as concentrações dos isótopos de Ra, Pb-210 e Rn-222 e profundidade do poço, vazão e nível estático.

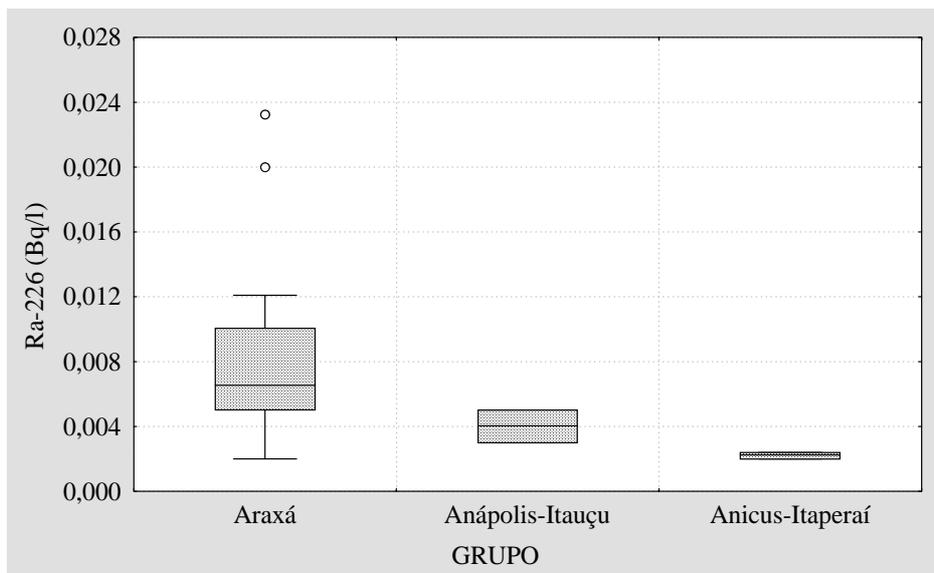


Figura 3 - Box-Wisker das concentrações de Ra-226 nas diferentes formações geológicas.

Em relação às concentrações de Pb-210 nenhuma formação geológica se destaca, sugerindo que podem ser encontrados valores de concentração similares em águas localizadas nas diferentes formações (Figura 4), a mesma observação se reproduz em relação às concentrações de Ra-228.

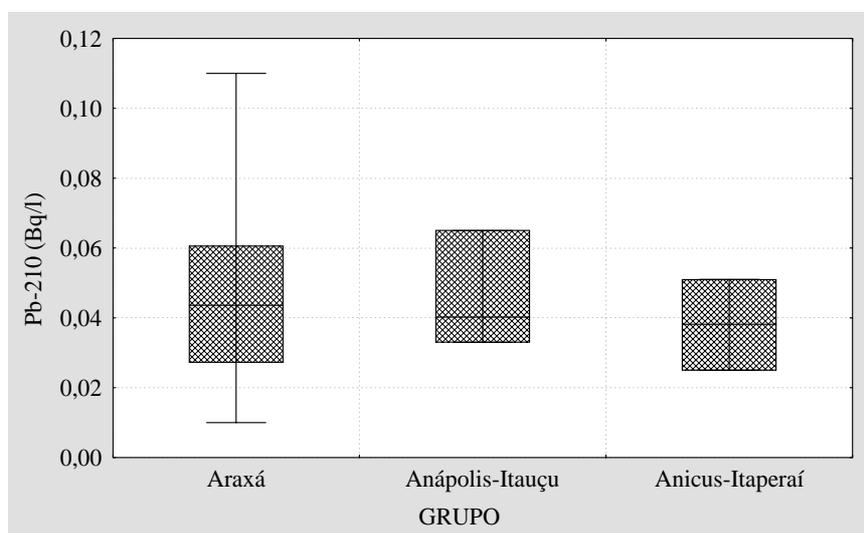


Figura 4 - Box-Wiskers das concentrações de Pb-210 nas diferentes formações geológicas.

Por não terem sido encontradas na literatura informações sobre concentrações de Pb-210 em águas subterrâneas brasileiras, os valores de Pb-210 não puderam ser comparados.

CONCLUSÃO

Amostras de águas foram coletadas em dezessete poços de abastecimento de água potável situados nas cercanias de Goiânia. Destas amostras treze eram provenientes de poços localizados no Grupo Araxá, unidade B, duas de poços situados em no complexo Anápolis-Itauçu e 2 na seqüência Anicus-Itaberaí. Embora o número de amostras provenientes do complexo Anápolis-Itauçu e da seqüência Anicus-Itaberaí seja pequeno, os dados mostram a tendência das amostras oriundas do Grupo Araxá conterem teores mais elevados de Ra-226 e Rn-222. Os valores das concentrações de Ra-226, Ra-228 e Pb-210 são baixos, inferiores ou similares àqueles observados em águas subterrâneas brasileiras e inferiores aos limites estipulados para água potável brasileira. Teores relativamente elevados de Rn foram observados em algumas águas, o que justifica a extensão do estudo para uma maior área do Grupo Araxá, considerando uma melhor distribuição dos poços no Grupo. Adicionalmente, um número maior de amostras deve ser analisado nas demais formações geológicas de importância para a região centro-oeste.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Alessandro W.A. e Vita F., (2003), Groundwater radon measurements in the Mt. Etna area, *Journal of Environmental Radioactivity* 65, 187-201.
- [2] Almeida, R. M. R., Lauria, D.C., Ferreira A.C., Sracek, O. (2004). Groundwater radon, radium and uranium concentrations in região dos Lagos, Rio de Janeiro State, Brazil, *Journal of Environmental Radioactivity* 73, 323-334.
- [3] Bonotto D.M. (2004). Doses from 222Rn, 226Ra, e 228 Ra in groundwater from Guarani aquifer, South America, *Journal of Environmental Radioactivity*, in press, disponível online desde março 2004.
- [4] Gascoyne, M (1989). High Levels of Uranium and Radium in Ground waters at Canada's Underground Research Laboratory, Lac du Bonnet, Manitoba, Canada. *Applied Geochemistry*, 4, 557-591.
- [5] Godoy, J.M., Lauria, D.C., Godoy, M.L.D.P. & Cunha, R.P. (1994). Development of a Sequential Method for the Determination of ^{238}U , ^{234}U , ^{232}Th , ^{230}Th , ^{228}Th , ^{228}Ra , ^{226}Ra , and ^{210}Pb in environmental samples. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry Articles*, 182(1), 165-169.
- [6] Lacerda Filho, J. V. (2000), Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Geologia e Recursos Minerais do Estado de Goiás e do Distrito Federal. Escala 1:500.000. 2ª edição. / organizado [por] Joffre Valmório de Lacerda Filho, Abelson Rezende e Aurelene da Silva. Goiânia: CPRM/METAGO/UnB.

- [7] Lauria D. C., Nicoli I. G., da Costa H. F., Pimenta L. R., Correa R. S., Radônio em águas subterrâneas de Goiás, In proceedings: III Simpósio de Águas Subterrâneas do Centro-Oeste, Goiânia, maio 2004.
- [8] Ministério da Saúde (2000). Normas e padrão da potabilidade de água destinada ao consumo humano. Portaria No 1469 de 29 de dezembro de 2000.
- [9] NCRP, 1984. National Council on Radiation Protection and Measurements. Exposures from the Uranium Series with Emphasis on Radon and its Daughters. NCRP Report No.77, Bethesda, MD.
- [10] Oliveira J., Mazzilli, B.P., Sampa, M.H.O. and Bambalas, E., 2001. Natural radionuclides in drinking water supplies of São Paulo State Brazil and consequent population doses. *Journal of Environmental Radioactivity* **53**, pp. 99–109.