Concentração de Rn-222 e filhos em águas provenientes de poços e emergências de água da região de Presidente Prudente: resultados preliminares

Ana Maria Araya Osório[1,2], Claudinei Rodrigues de Aguiar[3], Carlos Alberto Tello Saenz[1], Luiz Augusto Stuani Pereira[4]

[1]Docente do Departamento de Física Química e Biologia da FCT UNESP, Presidente Prudente. [2]Coordenadora do grupo de Pesquisa DETRANES e o grupo de Ensino em Física Moderna. [3]Docente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. [4]Aluno do curso de Graduação em Física da UNESP, Presidente Prudente, Bolsista CNPq.

Resumo

Neste trabalho apresentamos os resultados preliminares da atividade do Rn-222 e filhos em águas provenientes de poços e emergências de água da região de Presidente Prudente. Foram estudadas seis amostras; três amostras vindas de poços, duas amostras de emergências de água e uma amostra de água potável. Para a medida da atividade do Rn-222 e filhos, as amostras de água foram colocadas em recipientes plásticos hermeticamente fechados, nos quais detectores CR-39 foram expostos ao ar ambiental vindo da água. Para obter a densidade de traços de partículas α, provenientes do decaimento do Rn-222 e filhos, utilizamos um microscópio óptico de luz transmitida. Os resultados mostram que a amostra A-3, que corresponde à água retirada de um poço artesiano, apresenta uma quantidade de Rn-222 e filhos considerável quando comparada com as outras amostras. São levantadas algumas hipóteses sobre os efeitos provocados pela ingestão da água no estômago.
Palavras-chave: Detectores tipo CR-39, dose, radônio e filhos, água, poços.

Radon and radon daughters' concentration in spring and wells waters from Presidente Prudente: preliminary results

Abstract

This work presents the preliminary results about the concentration of radon and radon daughters in wells and springs water from Presidente Prudente. Six water samples were studied: three from well-water, two from springs water and one from poTabelale water. For the determination of α-activity the samples were placed inside plastic containers where the CR-39 tracks detectors were outside the water. The track density of α-particles were measured by using optical microscopy. The results show that one sample from well-water presented higher concentration of radon and radon daughters than the other samples.
Key words: CR-39 detectors, dose, radon and radon daughters, water, well.

Introdução

Além do solo e materiais de construção, outra fonte de Rn-222 importante em determinados tipos de ambientes é a água. Em uma investigação realizada nos EUA (DE PAULO, 1991; MONNIN, SEIDEL, 1991), verificou-se que, em um grande número de residências, a concentração de Rn-222 na cozinha superava a concentração desse elemento em outras dependências dessas residências. Outros trabalhos apresentam pesquisas realizadas em águas subterrâneas (ESPINOZA; GOLZARRI, 1991), como, por exemplo, águas de poços e cavernas, onde foram encontrados altos níveis de concentração de Rn-222, como é o caso de estudos realizados na Hungria (SOMOGY; LENÁRT, 1986).

Estes resultados despertaram nosso interesse, já que na região de Presidente Prudente, Estado de São Paulo, é muito comum a utilização de águas de poços para uso doméstico. Um exemplo disto é que na cidade de Presidente Prudente se encontram instalações com várias torneiras onde a população retira a água, acreditando que estas águas, por não conterem cloro, são menos danosas à saúde. O mesmo acontece com as águas de emergências, que se encontram na margem das estradas, de onde os motoristas retiram a água que será utilizada durante a viagem ou mesmo nas suas casas. É importante lembrar que estas águas vêm de diferentes tipos de poços, e nenhum estudo foi realizado no sentido de verificar se o conteúdo de Rn-222 nelas está dentro dos padrões internacionais ou é maior, como tem acontecido em estudos realizados em alguns países da Europa. Neste sentido, procuramos o engenheiro responsável pela análise da água da SABESP de Presidente Prudente, e verificamos que a SABESP é responsável pela análise de elementos contidos na água potável, mas não existe nenhum trabalho dirigido ao estudo das águas de emergências e poços da região. O número de poços existentes é considerável, aproximadamente 200, daí a importância de uma pesquisa neste sentido.

Métodos

Características do Rn-222

A população é exposta a várias fontes de radiação, e entre as fontes naturais, o Rn-222 representa aproximadamente 54% do total (MONNIN; 1991). Dentre todas as contaminações radioativas a que o homem está sujeito, a mais insalubre, do ponto de vista da população como um todo, é que diz respeito à presença de Rn-222 e filhos em ambientes de convívio humano, como explicado em De Paulo (1991).

O Rn-222 é um produto da série radioativa do urânio-238, elemento que compõe a crosta terrestre numa concentração de aproximadamente 5ppm. Como é um gás nobre, ele tem a capacidade de se difundir através do solo e emanar para o interior de ambientes. No entanto, outras fontes de Rn-222 são os materiais de construção e a água, o que implica que mesmo em apartamentos situados a vários metros do solo, pode haver concentrações significativas de Rn-222 (DE PAULO, 1991).

O Rn-222 pode entrar na água natural por dois processos: pelo decaimento alfa no local, do núcleo pai, o Ra-226 dissolvido na água, ou por dissolução de sólidos, gases ou ar vizinhos nas proximidades subterrâneas (ZORZETTO, 1995).

A série radioativa do urânio-238 é apresentada na Figura 1. α e β representam os tipos de radioatividade envolvidos nos decaimentos. A Tabela 1 mostra algumas das características radioativas do Rn-222 e filhos.

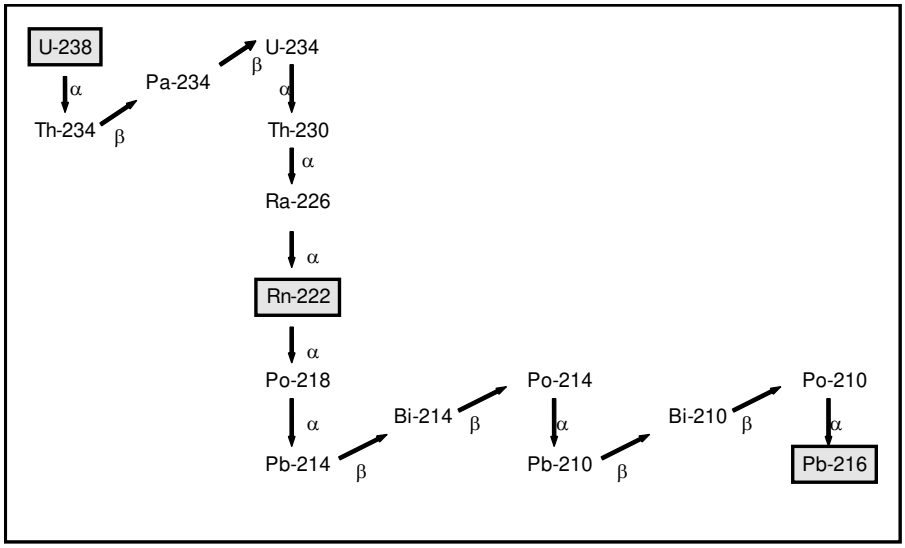


Figura 1. Série radioativa do urânio-238

Tabela 1. Características nucleares do Rn-222 e filhos.

Isótopos	Nome tradicional	Meia-vida	Λ (seg.)	Radiação (energia)
Rn-222	Radônio	3,823 d.	$2,10x10^{-6}$	α (5,49Mev)
Po-218	Rádio A	3,05 m.	$3,79x10^{-3}$	α (6,00Mev)
Pb-214	Rádio B	26,80 m.	$4,31x10^{-4}$	β, γ
Bi-214	Rádio C	19,70 m.	$5,86x10^{-4}$	β, γ
Po-214	Rádio C'	164,00 μs	$4,23x10^{-3}$	α (7,69Mev)
Pb-210	Rádio D	21 a.	$1,05x10^{-9}$	β, γ
Bi-210	Rádio E	5,01 d.	$1,60x10^{-6}$	β
Po-210	Rádio F	138,4 d.	$5,08x10^{-8}$	α (5,30Mev)
Pb-206	Rádio G	Estável		

O CR-39

O CR-39 (allyl diglycol-carbonate-$C_{12}H_{18}O_7$) é o detector plástico de maior eficiência, pelo menos dentre aqueles que são disponíveis comercialmente (DE PAULO, 1991). O seu desenvolvimento, como detector de traços, deu-se após 1975. Uma das grandes vantagens, além de sua eficiência, é o fato de ele ser totalmente amorfo, o que faz com que os traços sejam muito regulares. Além disto, o CR-39 é muito transparente, existindo um contraste ideal entre os traços e o próprio plástico, facilitando a observação ao microscópio óptico. Este detector é feito de um dos plásticos mais resistentes contra possíveis danos ocasionados por condições ambientais, como temperatura, umidade, ação corrosiva de

poluentes (DE PAULO, 1991) etc. Ele encontra-se disponível comercialmente (em placas normalmente com 500µm de espessura) em apenas algumas indústrias do mundo como: American Acrilics, EUA; Homalite, EUA; Pershore Moldings, Inglaterra; Baryotrack, Japão.

O uso dos detectores plásticos, um tipo de SSNTD (Solid State Nuclear Tracks Detector), é uma das técnicas mais freqüentemente utilizadas nos dias atuais para detecção da atividade α, devido à presença de átomos de Rn-222 e filhos em ambientes de convívio humano.

Uma "partícula pesada" (fragmentos de fissão, partículas α, prótons etc) quando incide sobre um SSNTD, provoca um desarranjo na estrutura molecular chamado de traço latente. O traço tem um diâmetro da ordem de A (ângstrons) e, após um ataque químico conveniente, sua dimensão é da ordem de mícrons, e desta forma se torna observável ao microscópio óptico (FLEISCHER; PRICE; WALKER, 1975). Explicado de forma simples, o ataque químico corrói a superfície do detector e a região danificada pela partícula incidente. Em De Paulo (1991), são mencionadas as condições de ataque químico utilizadas para a revelação dos traços. Este autor obteve uma curva padrão do ataque químico para 6,25 N de NaOH-70^{o}C, onde o tempo de ataque químico escolhido foi de 400 min.

O "background", quantidade de traços presentes no detector antes de sua utilização, é descontado das densidades de traços obtidas, já que comparado com a densidade de traços dos plásticos expostos e analisados, é desprezível.

Dados geológicos e hidro-geológicos

A região onde foram coletadas as amostras de água localiza-se em domínios da Formação Adamantina, do Grupo Bauru, do Cretáceo Superior da Bacia Sedimentar do Paraná. Do ponto de vista pedológico, de acordo com levantamento semi-detalhado de solos, a área de pesquisa está situada principalmente em solos da classe Podzólico vermelho amarelo, em várias subunidades (CARVALHO et al., 1997). Trata-se de um terreno bem drenável, embora haja variação vertical na permeabilidade. A existência de horizonte "B" textual favorece o escoamento subcutâneo de água em ocasiões em que o solo se apresenta muito úmido. Uma das amostras de água (amostra A-3) foi coletada numa área que está localizada no vale do córrego da Olga, onde é mapeado o solo PEa7-associação entre Podzólico vermelho escuro abrúptico epidistrófico e solos litólicos; são de drenagem relativamente lenta, com tendência a escoamento subcutâneo quando muito úmidos.

Quanto à hidrodinâmica do maciço rochoso na área pesquisada, levantamentos preliminares permitiram distinguir um padrão de comportamento do nível freático, que com corda com o padrão regional: no setor de topo aplainado do interflúvio, o limite superior da zona permanentemente saturada encontra-se a profundidades entre 10 m e 14 m da superfície, registrando-se aqui a menor oscilação sazonal; no terreno de encosta, os valores de profundidade estão entre 4 m e 10 m e no sopé da encosta, ou no fundo do vale, variam entre 2 m e 5 m, com as maiores oscilações sazonais verificadas. São encontradas várias emergências de água, as quais estão provavelmente condicionadas a zonas de fraturamento locais. Zonas de ressudação ocorrem também.

No poço tubular instalado na Faculdade de Ciências e tecnologia da UNESP, é registrada a presença, crescente com a profundidade, de estratos da Formação Santo Anastácio, também do Grupo Bauru, a partir de 80 m de perfuração, em alternância com estratos da Formação Santo

Anastácio. Esta unidade do grupo Bauru é constituída por arenito mais permeável que aquele correspondente à Formação Adamantina, comportando-se por isto como melhor aqüífero do que esta última.

Quanto à classificação do ponto de vista da composição química, nas duas formações há predominância de água bicarbonatada cálcica ou magnesiana (CAMPOS, 1987).

Procedimento Experimental

Foram coletadas seis amostras de água de diferentes locais segundo consta na Tabela 2. As amostras foram colocadas em recipientes plásticos que têm uma capacidade de aproximadamente 5600 mL. Deste volume, aproximadamente 3000 mL foram preenchidos com água. Os recipientes foram vedados, para evitar escapamento do ar, e guardados a uma temperatura de aproximadamente 6 ^{o}C, para evitar a evaporação da água que poderia se condensar na superfície do detector e interferir na medida da densidade de traços.

Em cada recipiente foi colocado um detector CR-39, colado na parte superior, mantendo-se aproximadamente 10 cm entre a água e o detector (DE PAULO, 1991). Após um tempo de exposição de aproximadamente 10 meses, os detectores foram retirados e submetidos a um ataque químico de 6,25 N de NaOH a 70 ^{o}C durante 400 min, segundo escrito em De Paulo (1991).

Tabela 2. Relação entre detector e amostra coletada

Detector	Descrição	Tempo de exposição
B	Detector utilizado para a medida do background	-
A-1	Detector exposto ao ar ambiental vindo de uma amostra de água sem cloro da UNESP	11 meses
A-2	Detector exposto ao ar ambiental vindo de uma amostra de água com cloro da UNESP	10 meses
A-3	Detector exposto ao ar ambiental vindo de uma amostra de água de um poço artesiano localizado a aproximadamente 15 Km de Presidente Prudente	10 meses
A-4	Detector exposto ao ar ambiental vindo de uma amostra de água coletada numa estrada vizinha a Presidente Prudente (8 Km)	10 meses
A-5	Detector exposto ao ar ambiental vindo de uma amostra de água coletada numa estrada vizinha a Presidente Prudente (40 Km)	10 meses
A-6	Detector ex posto ao ar ambiental vindo de uma amostra de água potável	10 meses

Após o ataque químico, os detectores foram analisados ao microscópio óptico para obter a densidade de traços D (número de traços por

centímetro quadrado) de partícula alfa. Esta densidade é obtida após a calibração do campo de observação e para isto é utilizada uma régua reticulada onde cada intervalo equivale a 0,01 mm. A medida do campo de observação, em nosso caso, é de $1,3x10^{-3}$ cm^2.

Os dados são obtidos após a contagem de aproximadamente 1000 traços por cada detector e, desta forma, os erros associados às medidas são estatisticamente representativos. A densidade superficial, D, obtida para cada detector, é apresentada na Tabela 3. O erro associado às medidas, ε(%), corresponde ao desvio padrão percentual, relativo aos valores médios.

Tabela 3. Resultados obtidos da análise dos detectores

Detector	Nº de traços / Nº de campos	Nº de traços por campo	D ± ε(%)
B	1040 / 810	1,28	983 ± 3,6
A-1	1056 / 648	1,63	1251 ± 3,2
A-2	1132 / 421	2,69	2065 ± 3,0
A-3	2467 / 324	7,61	5842 ± 3,0
A-4	1052 / 357	2,95	2265 ± 3,9
A-5	1149 / 389	2,95	2265 ± 3,1
A-6	1038 / 712	1,46	1121 ± 2,9

Resultados e discussão

Analisando a Tabela 3, pode-se observar que a amostra A-3 apresenta uma densidade de traços muito maior do que as outras amostras; o valor médio da densidade, é aproximadamente 300% maior do valor da densidade das outras amostras. Uma hipótese que pode ser levantada é que isto se deve possivelmente ao tipo de solo, PEa7, e à profundidade do poço. O solo onde foi coletada a amostra A-3, mesmo sendo originado da formação Adamantina, é de drenagem relativamente lenta e, devido à profundidade, retém mais água, fazendo com que a água fique ligada mais tempo à argila do solo, o que facilita a difusão dos átomos do Rn-222 para a água, ao contrário do que ocorre com o poço da UNESP, amostras A-1 e A. O poço da UNESP é de uma profundidade de 202m e, a esta profundidade corresponde um terreno com arenito mais permeável, o que dificulta a presença de água ligada à matriz do solo. Além disto, as águas neste tipo de terreno não ficam retidas por muito tempo e são diariamente renovadas.

As amostras A-4 e A-5 foram coletadas em emergências de água que se encontram muito distantes uma das outras, aproximadamente 50km. Além disto o tipo de solo é diferente. A densidade de traços nestas amostras indica uma atividade de Rn-222 e filhos pouco significativa. Uma possível explicação deste resultado é que são águas novas e constantemente renovadas. Todos os valores encontrados se encontram dentro do limite das Normas e padrão de potabilidade das águas, Portaria nº. 518/GM do Ministério da Saúde.

A densidade de traços de partículas vindas do decaimento do Rn-222 e filhos está relacionada com o cálculo da dose de radioatividade recebida, segundo descrito em De Paulo (1991). Com o intuito de avaliar se as densidades de traços mostradas na Tabela 3, correspondem a doses com ordens de grandeza comparáveis ao limite de dose permitido para a população como um todo, foi feita uma estimativa da dose-equivalente devido ao Rn-222 (e seus produtos de decaimento), recebida pelo aparelho digestivo, que corresponde ao órgão diretamente afetado pela ingestão de água. É

importante destacar que este cálculo depende das características do tecido, alcance das partículas alfa nos tecidos que compõem o aparelho, e, também, o transporte dos átomos pelas células.

A estimativa da dose baseou-se no procedimento descrito em Hadler (1986, p. 82), considerando-se a quantidade de massa do aparelho digestivo, que efetivamente é exposta à radioatividade, como igual a 1 Kg. Para a relação entre a concentração do Rn-222 no ar (C_a), contido no recipiente onde as lâminas de CR-39 foram expostas, e na água (C_W), foi adotado o valor $f=1x10^{-4}$, que segundo Nazaroff (1990), corresponde a um valor médio obtido através de resultados experimentais coletados por diversos pesquisadores. F é denominado fator de transferência, e obedece a relação $C_a=fC_W$.

Levando-se em conta as considerações acima e as densidades de traços apresentados na Tabela 3, obtivemos as doses para cada uma das amostras de água, apresentadas na Tabela 4. Na segunda coluna da Tabela 4 são apresentados os valores da densidade real para cada detector, ou seja, a densidade de traços obtida após descontar o background (detector B da Tabela 3) e dividir por 0,7, já que a eficiência do CR-39 para partículas α é de aproximadamente 70%. A coluna 3 da Tabela 4 representa uma estimativa da dose recebida pelo órgão em questão, para cada amostra estudada.

Os resultados apresentados neste trabalho poderão ser confirmados com o aumento do número de amostras analisadas. Por esta razão coletamos outras amostras de água de poços da região e colocamos os detectores CR-39, nas mesmas condições descritas neste texto. Os dados obtidos serão comparados com os dados apresentados na Tabela 3 e podemos concluir sobre a importância de se realizar este tipo de pesquisa a nível regional e, também, em regiões que, como Presidente Prudente apresentam um tipo de solo que possibilita o surgimento de poços para retirada da água.

Tabela 4. Doses estimadas para cada detector

Detector	D ± ε(%)	Dose (mSv/ano)
A-1	384 ± 3,2	1
A-2	1546 ± 3,0	2
A-3	6942 ± 3,0	9
A-4	1832 ± 3,9	2
A-5	1832 ± 3,1	2
A-6	197 ± 2,9	0,3

Conclusão

As hipóteses levantadas sobre a relação solo-água-Rn-222 são interessantes do ponto de vista da saúde pública, já que, como comentado anteriormente, estas águas são utilizadas pela população para uso doméstico. Novos dados poderão vir a confirmar nossos resultados:

As amostras, A-4 e A-5 apresentam valores onde a dose calculada está levemente acima da dose limite recomendada para a população como um todo; 1,7 mSv/ano, segundo Hadler e Paulo (1986). A amostra A-3 apresenta um valor onde a dose calculada é de aproximadamente 9 mSv/ano. Este valor está muito acima da dose limite recomendada. Foi obtida outra amostra do mesmo poço e está sendo analisada.

A quantidade de amostras analisadas, não nos permite, no momento, concluir se estes resultados são aplicáveis à região toda. Novas medidas e considerações sobre o aparelho digestivo como um todo são necessárias.

Outros trabalhos realizados pelo grupo apontam que além do tipo de solo, fatores como fraturas no sub-solo e presença de fósseis podem contribuir para a presença de ^{222}Rn nas águas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao professor José Tadeu Garcia Tommaselli pela sua ajuda na interpretação de alguns resultados.

Referências

CAMPOS, H. C. N. S. **Contribuição ao Estado Hidrogeoquímico do Grupo Bauru no Estado de São Paulo**. 1987. 157 f. Tese (Mestrado em Geologia Geral e de Aplicação) – Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. São Paulo.

CARVALHO, W. A. et al. **Levantamento semidetalhado dos solos da Bacia do Rio Santo Anastácio**. Santo Anastácio: Faculdade de Ciências e Tecnologia - FCT, Dep. de Ciências Ambientais – FUNDACTE, 1997. (Boletim Científico nº 2).

DE PAULO, S. R. **Dosimetria ambiental de Rn-222 e filhos: medida da eficiência absoluta do CR-39 levando-se em conta os efeitos do plate-out e fatores ambientais**. 1991. 380 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Física Gleb Wathagin, Universidade de Campinas. Campinas.

ESPINOZA, G.; GOLZARRI, J. I. Radon measurements of groundwater in México. **Nucl. Tracks Radiat. Meas**., v. 19, n. 1-4, p. 305-6, 1991.

FLEISCHER, R. L.; PRICE, P. B.; WALKER, R. M. **Nuclear Tracks in solids**: Principles and application. Berkeley: University of California Press, 1975.

HADLER N., J. C.; PAULO, S. R. Contaminação ambiental pela radioatividade natural, In: REUNIÃO DE TRABALHOS SOBRE FÍSICA NUCLEAR NO BRASIL, 4., 1986, Caxambu, **Livro de resumos**, Caxambu, 1986. p. 82.

KHAN, A. J. A study of indoor radon levels in indian dwellings, influencing factors and lung cancer risks. **Radiation Measurements**. v. 32, p. 87-92, 2000. http://dx.doi.org/10.1016/S1350-4487(99)00275-9

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Normas e padrão de potabilidade das águas destinadas ao consumo humano. Portaria no. 518/GM**. Brasília, Brasil, março de 2004.

MONNIN M. M.; SEIDEL, J. L. Radon and geophysics: recent advances, **Nucl. Tracks Radiat. Meas**., v. 9, n. 1-4, p. 375-382, 1991. http://dx.doi.org/10.1016/1359-0189(91)90219-8

NAZAROFF W. W.; NERO, A. V. **Radon and its decay products in indoor air**. New York, USA: A Wiley Interscience Publication, 1990.

OLIVEIRA, J. et al. Determinação dos níveis de radioatividade natural presentes nas águas utilizadas para abastecimento público no Estado de São Paulo. In: **Anais do Meeting on Nuclear Applications**. 4, 1997. Minas Gerais. p. 18-22.

SOMOGY, G.; ENÁRT, L. Time-integrated radon measurements in spring and well waters by track technique. **Nuclear Tracks**, v. 12, n. 1-6, p. 731-734, 1986.

ZORZETTO, N. L. **Curso de anatomia humana**. 6.ed. Presidente Prudente, SP: Data Júris, 1995. 224 f.