

---

---

# COMPORTAMENTO DOS ISÓTOPOS DE RA NAS ÁGUAS DO RIO RIBEIRA DE IGUAPE

---

---

Sueli Carvalho de Jesus\*  
Hugo D. Chirinos Collantes\*\*

## Resumo

Os isótopos naturais de Ra são muito utilizados para estimar as trocas complexas de águas salgada, subterrânea e de superfície que ocorrem nas regiões costeiras, uma vez que esses efeitos alteram diretamente os ciclos biogeoquímicos da região. Os isótopos de Ra fornecem informações fundamentais a respeito da interação de sedimentos, águas subterrâneas e águas estuarinas. Neste trabalho, foi estudada a distribuição dos isótopos naturais de Ra em amostras de águas provenientes do Rio Ribeira de Iguape, e esse levantamento permitiu estudar as trocas complexas das águas desse rio com os sedimentos e/ou material particulado. Os resultados obtidos mostraram que há um predomínio do isótopo de  $^{228}\text{Ra}$  em todas as amostras. Observou-se uma correlação linear entre a quantidade de material particulado e o aumento da concentração de Ra. Os fluxos dominantes de radionuclídeos têm suas maiores fontes centradas no compartimento fluvial, em sedimentos e material em suspensão. Observou-se que as doses calculadas não excederam o nível de referência de dose efetiva comprometida recomendada.

**Palavras-chave:** Isótopos, Ra, radionuclídeos.

---

\* Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (Ipen-Cnen).

\*\* Universidad Nacional de Ingeniería (Peru).

# 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, com a abertura definitiva da barragem do Valo Grande, o sistema estuarino-lagunar de Cananeia/Iguape permitiu que 70% da carga de material e água doce do Rio Ribeira de Iguape deságue no sistema (COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRA DE IGUAPE E LITORAL SUL, 2010). Com isso, a região sofreu mudanças ecológicas importantes, como a diminuição dos gradientes de salinidade em Iguape até sua desembocadura no mar e a queda da reprodução de algumas espécies de algas e peixes (TESSLER, 1982).

A água do rio e a água do mar diferem amplamente em composição. A água do rio tem baixa força iônica e é rica em partículas em suspensão. O estuário é a zona por meio da qual a água do rio encontra a água do mar. As reações em estuário ocorrem principalmente em resposta às interações das cargas particulares nos rios com a alta força iônica das águas do mar e da produtividade biológica estimulada pelos nutrientes fornecidos pelos rios. Alguns elementos químicos são sequestrados em estuários, outros são liberados pelas partículas ou diluídos com as águas dos rios (MOORE, 2003).

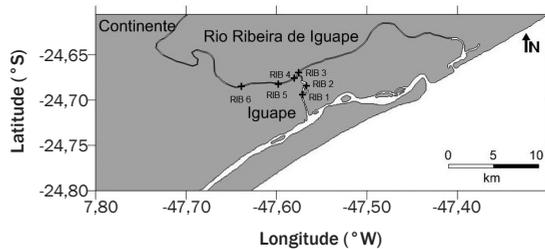
A distribuição natural do Ra em vários compartimentos do ecossistema tem sido de grande importância para a compreensão de seu comportamento ambiental. O Ra liberado para a água de superfície é transportado na água e sofre várias transformações, podendo precipitar e migrar para os sedimentos de fundo ou ser incorporado pelos organismos vivos, entrando, assim, na cadeia alimentar. A difusão de Ra dos sedimentos poderá aumentar as concentrações desse isótopo em amostras de águas costeiras e alcançar a superfície quando houver uma mistura vertical considerável, ressurgência na plataforma, passagem de correntes por planícies rasas ou ainda descarga de águas subterrâneas (WILLIAMS; KIRCHMANN, 1990).

Nas águas correntes e nos reservatórios, o teor de isótopos naturais de Ra é determinado principalmente por sua quantidade na fonte de alimentação desses cursos d'água e pela lixiviação do Ra de solo, rochas e sedimentos. A radiação de fundo pode variar consideravelmente, dependendo da concentração de U, Th e Ra presentes na litosfera local. Este estudo permite compreender o comportamento de radionuclídeos naturais nessa região e a complexa troca de água subterrânea/água de superfície na bacia do Rio Ribeira de Iguape, como também os fluxos de vários constituintes para o complexo estuarino-lagunar de Cananeia/Iguape. Além disso, com as concentrações de atividade de  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{Ra}$  determinadas, é possível avaliar as doses efetivas comprometidas potencialmente recebidas que não devem exceder 0,1 mSv, considerando o consumo anual de água potável (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2003) pelos

indivíduos que utilizam as águas do Rio Ribeira de Iguape. Esses cálculos são determinados considerando a hipótese de consumo diário de 2 L de água ao longo de um ano (OLIVEIRA et al., 2001) e têm como finalidade atender aos limites recomendados no Brasil pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 2004): 0,1 Bq/L para a atividade alfa global e 1 Bq/L para a atividade beta global.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras de água do Rio Ribeira de Iguape foram coletadas em seis estações localizadas ao longo do Rio Ribeira, próximo da barragem do Valo Grande em Iguape (Figura 1).



**Figura 1** Localização dos pontos de coleta das amostras de água subterrâneas em Cananeia, Ilha Comprida e Iguape.

A amostragem foi realizada em duas campanhas: fevereiro e agosto de 2009. A Tabela 1 apresenta as coordenadas geográficas de cada estação de coleta.

**TABELA 1**

Coordenadas geográficas das amostras das águas de superfície do Rio Ribeira de Iguape (agosto de 2009)

Amostras	Latitude	Longitude
RIB 01	24°41.470'S	47°34.200'W
RIB 02	24°41.700'S	47°36.800'W
RIB 03	24°40.250'S	47°33.860'W
RIB 04	24°40.510'S	47°34.920'W
RIB 05	24°40.750'S	47°35.750'W
RIB 06	24°40.190'S	47°36.430'W

Para determinação das concentrações de  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{Ra}$ , as amostras inicialmente foram aciduladas com a adição de 10 mL de  $\text{HNO}_3$  65%, a fim de evitar perdas de adsorção dos radionuclídeos a serem determinados. Em seguida, foram filtradas com o objetivo de evitar a presença de partículas em suspensão. A pré-concentração das amostras foi realizada evaporando um volume de 5 L para 1 L. Os isótopos  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{Ra}$  foram determinados por coprecipitação com sulfato de bário em pH 4,5 – 5,0 na presença de Edta. O rendimento químico gravimétrico obtido para o  $\text{Ba}(\text{Ra})\text{SO}_4$  foi de  $(90 \pm 5)\%$ . As amostras de  $\text{Ba}(\text{Ra})\text{SO}_4$  foram medidas 21 dias após a coprecipitação. Os valores das concentrações de atividade de  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{Ra}$  foram realizados pelas contagens alfa e beta total de um precipitado de  $\text{Ba}(\text{Ra})\text{SO}_4$  em um detector proporcional de fluxo gasoso de baixa radiação de fundo, modelo Berthold LB 770 (MOORE; OLIVEIRA, 2008; MOORE, 2003).

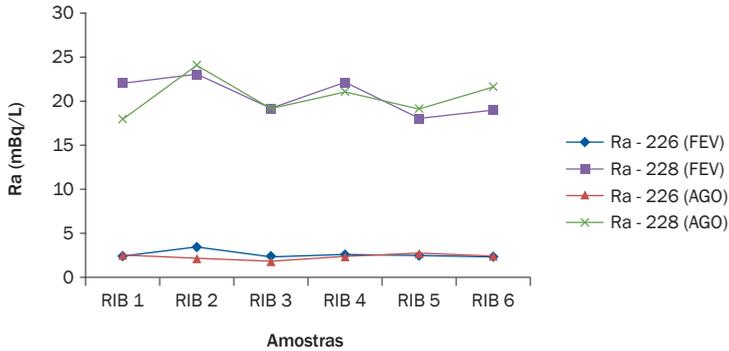
Determinaram-se as concentrações do material em suspensão e da matéria orgânica em suspensão. Adotou-se a metodologia recomendada por Strickland e Parsons (1968). As salinidades foram determinadas a partir de um salinômetro indutivo da marca Beckman – RS-10.

---

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

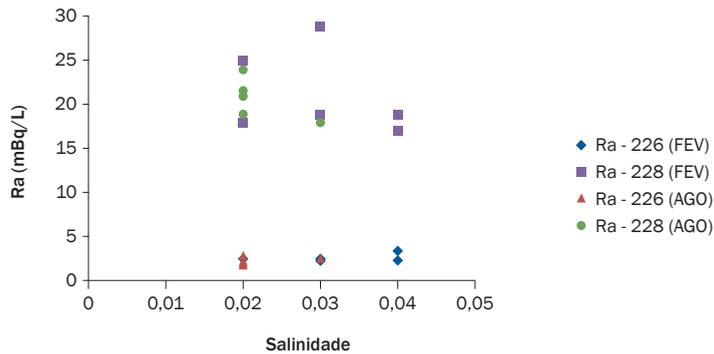
Nas águas do Rio Ribeira de Iguape, as maiores concentrações de atividade de  $^{228}\text{Ra}$  foram observadas na campanha realizada em agosto de 2009. Apesar de esse banco de dados ser representativo do período de inverno (seco), ocorreram, durante a amostragem, chuvas intensas decorrentes de instabilidade meteorológica. A incidência de chuvas aumenta o volume de água circulante nos rios e canais de maré, com consequente aumento na turbidez e ressuspensão de sedimentos e material particulado.

Considerando os resultados das razões isotópicas, é possível observar no Gráfico 1 uma predominância dos isótopos de  $^{228}\text{Ra}$  da série natural do  $^{232}\text{Th}$  em todas as amostras estudadas, em comparação com o isótopo de  $^{226}\text{Ra}$ . Esses resultados refletem a presença de uma concentração maior de  $^{232}\text{Th}$  em relação ao  $^{238}\text{U}$  nas rochas e sólidos dos aquíferos na região de interesse (PEREIRA et al., 1986).



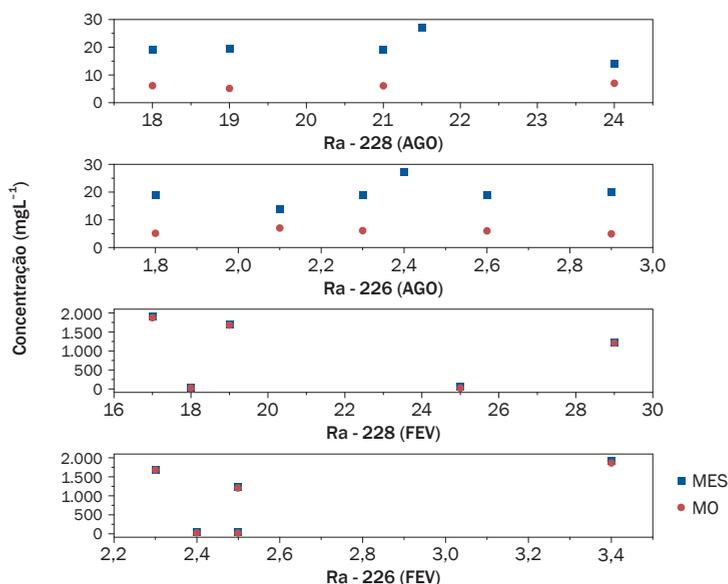
**Gráfico 1** Distribuição da atividade do Ra nas amostras coletadas no Rio Ribeira de Iguape.

O valor elevado da razão de atividade ( $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ ) na estação RIB2 indica que nesse local há uma grande troca desses isótopos com os sedimentos ou o material em suspensão. Nessa posição, pode existir turbulência ou possível nascente, uma vez que o baixo valor de salinidade demonstra que a força iônica não foi o processo dominante de liberação do Ra do material particulado em suspensão.



**Gráfico 2** Distribuição da atividade do Ra em função da salinidade.

No Gráfico 2, observa-se que os valores de salinidade foram inferiores a 1 durante todo o período de estudo. A baixa salinidade encontrada nas amostras de água do Rio Ribeira de Iguape indica que o processo de intrusão de água do mar no rio é mínimo.



**Gráfico 3** Distribuição da atividade do Ra em função da concentração do material particulado em suspensão (MES) e da matéria orgânica (MO).

A distribuição das concentrações de atividade dos isótopos naturais Ra em função do material particulado em suspensão e da matéria orgânica mostrada no Gráfico 3 evidencia que, na campanha de fevereiro de 2009, os dois índices apresentaram concentrações equivalentes. Na campanha realizada em agosto de 2009, não foi obtida a mesma similaridade por causa da chuva ocorrida nesse período. As amostras coletadas no mês de fevereiro de 2009 apresentaram maior concentração de material particulado em suspensão e matéria orgânica do que as coletadas em agosto de 2009. Além disso, observou-se uma correlação linear entre a quantidade de material particulado em suspensão e o aumento da concentração do  $^{228}\text{Ra}$ .

As doses efetivas potencialmente comprometidas recebidas pelos indivíduos que consomem essas águas foram calculadas a partir dos valores máximos de concentrações de atividade de  $^{226}\text{Ra}$  e de  $^{228}\text{Ra}$ .

TABELA 2

Estimativa de dose efetiva comprometida nas águas subterrâneas

$\text{He } ^{226}\text{Ra}$ (mSv/ano)	$\text{He } ^{228}\text{Ra}$ (mSv/ano)
$6,9 \times 10^{-4}$	$1,4 \times 10^{-2}$

Os valores encontrados demonstram que as doses calculadas não excederam níveis de referência de dose efetiva comprometida de 0,1 mSv, segundo recomendação da World Health Organization (2003).

---

## 4 CONCLUSÃO

Quando se avaliaram qualitativamente as diferenças entre o comportamento dos dois isótopos de Ra de meias-vidas longas, as concentrações de  $^{226}\text{Ra}$  não apresentaram distribuição idêntica do  $^{228}\text{Ra}$ . Isso ocorreu devido a um aporte negligenciável advectivo das águas intersticiais dos sedimentos e águas subterrâneas para o cenário de interesse. Foi observado que os fluxos dominantes dos radionuclídeos têm suas maiores fontes centradas no compartimento fluvial, nos sedimentos e no material em suspensão. Os dados obtidos mostraram que há uma predominância do isótopo de  $^{228}\text{Ra}$ , reflexo da presença de uma concentração maior de  $^{232}\text{Th}$  nos sedimentos e/ou nas rochas em contato com as águas do Rio Ribeira.

### BEHAVIOR OF RA ISOTOPES IN WATERS OF RIBEIRA IGUAPE RIVER

#### Abstract

The Ra natural isotopes were used to estimate the seawater, groundwater and subsurface water complex exchange into the cost regions zone, because this affect the biogeochemical cycles. These Ra natural isotopes give more fundamental information about the interaction into the sediments, groundwater and water estuary. In this report the Ra isotopes distribution were studied in Rio Iguape's raw water. The complex exchange of Rio Iguape's raw water with the sediments and particulate material were studied. These results show some prevalence of  $^{228}\text{Ra}$  isotopes in all samples. The linear correlation into particulate material with the Ra increasing was showed. The prevalence flux of radionuclide from the fluvial compartment, the sediments and the suspension material. The calculate dose no arising the reference of effective dose level recommended.

**Keywords:** Isotopes, Ra, radionuclide.

## REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério da Saúde. Normas e padrão da potabilidade da água destinada ao consumo humano. Portaria n. 518. *Diário Oficial da União*, Brasília, 25 mar. 2004.
- COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRA DE IGUAPE E LITORAL SUL (CRH-RB). Relatório de situação dos recursos hídricos da UGRHI 11 – Relatório Zero. Disponível em: <[http://geolog.igc.usp.br/geoproc/rs\\_ugrhi\\_rb/](http://geolog.igc.usp.br/geoproc/rs_ugrhi_rb/)>. Acesso em: 8 ago. 2010.
- MOORE, W. S. Sources and fluxes of submarine groundwater discharge delineated by radium isotopes. *Biogeochemistry*, v. 66, p. 75-93, 2003.
- MOORE, W. S.; OLIVEIRA, J. Determination of residence time and mixing processes of Brazil, inner shelf waters using natural Ra isotopes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 76, p. 512-521, 2008.
- OLIVEIRA, J. et al. Natural radionuclides in drinking water supplies of São Paulo State, Brazil and consequent population doses. *Journal of Environmental Radioactivity*, v. 53, p. 99-109, 2001.
- PEREIRA, E. B. et al. U, Th and K content, heat production the thermal conductivity of São Paulo, Brazil, continental shelf sediments: a reconnaissance work. *Chemical Geology*, v. 58, p. 217-226, 1986.
- STRICKLAND, J. D. H.; PARSONS, T. R. A manual for sea water analysis. *Bull. Fish. Rs. Bd.*, Canadá, p. 167, 1968.
- TESSLER, M. G. *Sedimentação atual na região lagunar de Cananéia-Iguape, Estado de São Paulo*. 1982. 2 v. Dissertação (Mestrado em Geociências)–Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1982.
- WILLIAMS, A. R.; KIRCHMANN, R. J. Radium – a historical introduction. In: \_\_\_\_\_. *The environmental behaviour of radium*. Vienna: IAEA, 1990. v. 1, p. 3-10. (Technical Report Series, n. 310).
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Guidelines for drinking water quality*. Recommendations. 2. ed. Geneva: United Nations, 2003. v. 1.

### Contato

Hugo D. Chirinos Collantes  
e-mail: hdcoll@gmail.com