

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
“AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO”

ESTUDO DA VARIAÇÃO SAZONAL DAS CONCENTRAÇÕES DE
 ^{222}Rn EM AMOSTRAS DE ÁGUA DO MAR NAS ENSEADAS DE
UBATUBA, PARA A ESTIMATIVA DA DESCARGA DE ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS

PATRÍCIA DA COSTA LOPES



Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Aplicações.

Orientadora:
Dra. Joselene de Oliveira

São Paulo
2005

Dedico ao meu esposo, meus pais e minha sogra. Pois foram meus melhores amigos, onde no momento de desânimo, encontrei forças o suficiente para vencer e concretizar este trabalho. Sou feliz por tê-los como amigos e orgulhosa pelo companheirismo.

Agradecimentos

Primeiramente à Deus pela saúde, sabedoria e paz para concluir este trabalho.

A Dra. JOSELENE DE OLIVEIRA, minha orientadora, pela orientação, em especial agradeço pela oportunidade e incentivo para o desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, e pela amizade que nos uniu durante a realização deste trabalho.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP processo nº 02/08902-9, pela concessão de uma bolsa de mestrado.

A Dra. Adir Janete Godoy dos Santos pela contribuição e convivência durante o desenvolvimento do trabalho.

Ao prof^o Dr. Valdenir Veronese Furtado do IO-USP, pelo apoio técnico na coleta das amostras de água do mar.

A prof^a Dra. Elisabete de Santis Braga IO-USP, Labnut, pela realização das análises das concentrações de nutrientes e parâmetros físicos, das amostras de água do mar, em especial ao técnico Vitor Gonzalez Chiozzini.

Aos funcionários da Base “Clarimundo de Jesus” do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IO/USP) em especial: Oziel, Manoel e Orlando.

A todos os funcionários do Laboratório de Radiometria Ambiental.

Ao meu esposo pelo carinho, compreensão e incentivo.

A minha família que com grande carinho e amor sempre me ajudaram.

Aos meus amigos.

“Se te mostrares frouxo no dia da angústia, a tua força será pequena.”

Pv.24:10.

ESTUDO DA VARIAÇÃO SAZONAL DAS CONCENTRAÇÕES DE ^{222}Rn EM AMOSTRAS DE ÁGUA DO MAR NAS ENSEADAS DE UBATUBA, PARA A ESTIMATIVA DA DESCARGA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Patrícia da Costa Lopes

RESUMO

Neste trabalho é descrita a aplicação das concentrações de ^{222}Rn em excesso para se estimar a descarga de águas subterrâneas (SGD) em três enseadas estudadas na região de Ubatuba, litoral norte do Estado de São Paulo, Brasil, abrangendo as latitudes situadas entre $23^{\circ}26'S$ e $23^{\circ}46'S$ e longitudes entre $45^{\circ}02'W$ e $45^{\circ}11'W$. Os inventários de ^{222}Rn em excesso obtidos em 24 perfis verticais estabelecidos na região de interesse no período de Março/03 a Julho/05 variaram de 345 ± 24 a 18.700 ± 4.900 dpm m^{-2} . Os maiores inventários de ^{222}Rn em excesso foram observados nas enseadas do Flamengo e da Fortaleza, nas coletas realizadas no verão (estação chuvosa). Os fluxos de ^{222}Rn em excesso na coluna d'água variaram de 62 ± 4 a 3.385 ± 880 dpm $\text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$. Os fluxos de água subterrânea necessários para balancear os respectivos fluxos de ^{222}Rn em excesso por advecção ($\omega = \text{SGD}$) variaram de $0,1 \times 10^{-1}$ a $1,9 \text{ cm d}^{-1}$ ($\text{cm}^3 / \text{cm}^2 \text{ d}^{-1}$).

Considerando-se todos os fluxos de água subterrânea (SGD) obtidos no período de Março/03 a Julho/05, o respectivo coeficiente de variação relativo encontrado foi de 89% (variação sazonal em 3 anos, $n = 24$ medidas). Se considerarmos cada ano de estudo isoladamente, os respectivos coeficientes de variação relativos são 72% em 2003 ($n = 10$ medidas), 127% em 2004 ($n = 6$ medidas) e 97% em 2005 ($n = 8$ medidas).

**SEASONAL VARIATIONS OF ^{222}Rn IN SEA WATER SAMPLES FROM
UBATUBA EMBAYMENTS FOR THE ASSESSMENT OF SUBMARINE
GROUNDWATER DISCHARGE**

Patrícia da Costa Lopes

ABSTRACT

We describe here an application of excess ^{222}Rn to estimate SGD in a series of small embayments of Ubatuba, São Paulo State, Brazil, covering latitudes between $23^{\circ}26'S$ and $23^{\circ}46'S$ and longitudes between $45^{\circ}02'W$ e $45^{\circ}11'W$. Excess ^{222}Rn inventories obtained in 24 vertical profiles established from March/03 to July/05 varied from 345 ± 24 to $18,700 \pm 4,900$ dpm/m². The highest inventories of excess ^{222}Rn were observed both in Flamengo and Fortaleza embayments, during summer campaigns (rainy season). The estimated total fluxes required to support inventories measured varied from 62 ± 4 to $3,385 \pm 880$ dpm/m² d. Considering these results, the SGD advective rates necessary to balance the fluxes calculated in Ubatuba embayments ranged from 0.1×10^{-1} to 1.9 cm/d.

Taking into account all SGD fluxes obtained, the percentual variability was 89% (seasonal variation in 3 years period, n = 24 measurements). Although, if we consider each year of study separately, the respective percentual variabilities estimated are 72% in 2003 (n = 10 measurements), 127% in 2004 (n = 6 measurements) and 97% in 2005 (n = 8 measurements).

SUMÁRIO

	Página
Resumo	v
Abstract.....	vi
Lista de Tabelas.....	ix
Lista de Figuras.....	xvi
Capítulo 1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1.Introdução e justificativas.....	1
1.2.Definição e importância da descarga de águas subterrâneas no ambiente costeiro.....	4
1.2.1.Histórico.....	5
1.2.2.Metodologias utilizadas na estimativa da SGD.....	7
1.3.Objetivos do presente trabalho.....	8
Capítulo 2. CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O RADÔNIO.....	9
2.1.O elemento.....	9
2.2.O ambiente aquático e o radônio.....	10
2.3.Água subterrânea	11
2.4.Radioatividade das águas.....	14
Capítulo 3. PARTE EXPERIMENTAL.....	17
3.1.O monitor portátil para detecção de radônio – RDA-200 e a sua calibração.....	17
3.2.Montagem dos frascos utilizados para coletas e preparação dos padrões.....	19
3.3.Determinação da eficiência total de extração dos quatro sistemas da linha de emanção.....	20
3.4.Determinação do limite inferior de detecção (LID).....	21
3.5.Determinação das concentrações de ²²² Rn em amostras de água do mar por emanometria.....	22

3.6. Estimativa da descarga de águas subterrâneas utilizando-se ^{222}Rn como traçador.....	25
3.7. Localização da área de estudo e coleta das amostras.....	29
3.8. Coleta das amostras de água do mar e águas subterrâneas para a determinação de ^{222}Rn em excesso.....	30
3.9. Determinação das concentrações da salinidade e dos nutrientes nas amostras de água subterrâneas e água do mar.....	32
3.9.1. Salinidade.....	32
3.9.2. Nitrato.....	32
3.9.3. Nitrito.....	33
3.9.4. Fosfato.....	33
3.9.5. Silicato.....	34

Capítulo 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....35

4.1. Eficiência total de extração dos quatro sistemas da linha de emanção.....	35
4.2. Cálculo do limite inferior de detecção (LID).....	36
4.3. As concentrações de ^{222}Rn e nutrientes em amostras de água do mar e dos poços de monitoração.....	36

Capítulo 5. CONCLUSÕES.....51

Apêndice A.....55

Apêndice B.....65

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....74

LISTA DE TABELAS

<u>Tabela</u>	<u>Página</u>
1.Médias aritméticas da eficiência total de extração dos quatro sistemas de emanção de ^{222}Rn	35
2.Atividades de ^{222}Rn em equilíbrio com o sedimento úmido (C_{eq}) e de atividade de ^{222}Rn na água do fundo, na interface água-sedimento, multiplicado pela porosidade para se obter o correspondente valor de ^{222}Rn no sedimento úmido (C_o), determinados pela medida das amostras de sedimento das enseadas estudadas em Ubatuba.....	48
3.Inventários de ^{222}Rn em excesso, fluxos s de ^{222}Rn em excesso requeridos para suportar os inventários medidos e as taxas de advecção da água subterrânea ($\omega = \text{SGD}$) necessárias para balancear os respectivos fluxos (Março/2003-Julho/2005).....	49

APÊNDICE - A

Tabela

A1.Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical determinado no centro da Enseada do Mar Virado, coluna d'água 8 m, estação latitude $23^{\circ}33.055'S$ e longitude $45^{\circ}11.957'W$ (21/Março/2003).....	55
A2.Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical determinado no centro da Enseada da Fortaleza, coluna d'água 8 m, estação latitude $23^{\circ}30.835'S$ e longitude $45^{\circ}09.078'W$ (21/Março/2003).....	55
A3.Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical determinado no centro da Praia das Sete Fontes (enseada do Flamengo), coluna d'água 8 m, estação latitude $23^{\circ}31.205'S$ e longitude $45^{\circ}06.851'W$ (21/Março/2003).....	55
A4.Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical determinado no centro da Praia do Refúgio do Corsário (enseada da Fortaleza),	

coluna d'água 8 m, estação latitude 23°31.566'S e longitude 45°09.434'W (24/Março/2003).....	56
A5.Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical determinado no centro da Praia Domingas Dias (enseada do Flamengo), coluna d'água 6 m, estação latitude 23°29.962'S e longitude 45°08.811'W (24/Março/2003).....	56
A6.Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical determinado no centro da Enseada do Flamengo, coluna d'água 8 m, estação latitude 23°30.592'S e longitude 45°05.740'W (24/Março/2003).....	56
A7.Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical determinado no centro da Praia Grande (Ilha Anchieta), coluna d'água 8 m, estação latitude 23°31.742'S e longitude 45°04.382'W (24/Março/2003).....	57
A8.Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical determinado na Enseada do Flamengo, coluna d'água 4,8 m, estação latitude 23°29.597'S e longitude 45°06.324'W (18/Novembro/2003).....	57
A9.Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical determinado na Enseada do Flamengo, coluna d'água 8 m, estação latitude 23°30.422'S e longitude 45°06.202'W (18/Novembro/2003).....	57
A10.Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical determinado no centro da Enseada do Flamengo, coluna d'água 11 m, estação latitude 23°30.422'S e longitude 45°06.202'W (20/Novembro/2003).....	58
A11.Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observadas nas águas de superfície entrando na Enseada do Flamengo e da Praia do Perequê-Mirim (20/Novembro/2003).....	58
A12.Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical determinado no centro da Enseada do Flamengo, coluna d'água 11 m, estação latitude 23°30.600'S e longitude 45°05.800'W (27/Maio/2004).....	58
A13.Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical determinado no centro da Enseada da Fortaleza, coluna d'água 8 m, estação latitude 23°31.532'S e longitude 45°09.288'W (25/Agosto/2004).....	59

A14. Concentrações , salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical determinado no centro da Enseada do Perequê-Mirim, coluna d'água 5 m, estação latitude 23°29.513'S e longitude 45°06.315'W (25/Agosto/2004).....	59
A15. Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical determinado a esquerda da Enseada do Perequê-Mirim, coluna d'água 2,7m, estação latitude 23°29.398'S e longitude 45°06.361'W (25/Agosto/2004).....	59
A16. Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical determinado a direita da Enseada do Perequê-Mirim, coluna d'água 3,2 m, estação latitude 23°29.561'S e longitude 45°06.207'W (25/Agosto/2004).....	60
A17. Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical determinado no centro da Enseada do Flamengo, coluna d'água 8m, estação latitude 23°30.530'S e longitude 45°05.988'W (25/Agosto/2004).....	60
A18. Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato observados nas amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoração instalados na Enseada do Flamengo (26/Agosto/2004).....	60
A19. Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical determinado no centro da Enseada da Fortaleza, coluna d'água 9 m, estação latitude 23°31.052'S e longitude 45°09.030'W (09/Março/2005).....	61
A20. Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical determinado no centro da Enseada do Flamengo coluna d'água 8,2 m, estação latitude 23°30.625'S e longitude 45°05.842'W (09/Março/2005).....	61
A21. Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical determinado a esquerda da Enseada do Perequê-Mirim, coluna d'água 2,4 m, estação latitude 23°29.392'S e longitude 45°06.373'W (09/Março/2005).....	61
A22. Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical determinado a direita da Enseada do Perequê-Mirim, coluna d'água 2,4 m, estação latitude 23°29.408'S e longitude 45°06.242'W (09/Março/2005).....	62
A23. Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato observados nas amostras de águas subterrâneas coletadas nos poços de monitoração instalados na Enseada do Flamengo (10/Março/2005).....	62

A24. Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical, coluna d'água 29.5 m, estação latitude 23°35.325'S e longitude 45°04.038'W (05/Julho/2005).....	62
A25. Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical, coluna d'água 38 m, estação latitude 23°37.965'S e longitude 44°59.956'W (05/Julho/2005).....	63
A26. Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical, coluna d'água 2,4 m, estação latitude 23°33.949'S e longitude 45°06.417'W (06/Julho/2005).....	63
A27. Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical, coluna d'água 12 m, estação latitude 23°31.208'S e longitude 45°06.166'W (06/Julho/2005).....	63
A28. Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical no centro da Enseada do Flamengo, coluna d'água 8.2 m, estação latitude 23°30.550'S e longitude 45°05.951'W (06/Julho/2005).....	64
A29. Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical no centro da Enseada do Perequê-Mirim, coluna d'água 4 m, estação latitude 23°29.490'S e longitude 45°06.353'W (06/Julho/2005).....	64
A30. Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato observados nas amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoração instalados na Enseada do Flamengo (07/Julho/2005).....	64

APÊNDICE - B

Tabela

B1. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas no perfil vertical determinado no centro da enseada do Mar Virado, estação latitude 23°33.055'S e longitude 45°11.957'W (profundidade máxima aproximada 8 m).....	65
B2. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas no perfil vertical determinado no centro da enseada da Fortaleza, estação latitude 23°30.835'S e longitude 45°09.078'W (profundidade máxima aproximada 8 m).....	65

B3. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas no perfil vertical determinado de Sete Fontes de Praia (enseada do Flamengo), estação latitude $23^{\circ}31.205'\text{S}$ e longitude $45^{\circ}06.851'\text{W}$ (profundidade máxima aproximada 8 m).....	65
B4. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas no perfil vertical determinado no centro da Praia Refúgio do Corsário (enseada da Fortaleza), estação latitude $23^{\circ}31.566'\text{S}$ e longitude $45^{\circ}09.434'\text{W}$ (profundidade máxima aproximada 8 m)...	66
B5. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas no perfil vertical determinado no centro da Praia Domingas Dias (enseada do Flamengo), estação latitude $23^{\circ}29.962'\text{S}$ e longitude $45^{\circ}08.811'\text{W}$ (profundidade máxima aproximada 6 m).....	66
B6. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas no perfil vertical determinado no centro da enseada do Flamengo, estação latitude $23^{\circ}30.592'\text{S}$ e longitude $45^{\circ}05.740'\text{W}$ (profundidade máxima aproximada 8 m).....	66
B7. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas no perfil vertical determinado no centro da Praia Grande (ilha Anchieta), estação latitude $23^{\circ}31.742'\text{S}$ e longitude $45^{\circ}04.382'\text{W}$ (profundidade máxima aproximada 8 m).....	66
B8. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas nas amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoração instalados na enseada do Flamengo.....	67
B9. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas no perfil vertical determinado na enseada do Flamengo, estação latitude $23^{\circ}29.597'\text{S}$ e longitude $45^{\circ}06.324'\text{W}$ (profundidade máxima aproximada 4,8 m).....	67
B10. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas no perfil vertical determinado na Enseada do Flamengo, estação latitude $23^{\circ}30.422'\text{S}$ e longitude $45^{\circ}06.202'\text{W}$ (profundidade máxima aproximada 8 m).....	67
B11. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas no perfil vertical determinado na enseada do Flamengo, estação latitude $23^{\circ}30.422'\text{S}$ e longitude $45^{\circ}06.202'\text{W}$ (profundidade máxima aproximada 11 m).....	68
B12. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas nas águas de superfície entrando na enseada do Flamengo e da Praia do Pereque Mirim.....	68

B13. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas das amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoração instalados na Enseada do Flamengo.....	68
B14. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas no perfil vertical determinado no centro da enseada do Flamengo, estação latitude $23^{\circ}30.600'\text{S}$ e longitude $45^{\circ}05.800'\text{W}$ (profundidade máxima aproximada 9 m).....	69
B15. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas no perfil vertical determinado no centro da enseada da Fortaleza, estação latitude $23^{\circ}31.532'\text{S}$ e longitude $45^{\circ}09.288'\text{W}$ (profundidade máxima aproximada 8 m).....	69
B16. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas no perfil vertical determinado no centro da enseada do Perequê-Mirim, estação latitude $23^{\circ}29.513'\text{S}$ e longitude $45^{\circ}06.315'\text{W}$ (profundidade máxima aproximada 5 m).....	69
B17. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas no perfil vertical determinado a esquerda da enseada do Perequê-Mirim, estação latitude $23^{\circ}29.398'\text{S}$ e longitude $45^{\circ}06.361'\text{W}$ (profundidade máxima aproximada 2,7 m).....	70
B18. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas no perfil vertical determinado a direita da enseada do Perequê-Mirim, estação latitude $23^{\circ}29.561'\text{S}$ e longitude $45^{\circ}06.207'\text{W}$ (profundidade máxima aproximada 3,2 m).....	70
B19. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas no perfil vertical determinado no centro da enseada do Flamengo, estação latitude $23^{\circ}30.530'\text{S}$ e longitude $45^{\circ}05.988'\text{W}$ (profundidade máxima aproximada 8 m).....	70
B20. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas das amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoração instalados na enseada do Flamengo.....	71
B21. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas no perfil vertical determinado no centro da enseada da Fortaleza, estação latitude $23^{\circ}31.052'\text{S}$ e longitude $45^{\circ}09.030'\text{W}$ (profundidade máxima aproximada 9 m).....	71
B22. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas no perfil vertical determinado no centro da enseada do Flamengo, estação latitude $23^{\circ}30.625'\text{S}$ e longitude $45^{\circ}05.842'\text{W}$ (profundidade máxima aproximada 8,2 m).....	71

B23. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas no perfil vertical determinado a esquerda da enseada do Perequê-Mirim, estação latitude $23^{\circ}29.392'\text{S}$ e longitude $45^{\circ}06.373'\text{W}$ (profundidade máxima aproximada 2,4 m).....	72
B24. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas no perfil vertical determinado a direita da enseada do Perequê-Mirim, estação latitude $23^{\circ}29.408'\text{S}$ e longitude $45^{\circ}06.242'\text{W}$ (profundidade máxima aproximada 2,4 m).....	72
B25. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas das amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoração instalados na enseada do Flamengo.....	72
B26. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas no perfil vertical determinado na estação latitude $23^{\circ}33.949'\text{S}$ e longitude $45^{\circ}06.417'\text{W}$ (profundidade máxima aproximada 2,4 m).....	72
B27. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas no perfil vertical determinado na estação latitude $23^{\circ}31.208'\text{S}$ e longitude $45^{\circ}06.166'\text{W}$ (profundidade máxima aproximada 12 m).....	73
B28. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas no perfil vertical determinado no centro da Enseada do Flamengo, na estação latitude $23^{\circ}31.208'\text{S}$ e longitude $45^{\circ}06.166'\text{W}$ (profundidade máxima aproximada 8.2 m).....	73
B29. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas no perfil vertical determinado no centro da Enseada do Perequê-Mirim, na estação latitude $23^{\circ}29.490'\text{S}$ e longitude $45^{\circ}06.353'\text{W}$ (profundidade máxima aproximada 4 m).....	73
B30. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas das amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoração instalados na Enseada do Flamengo.....	73

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura</u>	<u>Página</u>
1. Diagrama ilustrando a troca de fluídos (sem escala) dos processos associados com a recarga e descarga de fontes subterrâneas para a região costeira. As setas indicam o movimento dos fluídos [23].....	5
2. Representação do ciclo hidrológico.....	13
3. Série de decaimento radioativo natural do ^{238}U	15
4. Monitor RDA-200 (marca Scintrex).....	18
5. Montagem dos frascos para a coleta e determinação de ^{222}Rn nas amostras de água.....	19
6. Representação do sistema de desgaseificação de ^{222}Rn	23
7. Modelo compartimental de blocos mostrando as vias de difusão e advecção relevantes para a determinação da SGD a partir do ^{222}Rn	26
8. Localização das enseadas estudadas na região de Ubatuba.....	29
9. Poços de monitoração de água subterrânea.....	37
10. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e inventários de ^{222}Rn em excesso determinados no perfil vertical estabelecido na enseada do Mar Virado, em Março/03.....	38
11. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e inventários de ^{222}Rn em excesso determinados no perfil vertical estabelecido na enseada da Fortaleza, em Março/03.....	38
12. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e inventários de ^{222}Rn em excesso determinados no perfil vertical estabelecido na praia de Sete Fontes, enseada do Flamengo, em Março/03.....	39
13. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e inventários de ^{222}Rn em excesso determinados no perfil vertical estabelecido na praia do Refúgio do Corsário, enseada da Fortaleza, em Março/03.....	39
14. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e inventários de ^{222}Rn em excesso determinados no perfil vertical estabelecido na praia de Domingas Dias, enseada do Flamengo, em Março/03.....	40

15. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e inventários de ^{222}Rn em excesso determinados no perfil vertical estabelecido na enseada do Flamengo, em Março/03.....	40
16. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e de inventários ^{222}Rn em excesso determinados no perfil vertical estabelecido na Praia Grande, enseada do Flamengo, em Março/03.....	41
17. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e de inventários ^{222}Rn em excesso determinados no perfil vertical estabelecido na enseada do Flamengo, em Novembro/03.....	41
18. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e de inventários ^{222}Rn em excesso determinados no perfil vertical estabelecido na enseada do Flamengo, em Novembro/03.....	42
19. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e de inventários ^{222}Rn em excesso determinados no perfil vertical estabelecido na enseada do Flamengo, em Novembro/03.....	42
20. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e de inventários ^{222}Rn em excesso determinados no perfil vertical estabelecido no centro da enseada do Flamengo, em Maio/04.....	43
21. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e de inventários ^{222}Rn em excesso determinados no perfil vertical estabelecido na enseada da Fortaleza, em Agosto/04.....	43
22. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e de inventários ^{222}Rn em excesso determinados no perfil vertical estabelecido no centro da praia do Perequê-Mirim, em Agosto/04.....	44
23. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e de inventários ^{222}Rn em excesso determinados no perfil vertical estabelecido no centro da enseada do Flamengo, em Agosto/04.....	44
24. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e de inventários ^{222}Rn em excesso determinados no perfil vertical estabelecido no centro da enseada da Fortaleza, em Março/05.....	45
25. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e de inventários ^{222}Rn em excesso determinadas no perfil vertical estabelecido no centro da enseada do Flamengo, em Março/05.....	45
26. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e de inventários ^{222}Rn em excesso determinados no perfil vertical estabelecido na estação A-2, enseada da Fortaleza, em Julho/05.....	46
27. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e de inventários ^{222}Rn em excesso determinados no perfil vertical estabelecido no centro da enseada do Flamengo, em Julho/05.....	46
28. Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e de inventários ^{222}Rn em excesso determinados no perfil vertical estabelecido no centro da praia do Perequê-Mirim, em Julho/05.....	47

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1. Introdução e Justificativas

Atualmente, pelo menos metade da população mundial vive em uma faixa de até 150 km da costa e 13 das maiores cidades do mundo localizam-se na zona costeira. Além disso, o número das grandes cidades costeiras cresce a cada ano. A ocupação da zona costeira é um desafio ao equilíbrio que deve existir entre o desenvolvimento e a preservação ambiental [1].

O Brasil tem mais de 80% de sua população concentrada nas zonas urbanas. Nas cidades vivem aproximadamente 137,6 milhões de pessoas, 81,2% de uma população total de 169,5 milhões. O movimento populacional em direção às regiões litorâneas também tem sido identificado no Brasil [2].

O litoral sempre foi um ambiente atrativo à fixação do homem. Mais de 60% da população brasileira ocupam a região costeira em grandes centros urbanos. Poluição das águas, perda da balneabilidade das praias, erosão ou assoreamento de rios e corpos d'água litorâneos, mortandade de peixes, florescimento de microalgas, lixo, enchentes, desmatamento e desmoronamento de encostas são alguns dos inúmeros problemas ambientais em centros urbanos costeiros. Os impactos ambientais observados na zona costeira estão, em maior ou menor grau, associados aos tipos de ecossistemas presentes em cada região e ao modo como a cidade estabelece a relação de trocas com o ambiente do entorno.

O programa de Meio Ambiente das Nações Unidas (UNEP) de 1990 [1] relaciona como principais grupos de poluentes marinhos que impactam as zonas costeiras e oceânicas, em escala mundial, os esgotos sanitários, compostos orgânicos persistentes,

elementos radioativos, metais pesados, nutrientes contendo nitrogênio e fósforo, hidrocarbonetos, materiais em suspensão (movimentação de sedimentos) e lixo sólido. Numa avaliação global, os dois grupos de poluentes que mais impactam os ecossistemas da costa brasileira são os esgotos domésticos e os compostos orgânicos persistentes. Os esgotos pelo volume elevado e por serem, freqüentemente, despejados quase sem tratamento prévio. O problema dos esgotos é de longe muito mais complexo do que se imagina. Isso porque o tratamento adequado dos esgotos domésticos, que não podem ter a sua geração suspensa, exige grandes investimentos e não rende os mesmos dividendos políticos da construção de obras como estradas, pontes e viadutos. O saneamento básico, como a qualidade da água oferecida à população, apesar de essencial para a qualidade de vida, ainda é deficiente no Brasil.

Para se ter uma idéia da gravidade da questão dos esgotos domésticos no Brasil, em 2003, segundo dados do Ministério do Meio Ambiente [2], apenas 20% da população residente nas zonas costeiras estava servida por serviços de coleta e tratamento.

A água subterrânea constitui uma via importante de entrada de vários nutrientes e poluentes em ambientes marinhos costeiros e outros corpos de água superficial. Alguns radionuclídeos naturais como ^4He , ^3He , ^3H , ^{222}Rn , ^{226}Ra e alguns compostos orgânicos como o metano, CH_4 , podem ser utilizados como traçadores da descarga de água subterrânea para o mar em regiões costeiras. Recentemente, esta técnica tem sido aplicada em vários estudos ambientais, destacando-se principalmente:

- em oceanografia biológica, na avaliação quantitativa da entrada de nutrientes disponíveis para o fitoplâncton nos oceanos, em modelos que visam estimar a variação de biomassas [3-6];
- em hidrologia, na estimativa do fluxo total de água subterrânea que entra no mar, em modelos de avaliação de impacto ambiental em regiões costeiras e estuarinas [7-11];
- em geoquímica, na previsão do comportamento ambiental de radionuclídeos naturais das séries do ^{238}U e ^{232}Th em regiões estuarinas e oceânicas [12-19].

Até poucos anos, as metodologias disponíveis para se estimar a descarga de águas subterrâneas em ambientes marinhos costeiros eram baseadas apenas no balanço hidrológico, mostrando resultados muito discrepantes. Em escalas locais e regionais,

mesmo recentemente as estimativas da localização e do fluxo de águas subterrâneas são escassas, pois essas medidas são muito difíceis e os sítios de descarga submarina de água subterrânea geralmente não são evidentes.

Considerando-se que a composição química e a respectiva taxa de advecção determinam os efeitos da descarga submarina de águas subterrâneas (SGD), em qualquer corpo de água, as contribuições da SGD serão significativas quando o fluxo ou a razão dos componentes químicos estudados na água subterrânea/água de superfície for elevada.

A partir da SGD, várias substâncias dissolvidas, naturais ou antropogênicas, podem ser transportadas para águas superficiais. Deste modo, esgotos domésticos, efluentes industriais e outros rejeitos solúveis que percolam um dado aquífero podem eventualmente atingir e contaminar as águas costeiras. O impacto ecológico destas descargas em águas costeiras dependerá das concentrações dos poluentes originalmente dissolvidos e das vias de infiltração destas plumas de contaminação.

As relações que se estabelecem entre a água subterrânea, o substrato através do qual ela percola e as águas de superfície receptoras são de grande importância ambiental. Excetuando-se alguns poucos locais [3, 5, 6, 20-22] aonde essas estimativas já foram realizadas, não existem dados disponíveis na literatura referentes a este assunto ao longo da maior parte das regiões costeiras do mundo.

O desenvolvimento desta linha de pesquisa no Brasil tem por finalidades aplicar uma metodologia isotópica para a determinação do fluxo de água subterrânea que se infiltra em regiões costeiras. Este trabalho utiliza o ^{222}Rn ($T_{1/2} = 3,8$ dias), um radionuclídeo natural emissor de partículas alfa da série do ^{238}U , como traçador natural. A natureza conservativa e a meia-vida física relativamente curta deste radionuclídeo o tornam um traçador muito útil na estimativa da SGD.

À longo prazo, a utilização desta metodologia permitirá avaliar as vias de transferência de substâncias naturais ou antropogênicas que podem ser transportadas para águas superficiais a partir da SGD, contribuindo para estudos na área de oceanografia, do comportamento ambiental de radionuclídeos naturais da séries do ^{238}U e do ^{232}Th e para modelos de avaliação de impacto ambiental em regiões costeiras e estuarinas.

1.2. Definição e importância da descarga de águas subterrâneas no ambiente costeiro

Várias forças de origem terrestres e marinhas podem influenciar os fluxos dos fluidos subterrâneos na zona costeira. Os gradientes hidráulicos no continente podem ocasionar a descarga de água subterrânea na região costeira e podem contribuir para os fluxos de constituintes provenientes de aquíferos confinados na região da plataforma. Os processos marinhos, tais como a variação da maré e gradientes de pressão, gerados pelas correntes podem induzir o fluxo de fluidos intersticiais em qualquer região da plataforma, onde os sedimentos permeáveis estiverem presentes (FIG.1).

As forças terrestres e marinhas sobrepõem-se espacialmente e a advecção do fluido medido através dos sedimentos costeiros pode ser um resultado de forças compostas. Nós definimos assim, a descarga de águas subterrâneas (SGD) como todo e qualquer fluxo de água em margens continentais do fundo do mar para o oceano, independentemente da composição do fluido ou da força direcionadora. Assim, a composição da SGD pode variar de caso para caso, podendo ser água doce descarregando no fundo do oceano, água do mar re-circulada ou ainda uma combinação das duas.

A SGD é caracterizada geralmente por baixos fluxos específicos, que tornam a sua detecção e a quantificação difíceis. Entretanto, uma vez que estes fluxos ocorrem ao longo de áreas muito extensas, o fluxo total pode ser significativo. Estes fluidos, derivados do continente ou compostos de água do mar re-circulada, irão reagir com os elementos presentes nos sedimentos. Estas reações podem aumentar substancialmente as concentrações dos nutrientes, do carbono, e dos metais nesses fluidos. Desta maneira, a SGD pode ser uma fonte de constituintes importantes do ponto de vista biogeoquímico para a zona costeira. Isto pode resultar em poluição difusa em locais aonde existe água subterrânea contaminada.

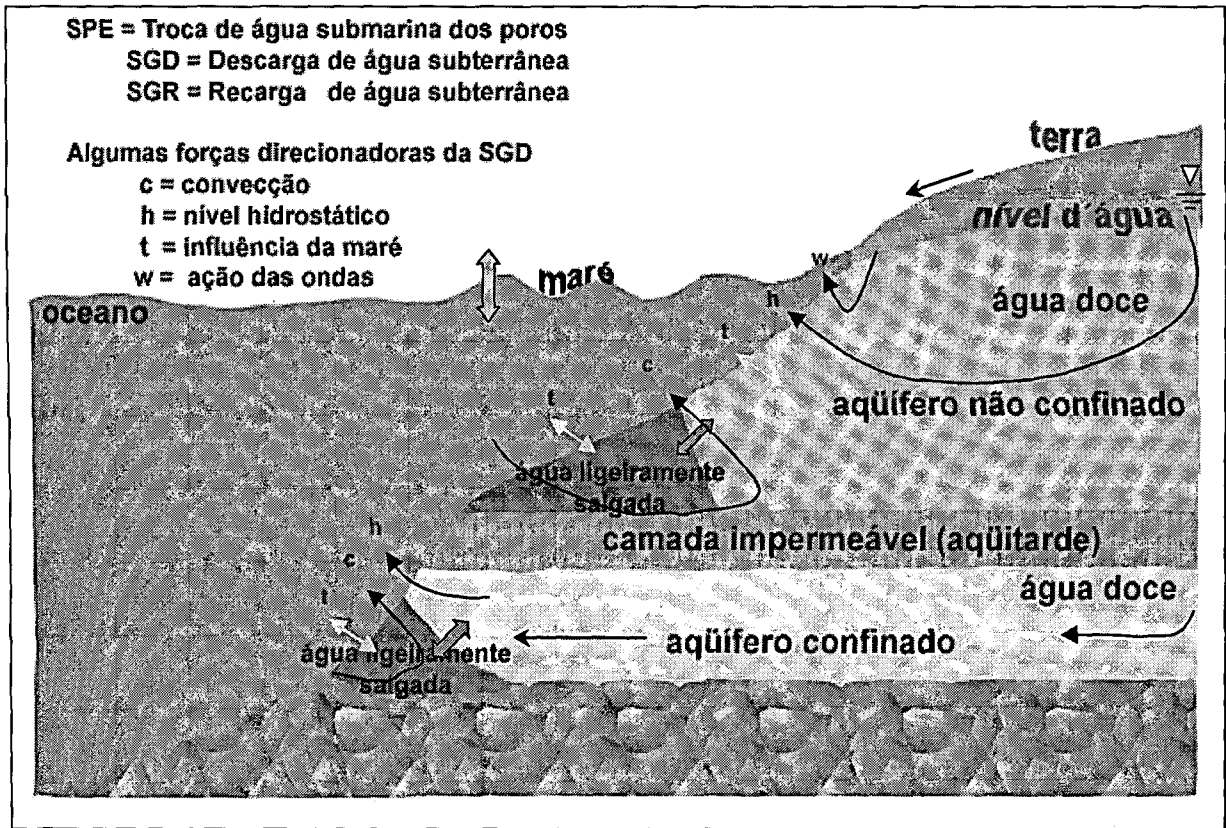


FIGURA 1 – Diagrama ilustrando a troca de fluidos (sem escala) dos processos associados com a recarga e descarga de fontes subterrâneas para a região costeira. As setas indicam o movimento dos fluidos [23].

Ao nível global, a descarga de águas subterrâneas foi estimada como um pequeno percentual do fluxo total de água doce para os oceanos. Uma estimativa recente sugere um valor de 2.400 km³ de água doce descarregada por ano (o que corresponde a cerca de 6% da descarga anual dos rios). Desse total, 1.500 km³ por ano deriva de continentes e 900 km³ por ano tem origem em regiões insulares [23].

1.2.1. Histórico

Embora não tão evidente quanto a descarga dos rios, a água subterrânea dos continentes também descarrega diretamente no oceano, sempre que um aquífero costeiro estiver conectado com o fundo do mar. Aquíferos artesianos podem se estender através de distâncias consideráveis da costa, debaixo da plataforma continental com descarga para o oceano em seus pontos de surgência [24-25]. Em alguns, casos estes aquíferos mais

profundos podem ter fraturas ou outras rupturas nas camadas superiores confinadas, permitindo a troca de fluidos entre água subterrânea e o mar.

A descarga de águas subterrâneas (SGD) foi negligenciada cientificamente durante muitos anos por causa da dificuldade inerente a sua estimativa e a percepção de que este processo era sem importância. Esta percepção está mudando. Nos últimos anos reconheceu-se que em alguns casos, a descarga de águas subterrâneas no mar pode ser volumetricamente e quimicamente importante [3]. Uma década depois do trabalho inicial de Johannes, Valiela e D'Elia em 1990 [3, 6 e 21], eles publicaram uma compilação sobre o assunto e afirmaram “nós estamos ainda no estágio exploratório deste tema”. A exploração continuou, existe agora uma concordância de que a entrada de água subterrânea pode ser quimicamente e ecologicamente importante para águas costeiras.

Nos últimos anos, o comitê científico em pesquisas oceânicas (SCOR) constituiu dois grupos de trabalho para examinar este tema emergente. O grupo de trabalho SCOR WG-112 “Magnitude da descarga de água subterrânea e sua influência em processos oceanográficos costeiros” foi estabelecido em 1997 para definir com maior precisão como a descarga de águas subterrâneas influencia processos químicos e biológicos na zona costeira [26]. O grupo de trabalho SCOR WG-114 “Transporte e reação em sedimentos marinhos permeáveis” foi estabelecido em 1999 para investigar a importância de fluido percolando através de sedimentos permeáveis para os ciclos biogeoquímicos locais e globais e a sua influência em ambientes circunvizinhos [27].

O conhecimento histórico a respeito da descarga de águas subterrâneas no mar existe há vários séculos. De acordo com Kohout [23], o geógrafo romano, Strabo, que viveu de 63 a.C. a 21 d.C., mencionou a existência de uma fonte submarina à 2,5 milhas além da praia de Latakia, Síria perto da ilha de Aradus no Mediterrâneo. A água desta fonte foi coletada por um barco, utilizando-se um funil e um pote de couro, e transportada à cidade como uma fonte de água doce. Outros relatos históricos versam sobre vendedores de água em Barém que coletavam a água potável destas fontes submarinas longe da praia em navios para o seu respectivo uso em terra [28]. Cidadãos etruscos usaram estas fontes costeiras em banhos termais (século II d.C.), além de outras fontes submarinas localizadas ao longo do Mar Negro (Plínio 1, século I d.C.).

Embora existam fatos históricos evidenciando a ocorrência da descarga direta de águas subterrâneas no mar há muito tempo, sempre houve a carência de conhecimentos relacionada ao fenômeno. Do ponto de vista contemporâneo, com a crescente escassez das reservas de água doce em todo o mundo, surgiu a necessidade de se identificar e a manter prováveis reservas subterrâneas potáveis, tarefa essa desempenhada pelos hidrogeólogos. Na região da praia, o interesse principal dos trabalhos realizados no âmbito da hidrogeologia enfocou o processo de intrusão da água salgada no continente, mapeando-se a interface água salgada – água doce nestes aquíferos costeiros.

1.2.2. Metodologias utilizadas na estimativa da SGD

As metodologias disponíveis para se estimar a descarga de águas subterrâneas em ambientes marinhos costeiros são fundamentadas em:

- a) modelagem, incluindo cálculos simples do balanço hidrológico;
- b) medidas diretas, restritas ao uso de câmaras bentônicas, também denominadas medidores manuais tipo “seepage” (que em inglês significa infiltração);
- c) medidas indiretas, com o mapeamento da resistividade/condutividade e transmissão de calor;
- d) uso de traçadores, incluindo espécies naturais (^{222}Rn , ^{226}Ra , CH_4) e artificiais (SF_6).

Os radionuclídeos naturais das séries do ^{238}U e do ^{232}Th tem sido utilizados em larga escala e com excelentes resultados para se estimar a SGD [7, 15, 18, 19, 29, 30]. Traçadores geoquímicos naturais como o ^{222}Rn e o ^{226}Ra , quando determinados em águas costeiras, são vantajosos em estimativas regionais da SGD, uma vez que os seus sinais representam valores integrados na coluna d’água. Estes radionuclídeos encontram-se enriquecidos na água subterrânea, podem ser detectados em concentrações muito baixas e são conservativos.

Quando se utilizam ^{222}Rn e o ^{226}Ra como traçadores, vários parâmetros complementares devem ser medidos ou definidos, incluindo as condições da área de influência (área, volume), a composição da água, as entradas e retiradas desses elementos do sistema, o tempo de residência da água superficial e as razões de atividade iniciais dos elementos de interesse na região-fonte. As concentrações iniciais incluem aquelas presentes na água do mar, dos rios, subterrânea, chuva, produção *in situ*, transporte

horizontal da coluna d'água, mistura e ressuspensão dos sedimentos ou difusão dos sedimentos do fundo. As retiradas incluem o decaimento *in situ*, transporte horizontal da coluna d'água, vórtices de difusão horizontal e vertical e evasão para a atmosfera.

Através de modelos de caixa simples e de um balanço de massas incorporando a advecção do sedimentos e o transporte na coluna d'água, a aproximação geoquímica pode representar um método sensível para se estimar a SGD.

1.3. Objetivos do presente trabalho

Este trabalho teve por objetivos a aplicação dos inventários de ^{222}Rn em excesso para se estimar a descarga de águas subterrâneas em três enseadas (Flamengo, Fortaleza e Mar Virado) na região de Ubatuba, Litoral Norte do Estado de São Paulo, Brasil, abrangendo latitudes entre $23^{\circ}26'S$ e $23^{\circ}46'S$ e longitudes entre $45^{\circ}02'W$ e $45^{\circ}11'W$. O trabalho de pesquisa foi realizado no período de Março de 2003 a Julho de 2005, com o propósito de se acompanhar possíveis variações sazonais nos inventários de ^{222}Rn em excesso e conseqüentemente, nos fluxos de água subterrânea determinados.

Como a região costeira de Ubatuba pode ser classificada como oligotrófica, pobre em nutrientes, foram estudados como parâmetros complementares as concentrações de nitrato, nitrito, silicato, fosfato e salinidade, com a finalidade de se rastrear possíveis enriquecimentos nas concentrações destes nutrientes, os quais poderiam evidenciar uma possível contaminação da água subterrânea pela infiltração de esgotos domésticos via SGD.

CAPÍTULO 2 – CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O RADÔNIO

2.1. O elemento

O radônio é o elemento 86 na tabela periódica e existem cerca de 23 isótopos deste elemento identificados. Os isótopos de radônio mais importantes são: o ^{222}Rn (meia-vida de 3,8 dias) da série de decaimento do ^{238}U (meia-vida de $4,41 \times 10^9$ a), o ^{220}Rn (meia-vida de 55,6 s) da série do ^{232}Th (meia-vida de $1,4 \times 10^{10}$ a) e o ^{219}Rn (meia-vida de 4 s) da série do ^{235}U (meia-vida de $7,04 \times 10^8$ a). Todos são emissores de partículas-alfa. Destes isótopos, o ^{222}Rn é o mais estudado, pois representa a maior fonte de exposição à radiação natural do público em geral. Além disso, devido a sua meia-vida relativamente maior e sua ampla distribuição na crosta e atmosfera, ele se tornou um traçador para uma variedade de processos de transporte e mistura que ocorrem no meio ambiente.

O equilíbrio radioativo secular entre o ^{222}Rn e o ^{226}Ra , que é o seu precursor, ocorre em aproximadamente em 25 dias, em sistemas fechados. Neste caso, o radônio é dito estar “suportado pelo rádio”.

Quando o radônio (^{222}Rn) contido em uma amostra de água é removido, inicialmente ele está livre dos seus produtos de decaimento. Quando gás é coletado em um recipiente fechado, a atividade total dentro do recipiente aumenta com o tempo, à medida que os produtos de decaimento de meias-vidas curtas vão se acumulando, alcançando um valor máximo por volta de três horas. Após esse tempo, estes radionuclídeos começam a decair com meia-vida do radônio.

O átomo de radônio possui uma camada eletrônica completa, a qual lhe confere as propriedades químicas do gás nobre segundo a teoria do octeto, inerte. O radônio é incolor e tem uma densidade de 9,73 g/L nas condições normais de temperatura e pressão, o que o torna o gás mais pesado de todos. Quando resfriado abaixo do seu ponto de congelamento, o radônio emite fosforescência, no comprimento de onda do amarelo em temperaturas baixas e laranja-avermelhado na temperatura do ar líquido (inferior a 200° C negativos).

A estrutura eletrônica do radônio lhe proporciona uma atividade química muito limitada; entretanto, o seu potencial de ionização primária relativamente baixo de 10,7 eV sugere que algumas interações poderiam ser possíveis. Mostrou-se que o fluoreto reage com radônio para produzir fluoreto de radônio, aonde átomos de radônio são achados dentro do retículo cristalino de certos compostos de hidrogênio. O radônio é algumas vezes chamado de “semi-metal” (elemento que fica entre os metais verdadeiros e os ametais na Tabela Periódica), possuindo características de ambos os grupos.

A alta solubilidade do radônio em água ($230 \text{ cm}^3 \text{ kg}^{-1}$ a 20°C) contribui para sua presença em quantidades substanciais em certos corpos de água, como por exemplo, aquíferos[31].

2.2. O ambiente aquático e o radônio

A maior parte (cerca de 70%) da superfície do nosso planeta está coberta por água, sendo a maioria coberta pela água dos oceanos (aproximadamente $1322 \times 10^8 \text{ kg}$). Vários estudos mostram que 95,1% da água do planeta é salgada, 4,7% está presente na forma de geleiras ou regiões subterrâneas de difícil acesso e os 0,147% restantes em lagos, nascentes e aquíferos [32]. O ciclo da água na natureza é indispensável à vida e sua maior ou menor abundância é determinante para o equilíbrio dos ecossistemas.

Devido as suas propriedades físicas e químicas intrínsecas, a água pode ser considerada o líquido mais importante do nosso planeta, principalmente no que concerne a sua capacidade de dissolução. Em geral, a água dissolve mais substâncias e em maiores quantidades que qualquer outro líquido. Em se tratando da água do mar, que é o tema deste

trabalho, pode-se afirmar que provavelmente todos os elementos da Tabela Periódica estão presentes nesta matriz em quantidades diferentes [33]. A água do mar é uma solução que possui alta quantidade de solutos distribuídos em diferentes valores de concentração.

Ao longo de seu percurso no ambiente, a água interage com o solo e formações geológicas, solubilizando e incorporando substâncias. Por esse motivo, a água subterrânea é mais mineralizada que a água de superfície. Apesar do solo e da zona não-saturada se apresentarem como excelentes mecanismos de filtração podendo reter inúmeras partículas e bactérias patogênicas, existem substâncias e gases dissolvidos que dificilmente deixarão a água subterrânea, podendo ser responsáveis pela sua poluição.

Dentro do contexto de gestão integrada dos recursos hídricos [32], considerando-se o ciclo hidrológico, admite-se que a água subterrânea é indissociável das águas de superfície. Deste modo, ressalta-se a importância desta interação para os fins de controle ambiental.

Como a água é naturalmente radioativa e alguns radionuclídeos podem ser utilizados como ferramenta de pesquisa e controle, a utilização de um traçador natural pode ser atrativa no estudo da descarga de águas subterrâneas na região costeira, um dos objetivos do presente estudo.

2.3. Água Subterrânea

Estima-se que no Brasil existem 111 trilhões e 661 milhões de metros cúbicos de água subterrânea, considerada a maior reserva de água doce do planeta. A região Nordeste possui cerca de 18 trilhões de metros cúbicos de água, o que corresponde a cerca de mil vezes o volume de água da Baía de Guanabara [32]. Na região metropolitana de São Paulo, três milhões de habitantes são abastecidos por águas de poços profundos.

A água subterrânea forma-se pela infiltração de água superficial no solo e nas rochas, sendo a chuva o principal agente de alimentação (recarga). Na zona saturada (aquífero), os poros ou fraturas das formações rochosas estão completamente preenchidos

com água (saturados). O topo da zona saturada corresponde ao nível hidrostático, ou nível d'água (FIG.2).

Assim, a zona saturada, onde se encontra armazenada a água subterrânea, é também denominada aquífero. Aquíferos ou rochas-reservatório são rochas (ígneas, metamórficas e sedimentares) ou estruturas geológicas que permitem a circulação, armazenamento e extração de parte da água infiltrada.

Existem essencialmente três tipos de aquíferos:

- porosos, onde a água circula através dos poros. As formações geológicas são areias limpas, areias consolidadas por um cimento também chamadas arenitos, conglomerados, etc.;
- fraturados ou fissurados, onde a água circula através de fraturas ou pequenas fissuras. As formações são granitos, gabros, filões de quartzo, etc.;
- cársticos, onde a água circula em condutos que resultaram do alargamento de diaclases por dissolução. As formações são os calcários e dolomitos.

Muitas vezes, os aquíferos são simultaneamente classificados em mais de um tipo. Por exemplo, um granito pode ter uma zona superior muito alterada onde a circulação é feita através dos poros e uma zona inferior de rocha inalterada, onde a circulação é feita por fraturas. Um aquífero é chamado de poroso quando formado por um agregado de grãos entre os quais existem espaços vazios que podem ser ocupados pela água. Existem ainda, outras formações de material rochoso aonde os espaços vazios correspondem a diaclases e fraturas.

O nível d'água nos aquíferos não é estático, podendo variar devido a precipitação pluviométrica ocorrida, a extração de água subterrânea, os efeitos da maré nos aquíferos costeiros, a variação súbita de pressão atmosférica, principalmente no inverno, a alteração no regime de escoamento dos rios influentes (que recarregam os aquíferos), evapotranspiração, etc.

A água subterrânea pode ressurgir à superfície (nascentes) e alimentar as linhas de água ou ser descarregada diretamente no oceano. Muitos rios são alimentados por nascentes, o que faz com que esses rios apresentem caudal durante todo o ano, mesmo quando não ocorre precipitação. Os rios podem em determinada altura de seu percurso contribuir para a recarga do aquífero (rios influentes). Assim, a má qualidade que por vezes se verifica nas águas superficiais pode ser transmitida às águas subterrâneas e vice-versa.

A quantidade de água e a velocidade com que esta circula nas diferentes etapas do ciclo hidrológico vão ser influenciadas por diversos fatores como, por exemplo, vegetação, altitude, topografia, temperatura, tipo de solo e geologia.

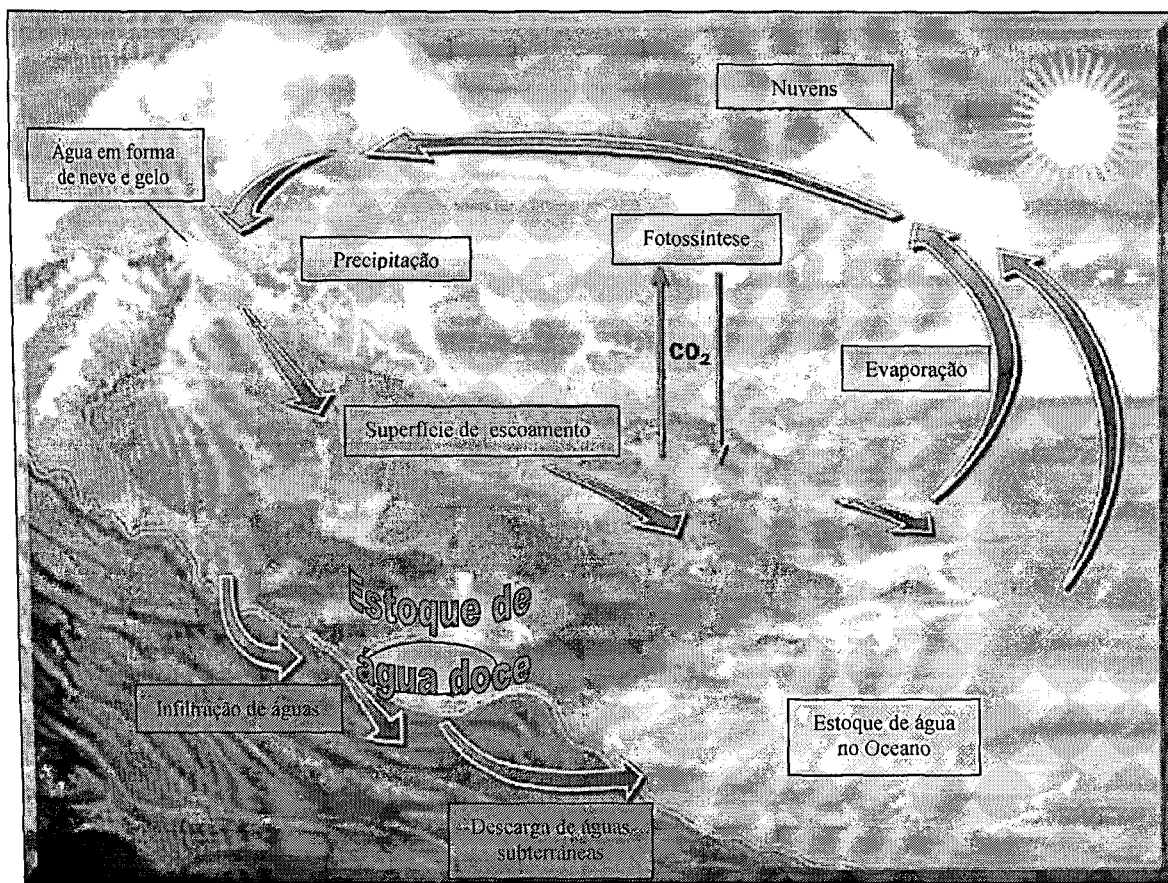


FIGURA 2 – Representação do ciclo hidrológico.

2.4. Radioatividade das águas

A água pode ser considerada como o principal agente transportador dos elementos radioativos sob várias condições geoquímicas e geofísicas. Os radionuclídeos, quando introduzidos na água ou na atmosfera são diluídos, espacialmente distribuídos e finalmente acumulados em compartimentos específicos do meio ambiente. A radioatividade natural da água (com exceção trítio) provém dos elementos radioativos dissolvidos (por exemplo, o urânio), suspensos na forma de colóides (por exemplo, o tório), suspensos (micro-cristais de elementos radioativos) e difundidos (por exemplo, o radônio). Portanto, a radioatividade natural da água se origina principalmente nas rochas e minerais com que a água esteve em contato.

O ^{222}Rn é um produto de decaimento da série radioativa natural do ^{238}U (FIG.3), mais diretamente do ^{226}Ra . Entretanto, apenas uma pequena fração dos átomos de radônio emitidos deste decaimento se difunde para os espaços porosos do solo, processo comumente denominado de “poder de emanção”. Este fator é dependente do teor de urânio e rádio na microestrutura da rocha e da alteração superficial dos seus grãos [31]. O radônio liberado nas superfícies rochosas move-se para os fluidos próximos (ar ou água) pelo mecanismo de difusão. A migração é função da sua solubilidade no fluido em questão e das características do reservatório. Segundo Cothorn *e col.* [31], o teor do gás radônio nas águas está relacionado há vários fatores, tais como:

- fatores geológicos: a litologia da região influencia a concentração de radônio e esta é diretamente proporcional à quantidade dos elementos radioativos presentes nas rochas;
- a geoquímica do meio: alterações por intemperismo ou por hidrotermalismo;
- fator geométrico: a concentração de radônio é diretamente proporcional à extensão da superfície de contato entre as águas e as rochas;
- fatores físicos: pressão e temperatura influem na concentração de radônio;
- tempo de trânsito da água desde o subsolo até o local de afluência: pode ocasionar diminuição da atividade do radônio, simplesmente por decaimento radioativo;
- fatores químicos: o pH e o potencial de óxido-redução têm maior influência nos radionuclídeos precursores, pois o radônio é gás nobre.

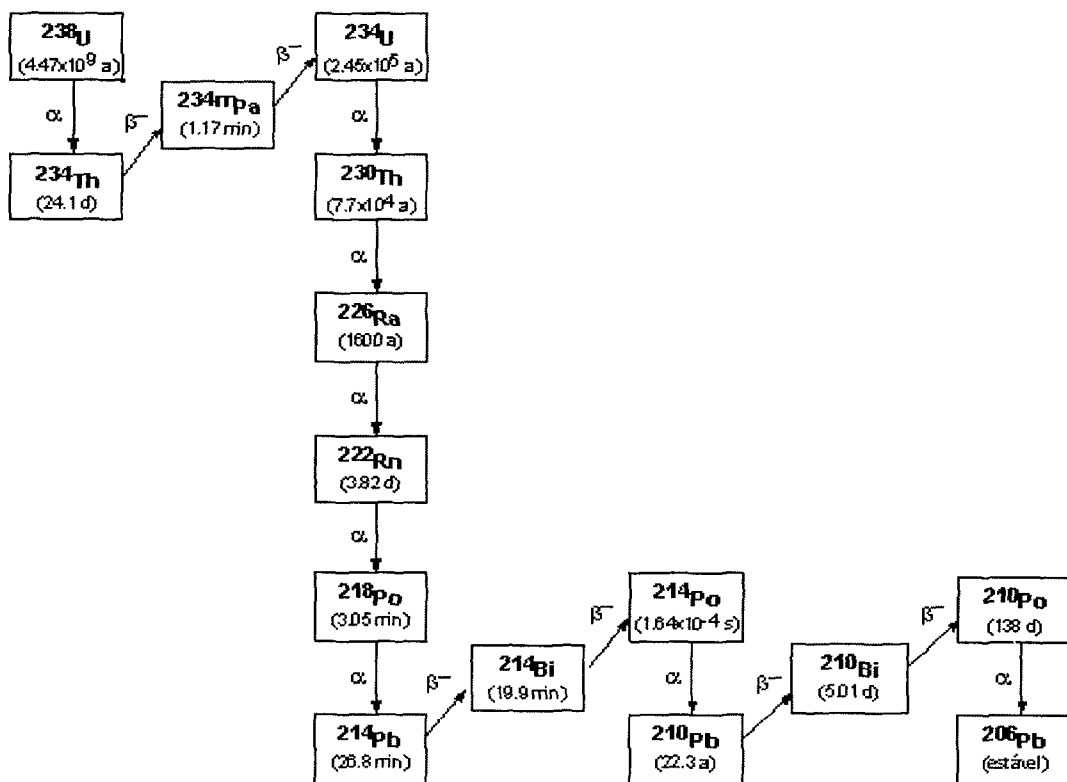


FIGURA 3 - Série de decaimento radioativo natural do ^{238}U .

O rádio é uma fonte permanente de radônio, estando presente em pequenas quantidades em todos os solos e rochas. As propriedades geofísicas das rochas e do solo desempenham um papel importante na ocorrência e difusão do Rn. Devido à relação existente entre as propriedades geofísicas e a mobilidade do radônio no ambiente, vários estudos foram realizados para se determinar a taxa de emissão e a porcentagem de radônio que escapa de vários tipos de rocha e minerais, constatando-se que o escape deste varia de 1 a 20%, dependendo da região [31]. Embora a quantidade varie de região para região, sua ocorrência é predominante em áreas de granitos e conglomerados, podendo ocorrer também em outros locais, como por exemplo, em rochas básicas e carbonáticas, com menor intensidade. Altas atividades de radônio são observadas em rochas graníticas e minerais de urânio, assim como em resíduos de fertilizantes fosfatados.

Em virtude da sua grande capacidade de emissão, as concentrações do radônio nas águas superficiais são geralmente muito baixas. O radônio presente na água subterrânea é rapidamente liberado quando alcança a superfície devido a sua pressão parcial no ar ser muito pequena. Portanto, em água de rios, lagos e córregos, o radônio pode ser encontrado em pequenas quantidades.

Em águas subterrâneas, a quantidade de radônio aumenta consideravelmente, de duas a quatro ordens de grandeza em relação às águas superficiais, possibilitando sua utilização como traçador da descarga e do fluxo deste compartimento [7-13]. Esta concentração aumentada é proveniente da percolação da água em contato com as estruturas de rochas fraturadas, ocasionando a remoção do radônio e o seu acúmulo. A quantidade de água nos espaços porosos é um fator determinante na distribuição de ^{222}Rn em águas subterrâneas.

Nos oceanos, de uma maneira geral, o rádio e o radônio estão presentes em quantidades próximas ao equilíbrio; porém, neste compartimento, pode ocorrer também situações de desequilíbrio. A mobilidade dos isótopos de radônio, devido sua rápida difusão e solubilização em água, é uma das principais causas do desequilíbrio observado nas séries de decaimento do urânio e tório. Uma deficiência de ^{222}Rn é encontrada próxima à superfície do oceano, em consequência do escape através da formação de bolhas e evaporação, enquanto um excesso de ^{222}Rn em relação ao ^{226}Ra , ocorre próximo ao fundo do oceano.

CAPÍTULO 3 – PARTE EXPERIMENTAL

3.1. O monitor portátil para detecção de radônio – RDA-200 e a sua calibração

O monitor portátil RDA-200 (FIG.4.), marca Scintrex, foi utilizado neste trabalho para medir as concentrações de radônio e seus produtos de decaimento nas amostras de água. A atividade das partículas alfa originadas do decaimento do radônio e seus filhos é detectada na camada de ZnS(Ag) de uma célula cintiladora na forma de “pulsos luminosos” de luz. Estes “pulsos”, ao serem detectados pelo tubo fotomultiplicador, são transformados em pulsos elétricos, os quais são acumulados, contados e então, digitalmente mostrados. Este sistema consiste basicamente das seguintes partes: tubo fotomultiplicador, analisador monocanal, contador de pulsos, controlador de tempo e fonte de alta tensão.

O ^{222}Rn é o único elemento gasoso da série do ^{238}U . Como o método da emanção envolve somente a remoção dos gases, não há possibilidade de interferências de outros elementos radioativos desta série. Uma eventual interferência de outros isótopos de radônio fica eliminada por serem as suas meias-vidas muito curtas, comparadas com o intervalo de tempo entre a separação dos gases da amostra de água e o início da contagem.

Para validar a metodologia utilizada no presente estudo e garantir as melhores condições de operação do tubo fotomultiplicador, assegurando-se a confiabilidade dos resultados obtidos, tornou-se necessário a calibração dos monitores RDA-200. Esta calibração foi feita com uma células de referência de ^{226}Ra , fornecidas pelo próprio fabricante do equipamento.

Os quatro detectores RDA-200 empregados nas medidas foram aferidos utilizando-se o seguinte procedimento:

- contou-se 10 vezes a atividade de uma célula de Lucas de referência pelo tempo de um minuto e observou-se se as leituras eram reprodutíveis. Foi verificado se não ocorria entrada de luz no tubo fotomultiplicador. Após esta seqüência de medidas, a voltagem de operação foi ajustada de modo a resultar na taxa de contagem original da célula de referência, certificada em cada equipamento. Em seguida iniciou-se a segunda série de medidas;
- as células de Lucas foram contadas novamente, em uma nova série de 10 medidas (10 minutos de duração cada uma). Finalizadas as contagens, dividiu-se o total de registros por 10, obtendo-se uma taxa média de contagem em cpm. Este valor obtido foi então, comparado à taxa média de contagem descrita na célula de teste;
- quando ocorria uma diferença maior do que 5%, a voltagem do potenciômetro para o rádio dentro do equipamento era reajustada.

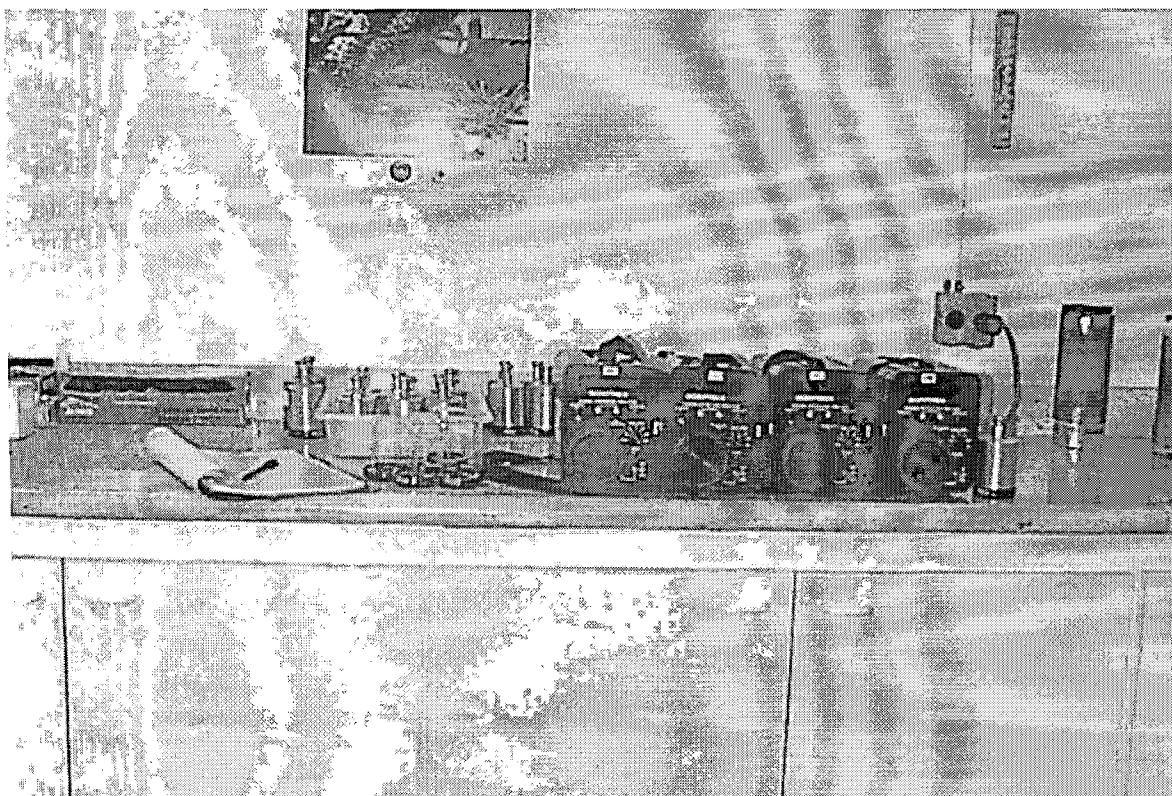


FIGURA 4 - Monitor RDA-200 (marca Scintrex).

3.2. Montagem dos frascos utilizados para coleta e preparação dos padrões

Os frascos de vidro sorológicos com 4 litros de capacidade (FIG.5) utilizados para a coleta das amostras de água e preparação das soluções de referência de ^{226}Ra (empregados na estimativa da eficiência total do processo de emanção), foram montados de acordo com o seguinte procedimento:

- nos frascos sorológicos de vidro pyrex, com capacidade para 4 L, foi adaptada uma rolha de borracha contendo dois tubos de PVC de $\frac{1}{4}$ de polegada, um medindo aproximadamente 30 cm de comprimento e o outro cerca de 7 cm. Na extremidade externa dos dois tubos de PVC, foram fixadas duas mangueiras de latex com $\frac{1}{4}$ de polegada de diâmetro e nestas, conectores plásticos (sistema macho e fêmea). No tubo de PVC mais longo foi fixada uma pedra difusora de aquário, simulando-se um borbulhador. Os frascos foram convenientemente vedados, utilizando-se cola de silicone e pinças de Hoffman.

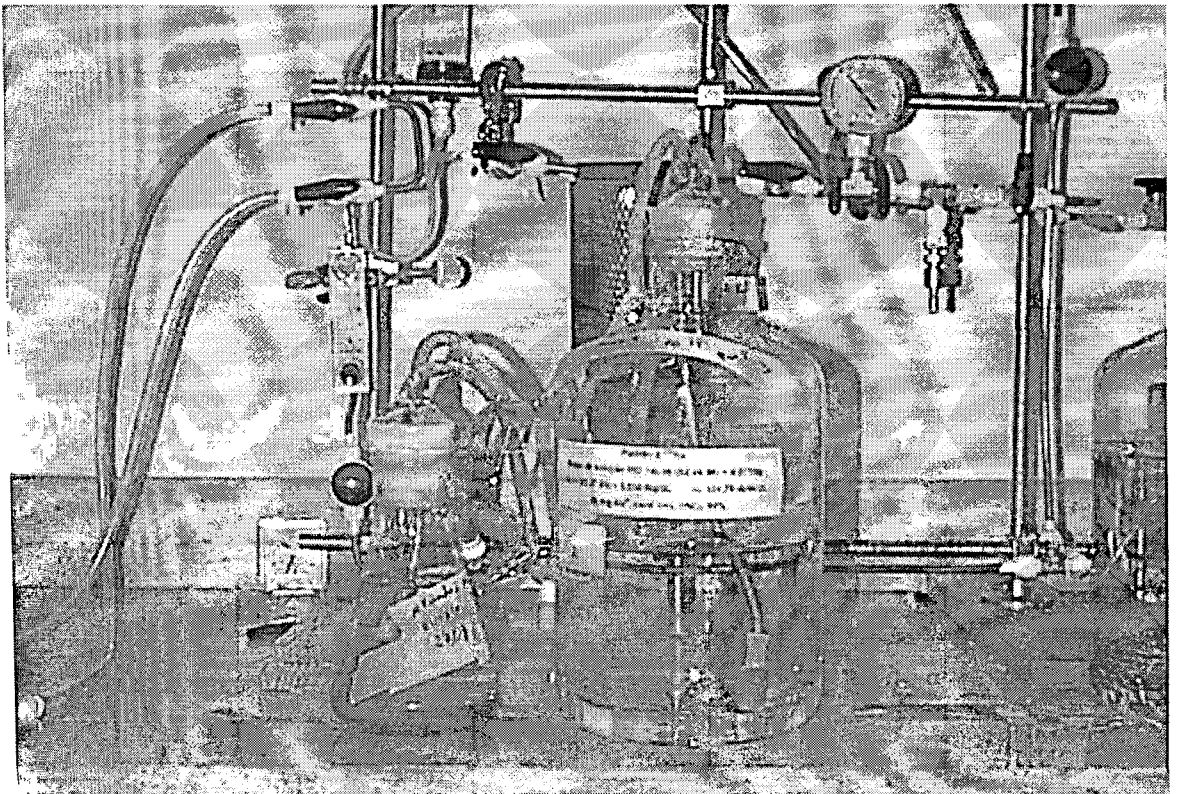


FIGURA 5 – Montagem dos frascos para a coleta e determinação de ^{222}Rn nas amostras de água.

3.3. Determinação da eficiência total dos quatro sistemas da linha de emanção

Para a determinação da eficiência total dos quatro sistemas da linha de emanção de ^{222}Rn , foram preparadas 20 soluções de referência de ^{226}Ra . Estas soluções foram obtidas pela pesagem e diluição de uma massa conhecida dos padrões líquidos IRD 14L98 Ra (meio HCl 0,1 mol/L, atividade de 77,404 Bq/g, valor de incerteza de 3,68%, data de referência 03/08/98) e IRD 39L92 ^{226}Ra (meio HCl 0,1 mol/L, atividade de 752,506 Bq/g, valor de incerteza de 3,81%, data de referência 17/01/92). O material pesado foi transferido para os frascos de 4 L preparados de acordo com o item 3.2 e diluído convenientemente em água deionizada, adicionando-se 20 mg Ba^{2+} (carregador) e 1 mL HNO_3 65% para evitar perdas por adsorção. A seguir, os frascos foram vedados utilizando-se cola de silicone e pinças de Hoffman. As atividades de ^{226}Ra foram corrigidas para as respectivas datas de referência.

Para a determinação da eficiência, as soluções de referência foram desgaseificadas de acordo com o procedimento experimental que será descrito no item 3.5. A eficiência total dos quatro sistemas da linha de emanção determinadas a partir deste procedimento incluem todas as incertezas envolvidas nos processos da desgaseificação, transferência do ^{222}Rn e seu aprisionamento nas células de Lucas e de contagem das mesmas nos detectores portáteis RDA-200.

A eficiência total para cada sistema foi obtida pela seguinte expressão:

$$E(\text{cpm} / \text{dpm}) = \frac{C}{A} \times \frac{1}{(1 - e^{-\lambda t_1}) (e^{-\lambda t_2})} \times \frac{\lambda t_3}{(1 - e^{-\lambda t_3})} \quad (1)$$

Onde:

C = taxa de contagem líquida obtida com a célula de Lucas (cpm);

A = atividade do padrão de ^{226}Ra (dpm);

t_1 = tempo de crescimento do radônio (min);

t_2 = tempo entre o início da desgaseificação da amostra e o início da contagem (min);

t_3 = tempo de contagem (min);

λ = constante de decaimento do radônio (min^{-1}).

A contagem alfa total na célula será igual a três vezes a atividade do ^{222}Rn isoladamente. Isso ocorre porque após ter sido atingido o equilíbrio entre o ^{222}Rn e seus descendentes de meia-vida curta, a célula conterá igual atividade dos emissores alfa do ^{222}Rn , do ^{214}Po e do ^{218}Po , formados após a separação. Portanto, para a detecção do ^{222}Rn em valores percentuais a eficiência é dada pela seguinte expressão:

$$E (\%) = \frac{E}{3} \times 100 \quad (2)$$

3.4. Determinação do limite inferior de detecção (LID)

O limite inferior de detecção foi determinado no presente trabalho pelo método de Curie para o sistema de medida (RDA-200 e células de Lucas), medindo-se a radiação de fundo de 11 células de Lucas limpas durante 60 min em quatro monitores portáteis RDA-200, considerando-se um nível de confiança de 95%:

$$LID = \frac{2,71 + 4,66 \sqrt{C}}{T} \quad (3)$$

Onde:

LID = limite inferior de detecção (cpm);

C = contagem da célula de Lucas limpa;

T = tempo de contagem (min).

3.5. Determinação das concentrações de ^{222}Rn em amostras de água do mar por emanometria

Os radionuclídeos naturais encontram-se dissolvidos na água do mar (35‰) em concentrações de atividade da ordem de traços e ultra-traços. As maiores concentrações de ^{238}U e ^{234}U determinadas na água do mar reportadas na literatura são cerca de 2,5 dpm/ L (42 mBq/ L). Se toda essa atividade de ^{238}U presente em 1 L de água do mar fosse medida durante 24 h, considerando-se uma eficiência de contagem de 100%, seriam obtidas aproximadamente 3.600 contagens (1σ) ao final do processo de medida. Entretanto, a maior parte dos radionuclídeos das séries naturais está presente na água do mar na sua forma dissolvida em quantidades que são de 2 a 4 ordens de grandeza inferiores a exemplificada anteriormente, e na prática, as metodologias disponíveis geralmente apresentam eficiências de extração e de contagem menores que 100 %. Isso faz com que os procedimentos analíticos fundamentados na medida dos eventos de decaimento radioativo necessitem de grandes volumes de amostra (de 20 L a vários m^3) para que se obtenha uma boa estatística de contagem num intervalo de tempo razoável.

Devido às baixas concentrações de ^{222}Rn detectadas normalmente na água do mar, inicialmente, a técnica foi estabelecida para medidas de radônio em um volume de amostra superior a 20 litros. Entretanto, verificou-se que a metodologia também poderia ser aplicada com bons resultados a volumes menores de amostra. Deste modo, para a realização deste estudo, foram coletados volumes de amostras de água do mar variando de 3 a 4 litros devido as altas atividades deste radionuclídeo previstas em águas próximas da costa. Devido à meia-vida física relativamente curta do ^{222}Rn (3,8 dias), as amostras foram desgaseificadas num prazo de 2 a 3 dias após a coleta com a finalidade de medir o teor de ^{222}Rn em excesso.

Uma linha de emanção (FIG.6) foi utilizada para retirar o gás radônio das amostras de água, borbulhando-se hélio gasoso através da mesma numa vazão de 400 mL/ minuto, por cerca de 60 minutos. Após deixar a amostra de água, a corrente de gás fluiu através de um tubo de secagem preenchido com drierite e ascarite para a remoção de H_2O e CO_2 , respectivamente, passando seqüencialmente por uma armadilha resfriada com nitrogênio líquido. Nesta armadilha, o radônio se condensou, enquanto o hélio gasoso continuou o percurso e foi ventilado, sendo liberado do sistema para a atmosfera. A armadilha para

resfriamento foi feita de um tubo de aço inoxidável de ¼ polegada, preenchido com limalhas de latão, proporcionando uma grande área superficial na qual o radônio pôde se condensar, enquanto o hélio escapou através de uma conexão tipo "Swagelock". Após o término do processo de desgaseificação da amostra, a válvula de interesse foi fechada e a armadilha resfriada foi aquecida para vaporizar o radônio. Então, a válvula da armadilha foi aberta e o radônio foi liberado para uma célula de cintilação alfa, conhecida como "Câmara de Lucas". A célula foi condicionada à pressão atmosférica abrindo-se rapidamente uma válvula existente atrás da armadilha resfriada, permitindo que o radônio entrasse até que a mesma alcançasse a pressão de 1 atm.

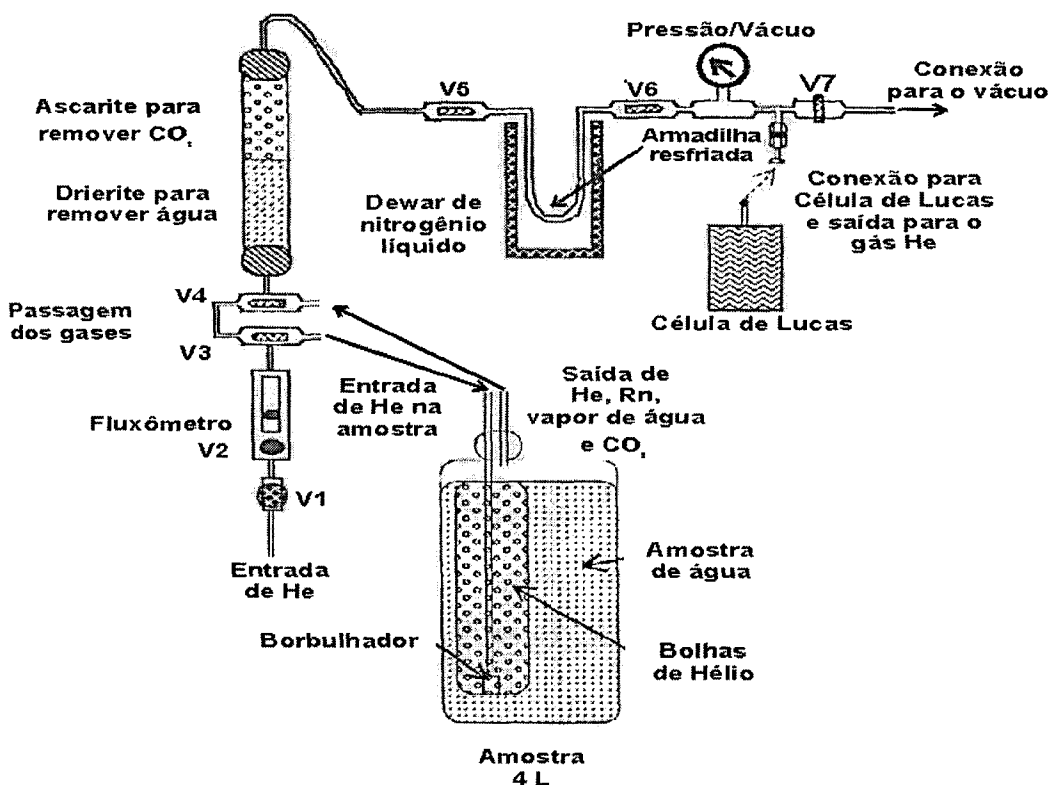


FIGURA 6 - Representação do sistema de emanção de ^{222}Rn .

Após a emanção do ^{222}Rn para as "Células de Lucas", elas foram conectadas ao sistema de detecção RDA-200 da marca Scintrex, constituído de um tubo fotomultiplicador e a sua respectiva eletrônica associada. A medida foi realizada após no mínimo cerca de 3 horas de crescimento, para a detecção do ^{222}Rn e seus dois filhos emissores-alfa, ^{218}Po e ^{214}Po . A atividade total de ^{222}Rn presente na amostra de água foi determinada pela seguinte expressão:

$$A = \frac{R}{3 \cdot E \cdot L} \times \frac{1}{e^{-\lambda t_1}} \times \frac{\lambda t_2}{1 - e^{-\lambda t_2}} \quad (4)$$

Onde:

A = atividade total de ^{222}Rn (dpm/ L).

R = contagem líquida da amostra (cpm).

E = eficiência total do sistema de emanação, para a medida das partículas alfa emitidas pelo ^{222}Rn , ^{218}Po e ^{214}Pb (cpm/ dpm).

L = volume da amostra (L).

λ = constante de decaimento radioativo para o ^{222}Rn ($1,235 \times 10^{-4} \text{ min}^{-1}$).

t_1 = intervalo de tempo entre o início da degaseificação e o início da contagem da amostra (min).

t_2 = tempo de contagem (min).

Este procedimento forneceu a atividade total de ^{222}Rn total presente na amostra de água no instante da análise. Para se determinar a quantidade de radônio em excesso, deve-se realizar uma correção determinando-se a quantidade de radônio presente na amostra de água que é suportada pelo ^{226}Ra . Deste modo, após um intervalo de tempo de crescimento adequado (no mínimo 4 dias), a atividade do ^{226}Ra presente na amostra foi medida, seguindo-se um procedimento similar ao descrito anteriormente. Análises consecutivas de ^{226}Ra nestas amostras foram realizadas para assegurar resultados consistentes. A expressão que forneceu a atividade de rádio na amostra é similar àquela utilizada para a determinação de ^{222}Rn . Esta expressão incluiu uma correção para o radônio em crescimento no intervalo de tempo considerado, como apresentado na equação a seguir:

$$A = \frac{R}{3 \cdot E \cdot L} \times \frac{1}{(1 - e^{-\lambda t_1}) \cdot (e^{-\lambda t_2})} \times \frac{\lambda t_3}{1 - e^{-\lambda t_3}} \quad (5)$$

Onde:

A = atividade de ^{226}Ra (dpm/L).

t_1 = tempo de crescimento do radônio (intervalo de tempo entre o final da primeira degaseificação da amostra e o final da emanação, em minutos).

t_2 = intervalo de tempo entre o final do fluxo da amostra e o início da contagem (min).

t_3 = tempo de contagem (min).

As demais variáveis envolvidas no cálculo da atividade de ^{226}Ra são as mesmas já discutidas no cálculo da atividade de ^{222}Rn . Após a determinação das atividade total de ^{222}Rn e de ^{226}Ra , qualquer excesso de ^{222}Rn presente na amostra de água pode ser corrigido em relação ao instante de coleta pelo uso da equação fundamental de decaimento radioativo, $A = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$, onde t neste caso representa o intervalo de tempo entre a coleta da amostra e o instante da análise. A eficiência total do sistema foi determinada a partir de várias medidas de soluções de referência de ^{226}Ra , empregando-se a mesma metodologia de emanção descrita anteriormente. Antes de cada medida, as contagens de radiação de fundo de cada célula foram determinadas. Amostras em branco foram preparadas empregando-se água deionizada isenta de rádio, que deve ser co-precipitado com BaSO_4 antes das amostras de água serem submetidas ao processo de emanção.

3.6. Estimativa da descarga de águas subterrâneas utilizando-se ^{222}Rn como traçador

Considerando-se os resultados de ^{222}Rn em excesso obtidos nas amostras de água do mar e as concentrações de ^{222}Rn em equilíbrio com o ^{226}Ra presente nos sedimentos de um dado local e utilizando-se um modelo de caixas uni-dimENSIONAL, o fluxo de água subterrânea que percola os sedimentos pode ser estimado. A FIG.7 ilustra um modelo denominado "box model" ou modelo de caixas, e representa as trocas verticais e horizontais que ocorrem em um dado compartimento marinho. Neste modelo, os processos de entrada e saída horizontais são desprezíveis em relação à estimativa da SGD, utilizando-se as concentrações de ^{222}Rn como traçador. O escape do ^{222}Rn , que é um gás, por evasão da superfície da coluna d'água em contato com a atmosfera é um dado muito importante nos cálculos da SGD por este modelo. Este parâmetro deve ser estimado, conhecendo-se as concentrações de ^{222}Rn no perfil zero, a temperatura da água neste perfil, a pressão atmosférica e a velocidade dos ventos. Quanto mais profundo for o perfil, maiores serão as concentrações de ^{222}Rn , pois as perdas por difusão gasosa serão menores.

A formação e a degradação da picnoclina afetam consideravelmente a distribuição do ^{222}Rn na coluna d'água. Durante o verão, as águas se tornam nitidamente estratificadas e as atividades de ^{222}Rn em águas profundas atingem o nível máximo. Assim, durante a estratificação do verão, as águas profundas tornam-se excelentes coletoras de ^{222}Rn . Sem a

estratificação, as águas poderiam perder rapidamente o ^{222}Rn gasoso, devido a evasão para a atmosfera. Deste modo, existe uma vantagem em se utilizar os inventários de ^{222}Rn na sub-picnoclina de verão para quantificar a descarga de água subterrânea, uma vez que as perdas por evasão atmosférica podem ser desprezadas.

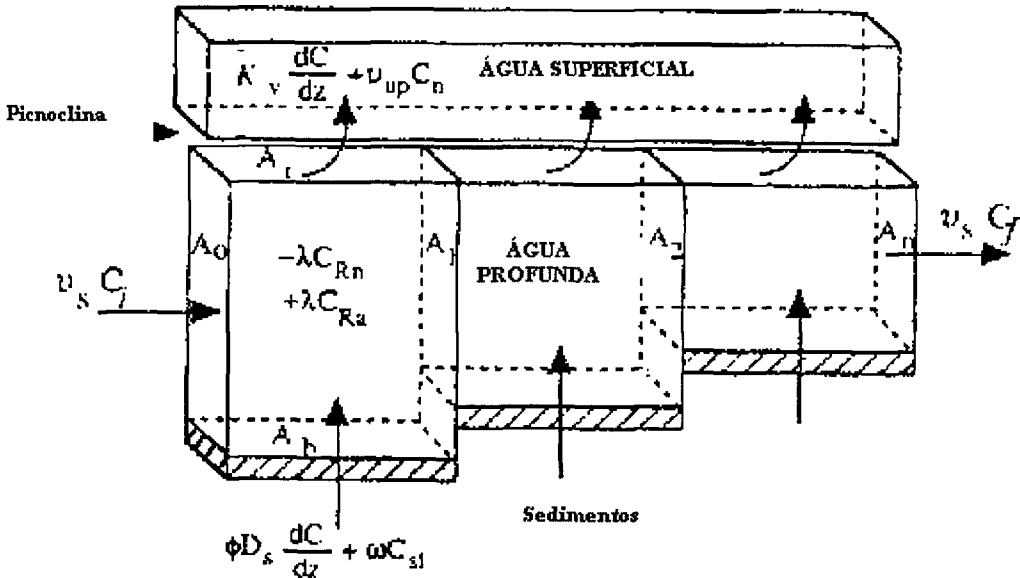


FIGURA 7 - Modelo compartimental de blocos mostrando as vias de difusão e advecção relevantes para a determinação da SGD a partir do ^{222}Rn .

A distribuição de ^{222}Rn em uma coluna d'água representa um balanço entre:

- trocas bentônicas por difusão-advecção;
- produção e decaimento do ^{222}Rn na coluna d'água;
- movimento de advecção horizontal na coluna d'água;
- difusão ao longo e através da picnoclina;
- trocas gasosas oceano-atmosfera.

Admitindo-se que uma massa d'água se move horizontalmente de um limite inicial até um ponto de referência através da Plataforma Continental, 3 destes processos poderão afetar as atividades de ^{222}Rn na coluna d'água:

- o decaimento das concentrações iniciais de ^{222}Rn na coluna d'água;
- o acréscimo nas atividades de ^{222}Rn e conseqüente decaimento radioativo, devido aos processos bentônicos de advecção e difusão;
- as trocas de ^{222}Rn através da picnoclina.

No modelo estabelecido para o ^{222}Rn apresentado neste trabalho, duas hipóteses foram assumidas. As possíveis entradas e saídas horizontais foram consideradas negligenciáveis e constantes na estimativa da SGD e como utilizou-se os inventários de ^{222}Rn na sub-picnoclina para se quantificar a descarga de água subterrânea, as perdas por evasão atmosférica foram desprezadas.

O fluxo total de ^{222}Rn em excesso, necessário para balancear o inventário medido na coluna d'água de um dado sistema pode ser estimado pela seguinte equação:

$$J = \frac{I}{((1 - e^{-\lambda t}) / \lambda)} \quad (6)$$

Onde:

J = fluxo total de ^{222}Rn em excesso ($\text{dpm m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$);

I = Inventário de ^{222}Rn em excesso, calculado pela somatória do produto da concentração de ^{222}Rn em excesso (dpm m^{-3}) pelo respectivo intervalo de profundidade (m), (dpm m^{-2}).

λ = constante de decaimento do ^{222}Rn ($0,181 \text{ dia}^{-1}$).

Para intervalos de tempo consideravelmente grandes, ou seja, várias meias-vidas do ^{222}Rn , esta equação pode ser reduzida ao inventário dividido pela vida média de 5,5 dias [$I/(1/\lambda)$], ou simplesmente o inventário multiplicado pela constante de decaimento, $I\lambda$. Este cálculo assume uma situação de estado estacionário de algumas semanas.

Para a determinação da SGD pelo fluxo de difusão de ^{222}Rn , outro dado importante é a quantidade de ^{222}Rn em equilíbrio com o ^{226}Ra presente nos sedimentos, que se difunde para a coluna d'água. Estas devem ser realizadas neste estudo coletando-se uma amostra de sedimento em cada perfil de ^{222}Rn . Decorridos 21 dias da data de coleta, o equilíbrio secular $^{226}\text{Ra}/^{222}\text{Rn}$ é atingido e a determinação da concentração de atividade de ^{222}Rn suportada pelo ^{226}Ra é feita por emanometria. Após a emanção da amostra, a massa exata de sedimento e a porosidade do mesmo devem ser determinadas.

As atividades de ^{222}Rn e conseqüente decaimento radioativo, devidas aos processos bentônicos de advecção e difusão são estimadas utilizando-se a seguinte equação:

$$\frac{dC}{dt} = K_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} + \omega \frac{\partial C}{\partial z} + P + \lambda C \quad (7)$$

Onde:

C = atividade de ^{222}Rn nos sedimentos (dpm).

z = profundidade positiva para cima (m).

K_z = difusibilidade vertical.

$\partial^2 C/\partial z^2$ e $\partial C/\partial z$ representam os gradientes de concentração de ^{222}Rn que atravessam a interface sedimento-água por difusão e por advecção, respectivamente.

ω = velocidade advectiva vertical (cm dia^{-1}).

P = produção de ^{222}Rn nos fluidos dos poros, devido ao recuo alfa após o decaimento do ^{226}Ra presente nos grãos dos minerais ($P = \lambda C_{eq}$, onde C_{eq} é a atividade de ^{222}Rn em equilíbrio com o sedimento úmido, determinado experimentalmente (dpm m^{-3})).

λC = decaimento radioativo do ^{222}Rn .

Nesse modelo, K_z é equivalente a D_s , que é o coeficiente efetivo de difusão do ^{222}Rn do sedimento úmido, que é um parâmetro corrigido para a temperatura e tortuosidade do sedimento. A advecção, ω , e o decaimento radioativo, λ , representam termos que deixam os sedimentos, e por esse motivo, foram definidos como termos com um sinal negativo. A solução da equação apresentada anteriormente é igual:

$$C = \frac{(C_o - C_{eq}) (e^{\frac{z}{2z^*}}) \sinh\left(\frac{A(z_{eq} - z)}{2z^*}\right)}{\sinh\left(\frac{Az_{eq}}{2z^*}\right)} \quad (8)$$

Onde:

C_o = atividade de ^{222}Rn (dpm m^{-3}) na água do fundo, na interface água-sedimento, multiplicada pela porosidade para se obter o correspondente valor de ^{222}Rn no sedimento úmido (dpm m^{-3}).

z_{eq} = profundidade na coluna de sedimento além daquela na qual C_{eq} ocorre inicialmente.

z^* = parâmetro de mistura uni-dimensional, descrito por D_s/ω .

$A = [1 + 4z^* (\lambda/\omega)]^{0.5}$, que inclui o decaimento radioativo e a advecção.

3.7. Localização da área de estudo e coleta das amostras

Este projeto de pesquisa teve como principal objetivo a aplicação dos inventários de ^{222}Rn em excesso para se estimar a SGD e avaliar sua respectiva variação sazonal no período de Março/ 2003 a Julho/ 2005 em algumas enseadas de Ubatuba. A área de interesse situa-se entre as latitudes $23^{\circ}26'S$ e $23^{\circ}46'S$, e entre as longitudes $45^{\circ}02'W$ e $45^{\circ}11'W$. Essa área compreende a porção extremo norte do litoral norte do Estado de São Paulo, sudeste do Brasil, sendo considerada uma região costeira de clima tropical. As enseadas selecionadas para serem estudadas neste projeto são a do Flamengo, da Fortaleza, e do Mar Virado (FIG.8).

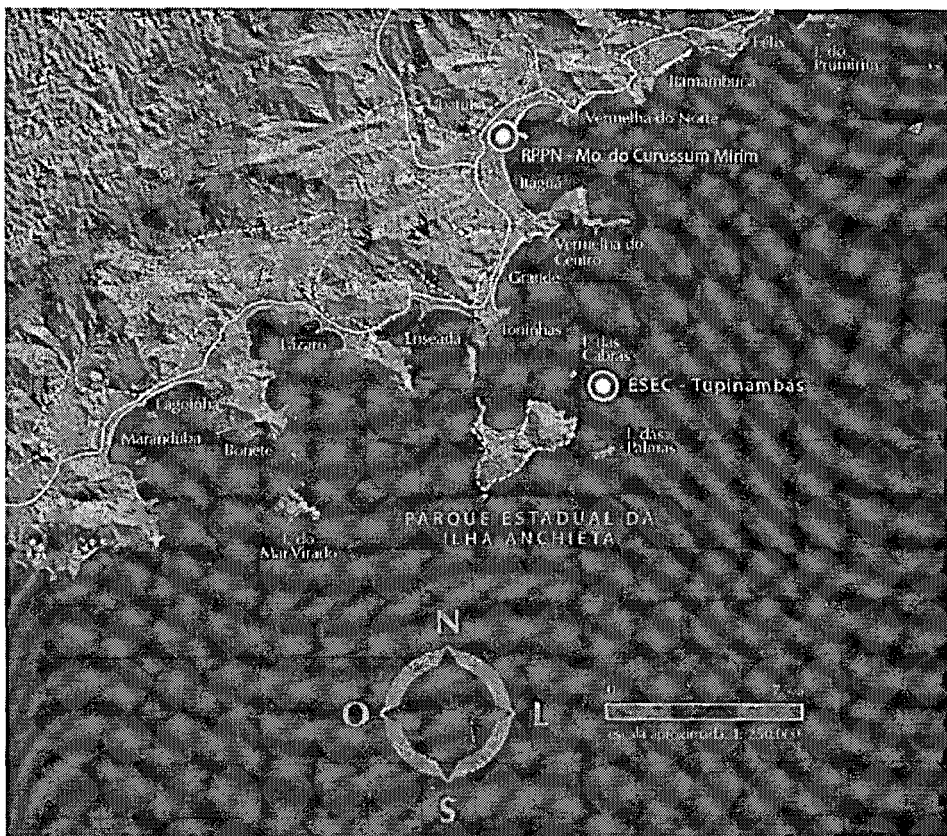


FIGURA 8 - Localização das enseadas estudadas na região de Ubatuba.

As características geológicas e morfológicas da área são fortemente controladas pela presença de granitos e migmatitos da Serra do Mar (altitudes acima de 1.000 m), que atinge a costa em quase toda a região de estudo, limitando a extensão dos sistemas de drenagem, e de planícies costeiras do Quaternário. Na maior parte da região, os sedimentos apresentam principalmente silte e areia muito fina, com poucas amostras apresentando sedimentos mais grossos ou argila [34]. A ação das ondas é o fenômeno hidrodinâmico

mais eficaz que exerce influência nos processos de sedimentação na área costeira, assim como na plataforma continental interna adjacente. Duas direções predominantes das ondas atingem a área. As ondas provenientes do S-SE estão associadas à passagem de frentes frias e são as mais importantes em termos de remodelar os sedimentos previamente depositados. As ondas provenientes do E-NE, originadas pela troca dos ventos e após a passagem de frentes frias, também são importantes para a dinâmica de fundo. A interação dessas ondas com a extensão e orientação da boca das enseadas, além da presença de ilhas na plataforma interna, conferem características distintas na dinâmica das baías, apesar de todas elas serem consideradas baías fechadas. A contribuição de sedimentos terrígenos é fortemente dependente do regime de chuvas, o que acarreta a uma maior contribuição desses sedimentos durante o verão. Durante esse período, o avanço da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) pode levar a um deslocamento da água costeira, rica em material em suspensão de origem terrígena, e conseqüentemente, o transporte desses sedimentos para distâncias além da plataforma continental. Durante o inverno, a retração da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) e o decréscimo das chuvas restringe a contribuição de sedimentos terrígenos [35]. A pluviometria média anual é cerca de 1.803 mm, com as intensidades máximas sendo observadas em Fevereiro. O nível do mar varia de 0,5 a 1,5 m, as maiores oscilações ocorrendo nos meses de Agosto/ Setembro devido ao grande volume das águas mais quentes da Corrente do Brasil [36].

3.8. Coleta de amostras de água do mar e água subterrâneas para a determinação de ^{222}Rn em excesso

O trabalho de amostragem foi sub-dividido em seis etapas: a primeira conduzida em março de 2003, teve por objetivo a realização de um levantamento preliminar dos inventários de ^{222}Rn em excesso nas Enseadas de Ubatuba (Mar Virado, Flamengo e Fortaleza); a segunda amostragem foi realizada em novembro de 2003, e foi delimitada a Enseada do Flamengo, rastreando mais detalhadamente as possíveis entradas de água subterrânea nesse local. A escolha da Enseada do Flamengo foi fundamentada nos resultados obtidos na primeira coleta. A terceira coleta de amostras foi realizada em maio de 2004, na Enseada do Flamengo; a quarta coleta de amostras foi realizada em agosto de 2004, na Enseada do Flamengo estendendo-se até a Enseada da Fortaleza; a quinta coleta de amostras foi realizada em março de 2005 na Enseada do Flamengo estendendo-se até a

Enseada da Fortaleza e a sexta e última coleta de amostras foi realizada em julho de 2005 nas Enseadas da Fortaleza e do Flamengo.

Inicialmente, foram estabelecidos perfis verticais das concentrações de ^{222}Rn total e de ^{226}Ra em função da profundidade na região de interesse: no centro da Enseada do Flamengo, na Enseada da Fortaleza e na Enseada do Mar Virado. Em todos estes perfis, escolheu-se a profundidade de 9 m no centro das enseadas. Também coletou-se amostras de água dos poços de monitoração em frente a Enseada do Flamengo na Base do Instituto Oceanográfico de Ubatuba.

Para as determinações de ^{222}Rn e de ^{226}Ra , as amostras de água foram coletadas em frascos de vidro pyrex com 4 L de capacidade, previamente vedados com silicone, com o auxílio de um bomba peristáltica (fluxo de 750 mL/min). Em cada local, para a determinação de ^{222}Rn e de ^{226}Ra nos perfis verticais foram coletadas amostras de água do mar em intervalos de profundidade variando de 1 a 2 m e uma amostra de 200 g de sedimento. Também foram estabelecidos na Enseada do Flamengo perfis verticais perpendiculares e paralelos á linha de costa e algumas amostras aleatórias foram tomadas próximas do fundo, em vários locais espalhados dentro da Enseada do Flamengo, com a finalidade de se localizar possíveis entradas de água.

Um medidor de condutividade-temperatura-profundidade, Micro CTD2 da Falmouth Scientific Inc., foi empregado para o estabelecimento preliminar dos perfis verticais de temperatura da água e da salinidade em função da profundidade, para que se pudesse determinar a profundidade da termoclina durante a amostragem.

Antes de cada coleta, verificou-se às condições dos frascos e foi feita a manutenção devida, assim como: vedação dos frascos, troca das mangueiras, substituição dos tubos de cobre por tubos de náilon, essa manutenção foi necessária para evitar perdas do gás radônio durante a amostragem.

3.9. Determinação das concentrações da salinidade e dos nutrientes nas amostras de água subterrânea e água do mar

Foram coletadas amostras de água do mar no centro de cada enseada e água subterrânea nos poços de monitoração instalados na base Clarimundo de Jesus (Enseada do Flamengo) para a determinação das concentrações da salinidade e dos nutrientes dissolvidos. Os principais nutrientes analisados foram: nitrito, nitrato, fosfato e silicato. As amostras para nutrientes foram coletadas com o auxílio de uma bomba peristáltica, tendo sido armazenadas em frascos de polietileno lavados previamente com solução ligeiramente ácida (HCl 5%), que foram congelados (-20°C) até o momento da análise. As amostras foram analisadas no Laboratório de Nutrientes, Micronutrientes e Traços no Mar (Labnut) do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IO-USP). Os resultados obtidos são apresentados no APÊNDICE A.

3.9.1. Salinidade

As salinidades foram determinadas a partir de um salinômetro indutivo de marca Beckman - RS-10 [37].

3.9.2. Nitrato

Existem diversos métodos para a análise do nitrato dissolvido como a polarografia, a eletrólise e outros. O melhor método para trabalhar com água do mar é o que está baseado na redução do nitrato à nitrito e a conseqüente formação do composto diazo, prosseguindo a análise para a determinação do nitrito como descrita no item 3.8.3, obtendo-se assim, o valor do nitrito total que por subtração do valor de nitrito inicial, antes da redução, fornece o valor de nitrato. A redução é feita com a utilização de uma coluna de cádmio cuperizado.

O nitrato prevalece como íon na água do mar. A redução do nitrato à nitrito ocorre com a utilização de um redutor de cádmio cuperizado sob condições ajustadas, aonde o nitrato passa a ser quantitativamente convertido à nitrito.



A eficiência da redução do nitrato à nitrito depende do metal utilizado, do pH da solução e da atividade da superfície do metal. Uma reação, em solução alcalina, ou com um metal cuja superfície esteja inativa não reduz de modo eficiente o nitrato. Soluções muito ácidas ou com metal altamente eletronegativo, ou com superfície muito ativa, resultam em redução além do estágio nitrito. Em ambos os casos, a análise resultaria em baixos valores de nitrato.

Para a determinação de nitrato, as amostras foram processadas segundo o método descrito por Treguer e Lê Corre [38], com modificações descritas em Braga, utilizando-se o equipamento automático Technicon Auto-Analyzer II. Por diferença do valor obtido na análise de nitrito, temos o valor real da concentração de nitrato. A precisão do método utilizado foi de 0,1 %.

3.9.3. Nitrito

Todos os métodos para a determinação fotométrica do nitrito em água do mar, estão baseados na reação do nitrito com uma amina aromática, a sulfanilamida (AS), em meio ácido formando o íon diazônico. Este reage com uma segunda amina aromática formando um composto colorido, o diazo, cuja quantidade formada é proporcional à concentração de nitrito presente na amostra analisada.

A avaliação do teor de nitrito nas amostras baseia-se no método descrito em Treguer e Lê Corre [38], utilizando-se o aparelho automático Technicon Auto-Analyzer II. A precisão do método utilizado foi de 0,02 %.

3.9.4. Fosfato

O fósforo, bem como o nitrogênio, é um constituinte da matéria orgânica viva e como tal, ele apresenta um ciclo onde pode estar presente sob formas orgânicas e inorgânicas. De um modo geral, o fósforo encontra-se no meio marinho sob a forma de compostos orgânicos em suspensão ou em solução, sob a forma de fosfatos inorgânicos insolúveis (tais como fosfato de cálcio e de ferro) ou sob a forma de fosfatos solúveis, principalmente como íons HPO_4^{-2} e PO_4^{3-} .

A maioria dos métodos de determinação do fosfato na água do mar baseiam-se na reação desses íons com um reagente contendo molibdato, em meio ácido, produzindo um complexo: o fosfomolibdato. Neste método, ocorre uma reação quantitativa do fosfato com os íons molibdato, catalisada pelo antimônio, formando inicialmente um complexo amarelado que é reduzido a um composto azul, por ação do ácido ascórbico.

A avaliação do fosfato baseia-se no procedimento descrito por Grasshoff e col.[37]. As análises do fosfato foram feitas utilizando-se o espectrofotômetro digital Gênesis II, da marca Bauch & Lomb. A precisão do método utilizado foi de 0,02%.

3.9.5. Silicato

O silício é encontrado na água do mar sob a forma de silício dissolvido e também sob a forma particulada. Provavelmente, a principal forma dissolvida seja o ácido silícico: HSi(OH)_4 . O silício particulado é proveniente de estruturas extra-celulares das diatomáceas, silicoflagelados e radiolários vivos e mortos, sendo então chamado de silício particulado biogênico. O silício inorgânico é encontrado sob várias formas minerais como quartzos, feldspatos e na constituição de minerais argilosos e é chamado de silício não-biogênico. Grande parte do silício que atinge o mar é transportado pelas águas dos rios, pela atmosfera, pela erosão de rochas e pelos sedimentos oceânicos.

A determinação dos compostos de silício dissolvidos encontradas em águas naturais baseia-se na formação de um complexo amarelo, o ácido silicomolibdico após o tratamento da amostra com molibdato. Foram desenvolvidos alguns métodos para transformar o complexo de cor amarelada em um complexo azul mais intenso. Muitos métodos utilizam redutores orgânicos para a redução deste heteropoliácido. O método descrito foi desenvolvido por Koroleff e apresentado por Grasshoff e col. [37], utilizando como redutor o ácido ascórbico. O ácido oxálico é também utilizado pelas seguintes razões: 1) para reduzir o excesso de molibdato presente, 2) para reduzir a influência do fosfato presente na amostra.

O método empregado para análise do silicato foi descrito por Grasshoff e col. [37]. A determinação do silicato foi realizada em um espectrofotômetro digital Gênesis II, da marca Bauch & Lomb. A precisão do método utilizado foi de 0,2%.

CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Eficiência total de emissão dos quatro sistemas RDA-200

A eficiência total dos quatro sistemas da linha de emissão foi determinada utilizando-se soluções de referência de ^{226}Ra em equilíbrio com o ^{222}Rn . Essas soluções foram preparadas conforme está descrito no capítulo 3, item 3.3. O gás ^{222}Rn foi transferido para uma célula de cintilação alfa tipo “Célula de Lucas”. Após o término da emissão, aguardou-se 3 horas de crescimento, para a detecção do ^{222}Rn e seus dois filhos emissores-alfa, ^{218}Po e ^{214}Po . A contagem das “Células de Lucas” foi realizada por 10 minutos nos 4 detectores RDA-200. As eficiências totais do procedimento de emissão são apresentadas na TAB. 1.

TABELA 1 – Médias aritméticas da eficiência total de emissão do ^{222}Rn nos quatro sistemas de medida RDA-200.

Sistema (n)	E (cpm/ dpm)	E (%)
1(20)	$1,82 \pm 0,03$	61 ± 3
2 (20)	$1,84 \pm 0,03$	62 ± 4
3 (20)	$1,83 \pm 0,02$	62 ± 3
4 (20)	$1,86 \pm 0,04$	62 ± 3

(n) número de medidas

Pode-se observar na TAB.1 que o coeficiente de variação das 20 medidas de eficiência total de emissão foi de cerca de 1,6 %.

4.2. Cálculo do limite inferior de detecção (LID)

O limite inferior de detecção foi determinado pelo método de Currie para o sistema de medida (RDA-200 e “Célula de Lucas”), medindo-se a radiação de fundo de 11 células de Lucas limpas durante 60 minutos em quatro monitores portáteis RDA-200, conforme descrito no capítulo 3., item 3.4. O valor encontrado para o LID variou de 0,12 a 0,29 cpm.

4.3. As concentrações de ^{222}Rn e nutrientes em amostras de água do mar e dos poços de monitoração

As campanhas de amostragens foram realizadas em diferentes estações, com o objetivo de acompanhar variações sazonais das concentrações do ^{222}Rn em excesso nas amostras de água do mar. A partir das concentrações do ^{222}Rn em excesso determinadas nas amostras de água do mar, foram construídos para cada um dos locais estabelecidos na amostragem, os perfis verticais ^{222}Rn em função da profundidade.

Em cada perfil, foram coletadas amostras de água do mar para a determinação da salinidade e das concentrações de nutrientes. Estes resultados são apresentados nas TABELAS A1 à A30 (APÊNDICE A).

Os resultados das concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso, determinadas em cada perfil vertical estabelecido nas estações de amostragem, são apresentados nas TABELAS B1 à B30 (APÊNDICE B).

Os resultados das concentrações de salinidade e nutrientes obtidos nas amostras coletadas nos poços de monitoração instalados na base do Instituto Oceanográfico da USP em Ubatuba também são apresentados no APÊNDICE A.

Os resultados das concentrações de ^{222}Rn em excesso nas amostras das águas dos poços de monitoração variaram de $1,4 \pm 0,6$ à 1.095 ± 224 dpm L^{-1} . As maiores concentrações de ^{222}Rn em excesso nas águas dos poços de monitoração (FIG.9) foram observadas no poço PM-01 no mês de março de 2005, como pode ser verificado nas Tabelas apresentadas no APÊNDICE B.

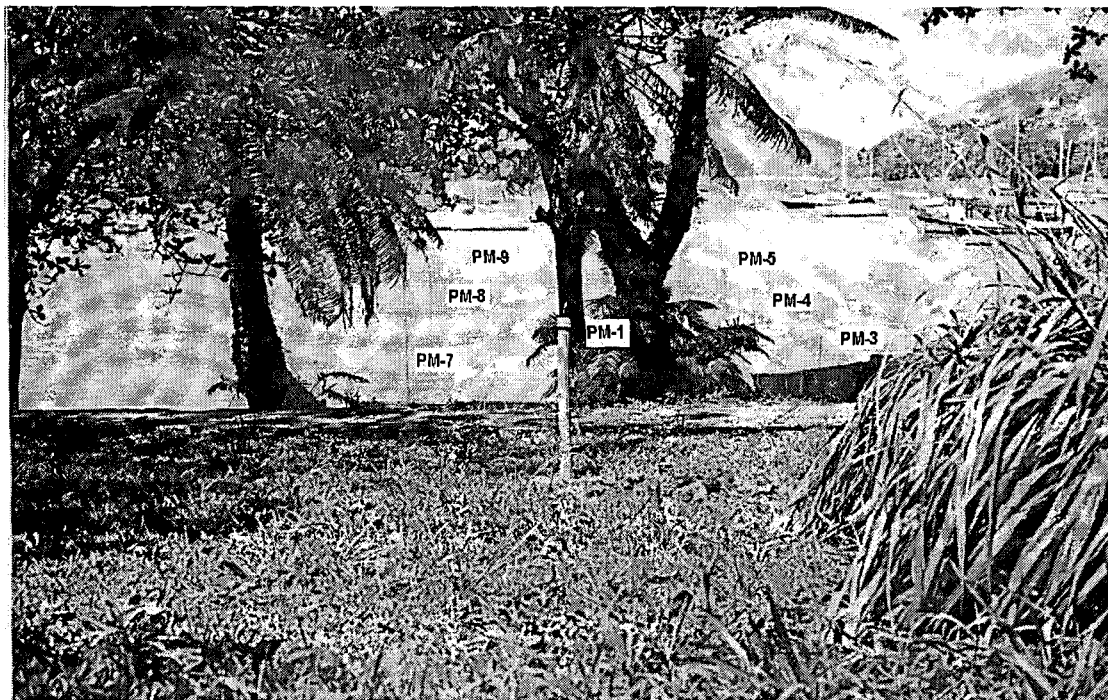


FIGURA 9 – Poços de monitoração de água subterrânea.

Durante o período de Março/ 03 à Julho/ 05, os inventários de ^{222}Rn em excesso variaram de 345 ± 24 a 18.700 ± 4900 dpm m^{-2} , os maiores inventários foram observados nas enseadas do Flamengo e da Fortaleza, nas coletas realizadas no verão (estação chuvosa). Os menores inventários de ^{222}Rn em excesso foram obtidos nas coletas realizadas nos invernos de 2004 e 2005. Os perfis verticais das obtidos no período da realização deste trabalho são apresentados a seguir nas FIGS. 10 a 28.

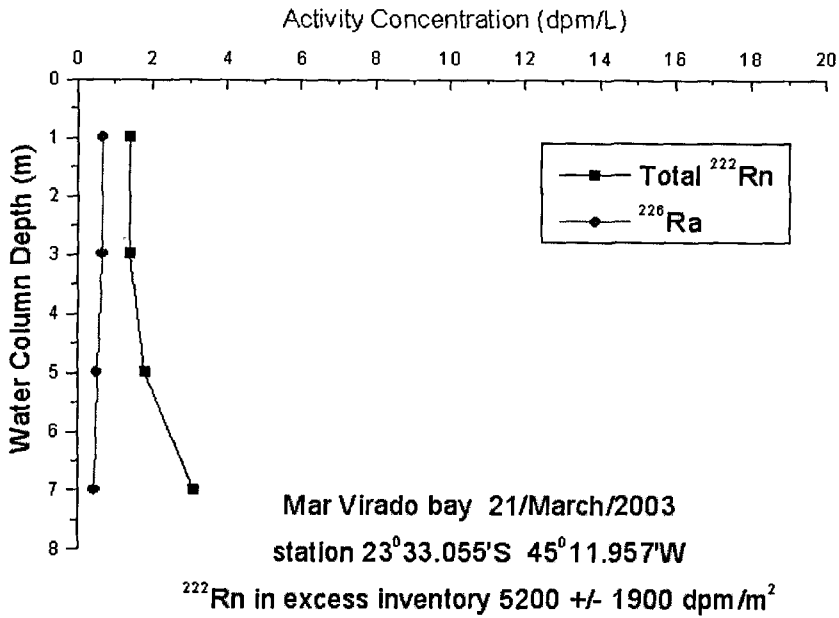


FIGURA 10 – Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e inventário de ^{222}Rn em excesso determinados no perfil vertical estabelecido na enseada do Mar Virado, em Março/03.

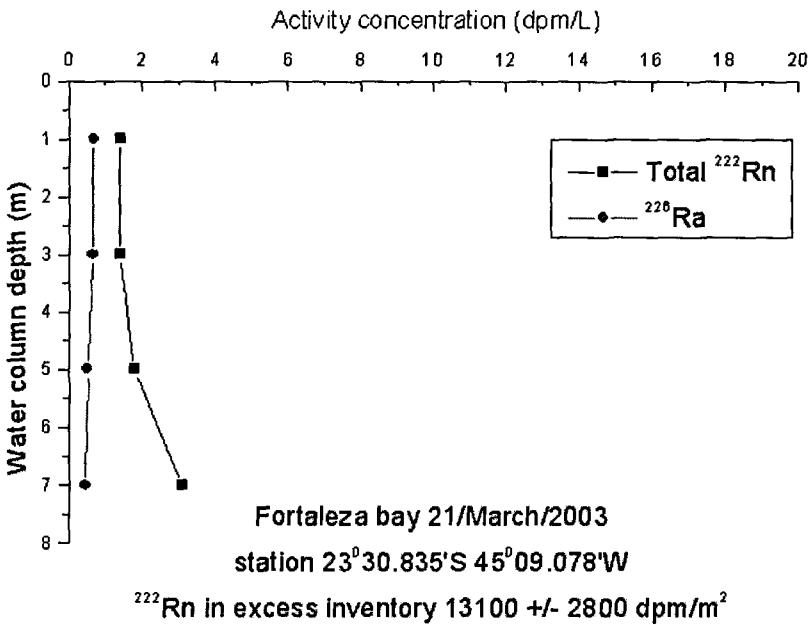


FIGURA 11 – Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e inventários de ^{222}Rn em excesso determinados no perfil vertical estabelecido na enseada da Fortaleza, em Março/03.

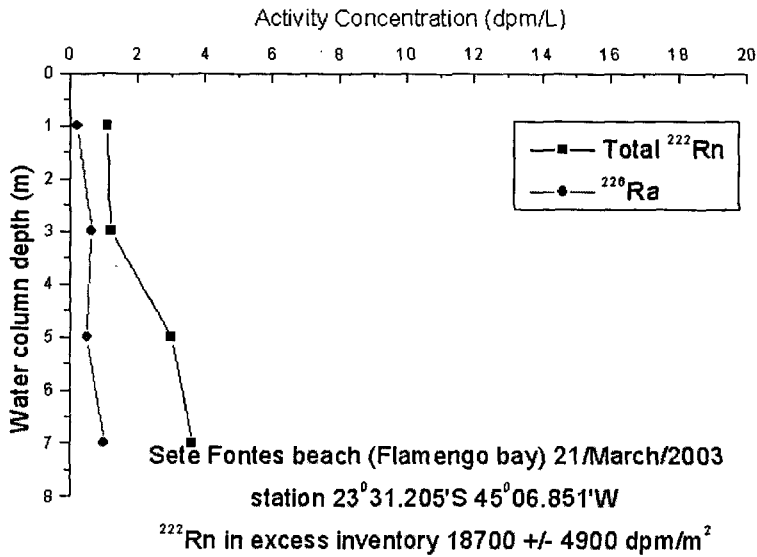


FIGURA 12 – Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e inventários de ^{222}Rn em excesso determinados no perfil vertical estabelecido na praia de Sete Fontes, enseada do Flamengo, em Março/03.

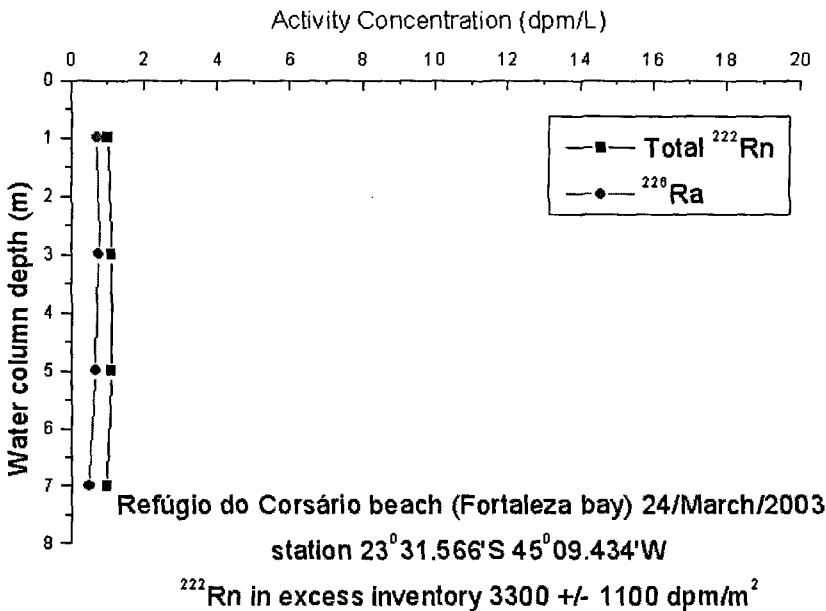


FIGURA 13 – Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e inventários de ^{222}Rn em excesso determinados no perfil vertical estabelecido na praia do Refúgio do Corsário, enseada da Fortaleza, em Março/03.

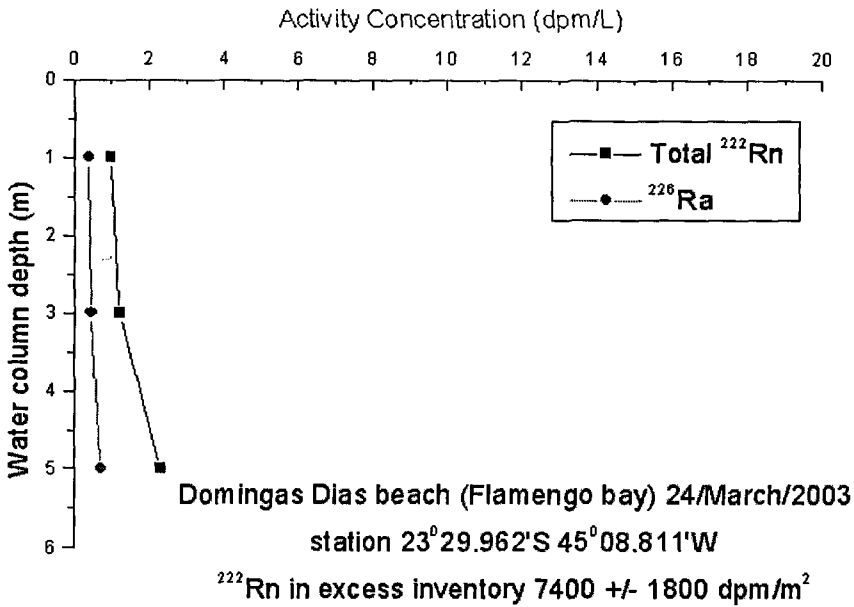


FIGURA 14 – Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e inventários de ^{222}Rn em excesso determinados no perfil vertical estabelecido na praia de Domingas Dias, enseada do Flamengo, em Março/03.

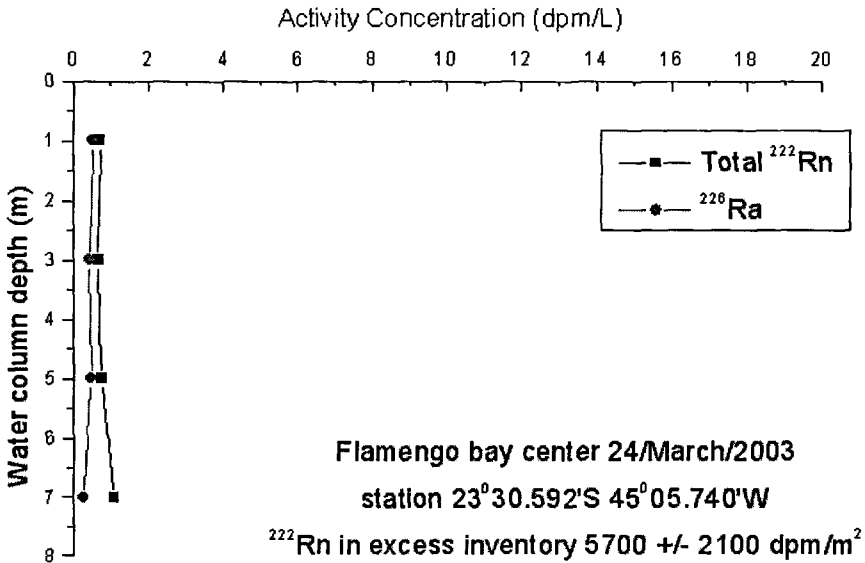


FIGURA 15 – Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e inventários de ^{222}Rn em excesso determinados no perfil vertical estabelecido na enseada do Flamengo, em Março/03.

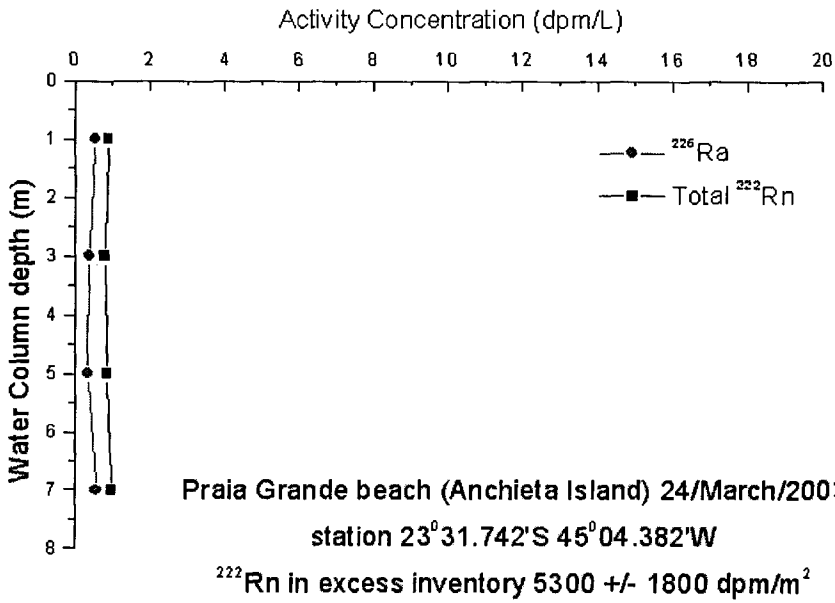


FIGURA 16 – Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e inventários de ^{222}Rn em excesso determinados no perfil vertical estabelecido na Praia Grande, enseada do Flamengo, em Março/03.

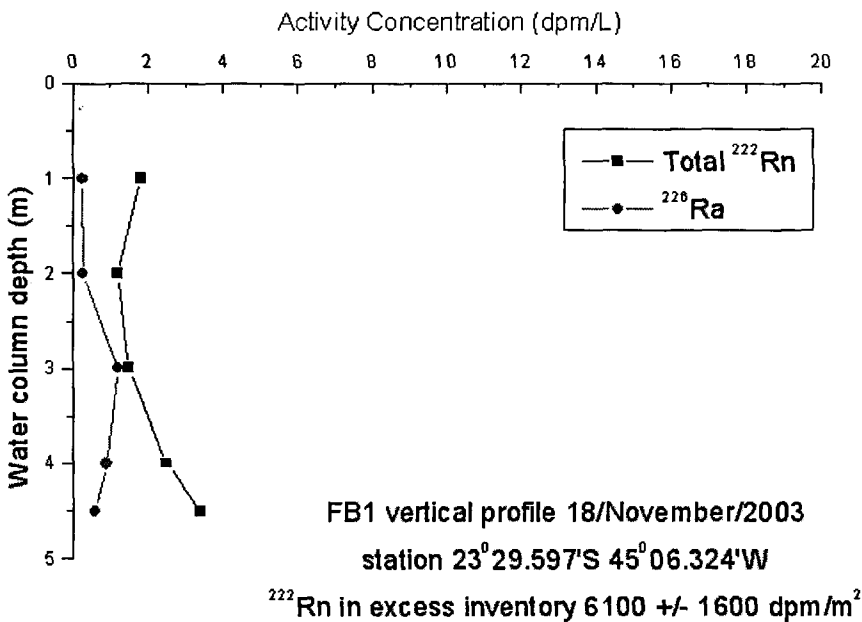


FIGURA 17 – Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e inventários de ^{222}Rn em excesso determinados no perfil vertical estabelecido na enseada do Flamengo, em Novembro/03.

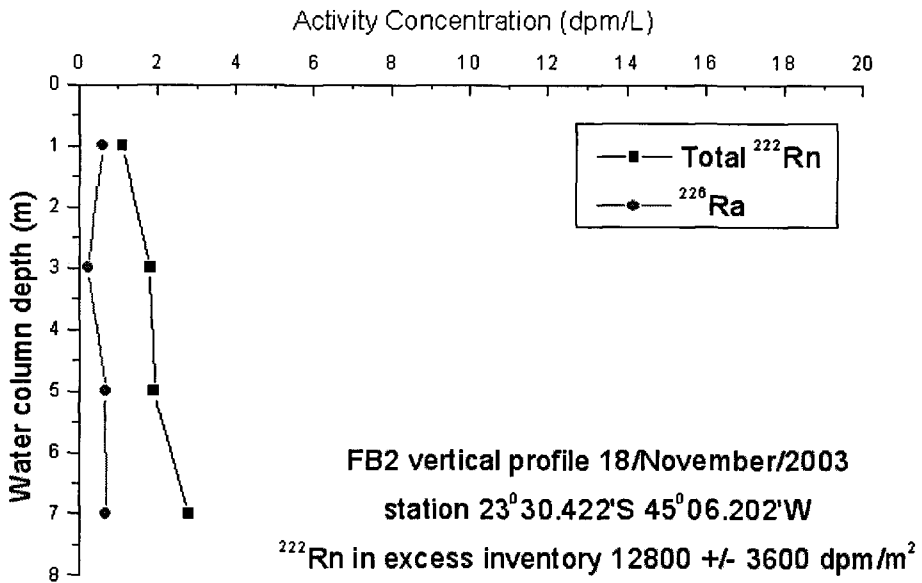


FIGURA 18 – Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e inventários de ^{222}Rn em excesso determinados no perfil vertical estabelecido na enseada do Flamengo, em Novembro/03.

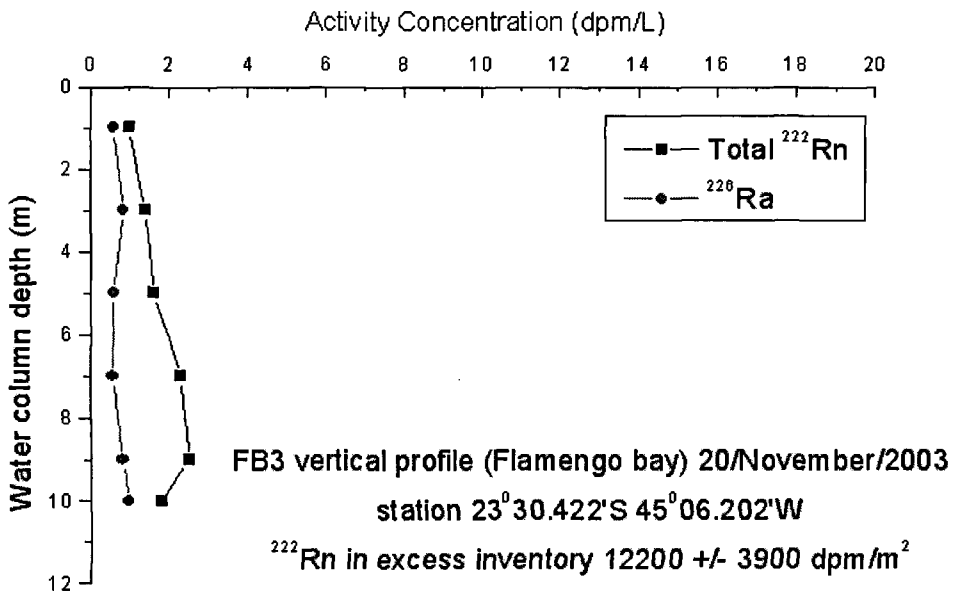


FIGURA 19 – Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e inventários de ^{222}Rn em excesso determinados no perfil vertical estabelecido na enseada do Flamengo, em Novembro/03.

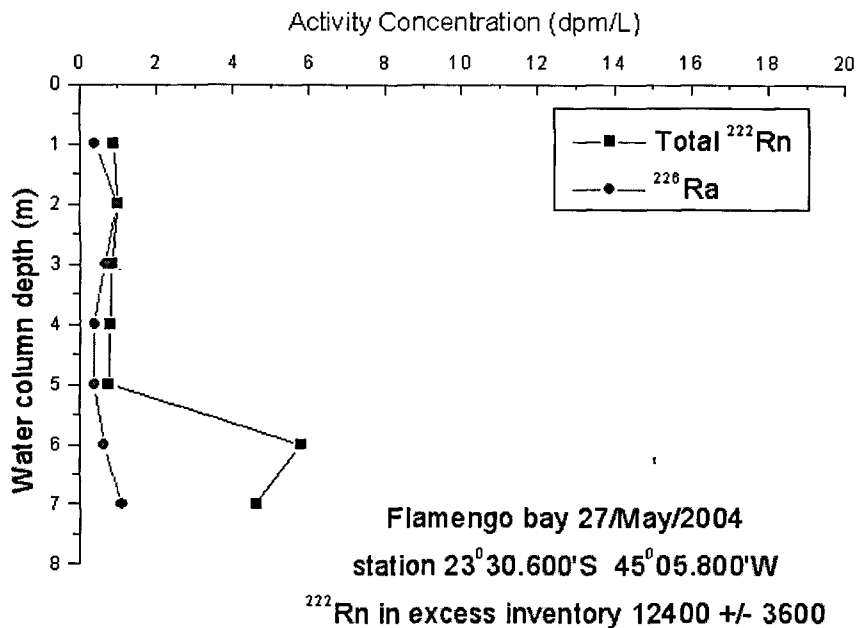


FIGURA 20 – Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e inventários de ^{222}Rn em excesso determinados no perfil vertical estabelecido no centro da enseada do Flamengo, em Maio/04.

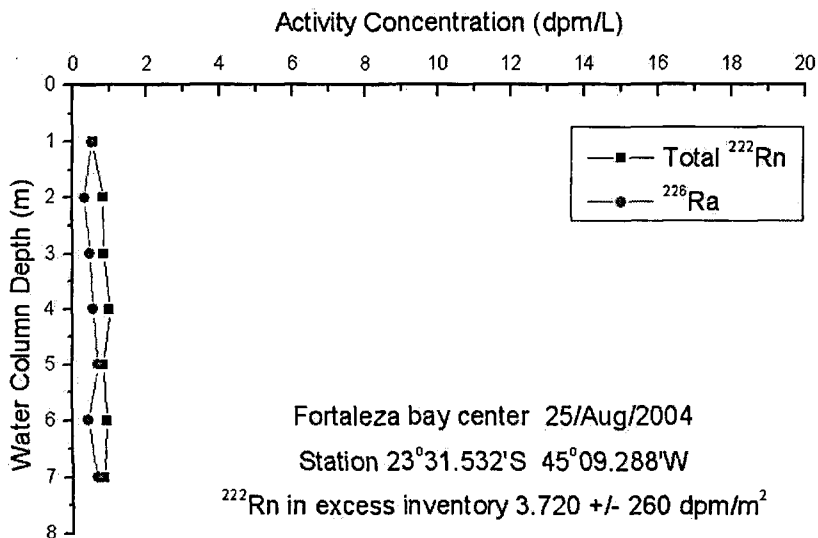


FIGURA 21 – Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e inventários de ^{222}Rn em excesso determinados no perfil vertical estabelecido na enseada da Fortaleza, em Agosto/04.

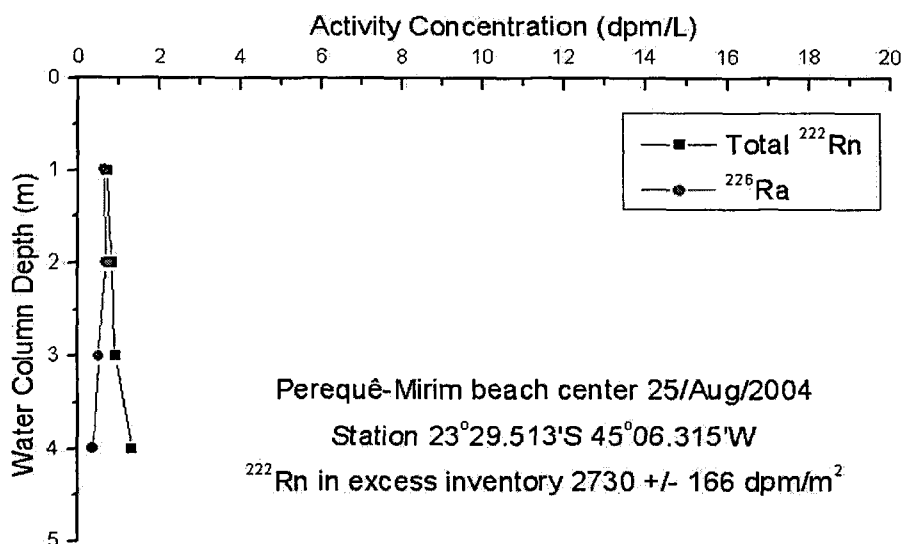


FIGURA 22 – Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e inventários de ^{222}Rn em excesso determinados no perfil vertical estabelecido no centro da praia de Perequê-Mirim, em Agosto/04.

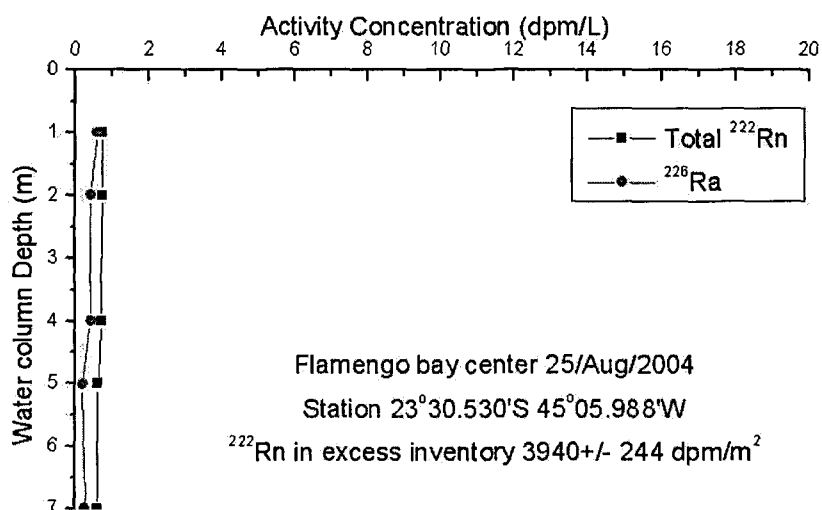


FIGURA 23 – Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e inventários de ^{222}Rn em excesso determinados no perfil vertical estabelecido no centro da enseada do Flamengo, em Agosto/04.

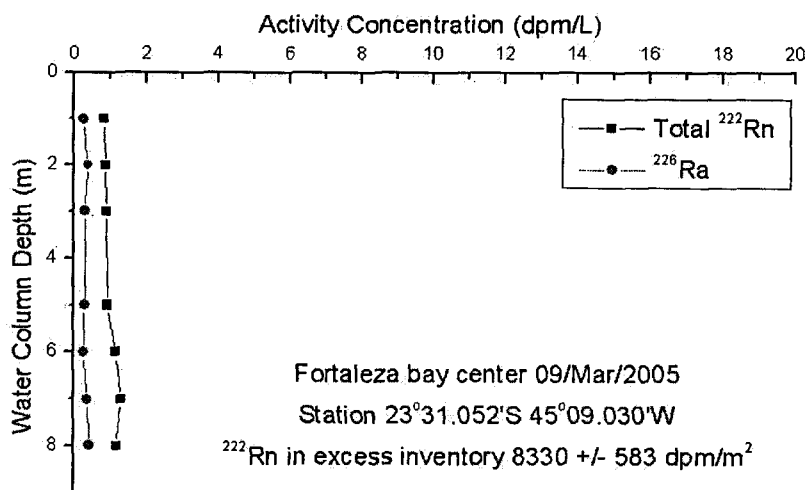


FIGURA 24 – Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e inventários de ^{222}Rn em excesso determinados no perfil vertical estabelecido no centro da enseada do Fortaleza, em Março/05.

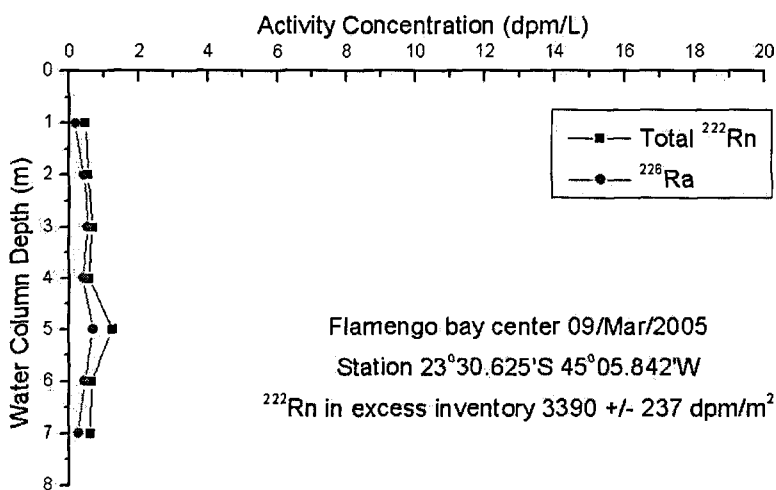


FIGURA 25 – Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e inventários de ^{222}Rn em excesso determinados no perfil vertical estabelecido no centro da enseada do Flamengo, em Março/05.

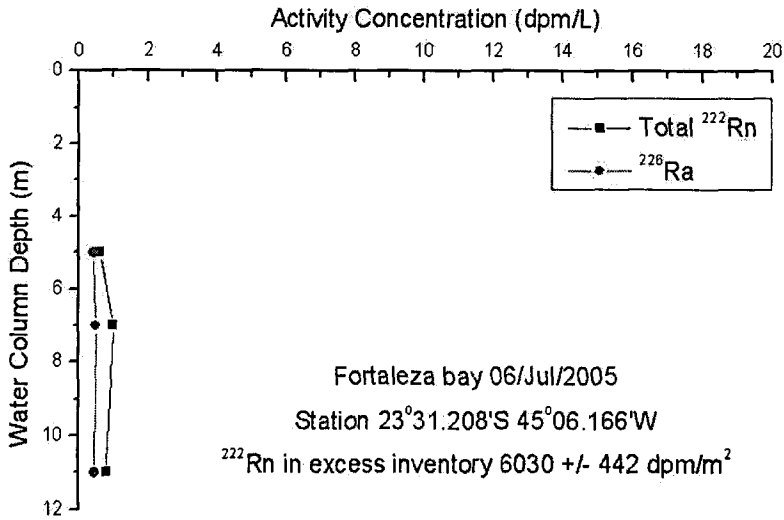


FIGURA 26 – Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e inventário de ^{222}Rn em excesso determinados no perfil vertical estabelecido na estação A-2, enseada da Fortaleza, em Julho/05.

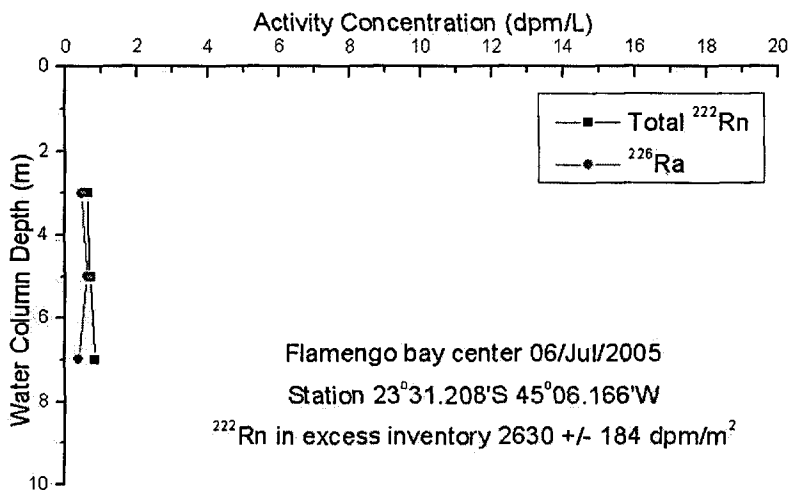


FIGURA 27 – Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e inventário de ^{222}Rn em excesso determinados no perfil vertical estabelecido no centro da enseada do Flamengo, em Julho/05.

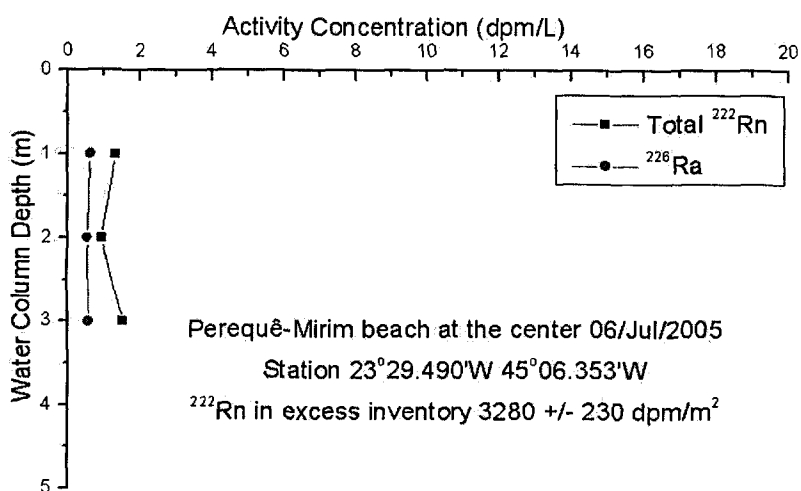


FIGURA 28 – Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e inventário de ^{222}Rn em excesso determinados no perfil vertical estabelecido no centro da Praia de Perequê-Mirim, em Julho/05.

Conhecendo-se os inventários de ^{222}Rn em excesso calculados em todos os perfis verticais estabelecidos em Ubatuba, uma estimativa simplificada do fluxo de água subterrânea em cada local pode ser feita. No estado estacionário, esse modelo assume que os únicos processos que influenciam as concentrações de ^{222}Rn na coluna d'água são a advecção vertical do fundo e a difusão do gás ao longo da mesma em função do tempo.

Os valores de atividade de ^{222}Rn em equilíbrio com o sedimento úmido (C_{eq}) e de atividade de ^{222}Rn na água do fundo, na interface água-sedimento, multiplicada pela porosidade para se obter o correspondente valor de ^{222}Rn no sedimento úmido (C_o), determinados experimentalmente no presente trabalho são apresentados na TABELA 2.

TABELA 2 - Atividades de ^{222}Rn em equilíbrio com o sedimento úmido (C_{eq}) e de atividade de ^{222}Rn na água do fundo, na interface água-sedimento, multiplicada pela porosidade para se obter o correspondente valor de ^{222}Rn no sedimento úmido (C_o), determinados pela medida das amostras de sedimentos das enseadas estudadas em Ubatuba.

Origem da amostra de sedimento	C_{eq} (dpm m⁻³)	Porosidade	C_o (dpm m⁻³)
Enseada do Flamengo	$1,8 \times 10^5$	0,51	$1,9 \times 10^4$
Enseada da Fortaleza	$8,5 \times 10^4$	0,49	$7,8 \times 10^3$
Enseada do Mar Virado	$1,3 \times 10^5$	0,57	$3,0 \times 10^3$
Enseada de Ubatuba	$1,5 \times 10^5$	0,62	$8,5 \times 10^3$
Em frente à Base de Ubatuba	$9,9 \times 10^5$	0,41	$8,5 \times 10^3$

Levando-se em conta os resultados dos experimentos de ^{222}Rn em equilíbrio com o ^{226}Ra presente nos sedimentos de fundo, a atividade de ^{222}Rn na água dos poros dos sedimentos, e os fluxos de ^{222}Rn em excesso na coluna de água do mar, os fluxos de água subterrânea necessários para balancear os respectivos inventários de ^{222}Rn em excesso por advecção ($\omega = \text{SGD}$) foram calculados em cm dia^{-1} , utilizando-se a equação 8, apresentada anteriormente no item 3.6. Os resultados obtidos são apresentados na TABELA 3.

TABELA 3 – Inventários de ^{222}Rn em excesso, fluxos de ^{222}Rn em excesso requeridos para suportar os inventários medidos e as taxas de advecção da água subterrânea ($\omega=\text{SGD}$) necessárias para balancear os respectivos fluxos (Março/ 2003-Julho/ 2005).

PERFIL VERTICAL Profundidade (m)	$I^{222}\text{Rn}$ excesso (dpm m⁻²)	Fluxo ^{222}Rn excesso (dpm m⁻² d⁻¹)	SGD (ω) (cm d⁻¹)
<u>Março 2003</u>			
Enseada do Mar Virado (8 m)	5.200 ± 1.900	941 ± 338	0,36
Enseada da Fortaleza (8 m)	13.100 ± 2.800	2.371 ± 498	1,3
Praia das Sete Fontes (Flamengo) (8m)	18.700 ± 4.900	3.385 ± 880	1,9
Praia Refúgio do Corsário (Fortaleza) (8 m)	3.300 ± 1.100	597 ± 179	0,06
Praia Domingas Dias (Flamengo) (6 m)	7.400 ± 1.800	1.339 ± 326	0,65
Enseada do Flamengo Centro (8 m)	5.700 ± 2.100	1.032 ± 380	0,43
Praia Grande (Ilha Anchieta) (8 m)	5.300 ± 1.800	952 ± 323	0,37
<u>Novembro 2003</u>			
Enseada do Flamengo - FB1 (5 m)	6.100 ± 1.600	1.104 ± 290	0,48
Enseada do Flamengo - FB2 (8 m)	12.800 ± 3.600	2.317 ± 649	1,3
Enseada do Flamengo - FB3 (11 m)	12.200 ± 3.900	2.208 ± 706	1,2
<u>Mai 2004</u>			
Enseada do Flamengo - FL (9 m)	12.400 ± 3.600	2.244 ± 651	1,2
<u>Agosto - 2004</u>			
Enseada da Fortaleza (8 m)	3.720 ± 260	673 ± 47	0,74
Praia do Perequê-Mirim (Flamengo) (5 m)	2.730 ± 166	429 ± 30	0,20
Praia do Perequê-Mirim esquerdo (2.7 m)	1.155 ± 81	209 ± 15	0,03
Praia do Perequê-Mirim direito (3.2 m)	345 ± 24	62 ± 4	0,01
Enseada do Flamengo (8 m)	3.940 ± 244	632 ± 44	0,10
<u>Março - 2005</u>			
Enseada da Fortaleza (9 m)	8.330 ± 583	1.508 ± 106	1,9
Enseada do Flamengo (8,2 m)	3.390 ± 237	614 ± 43	0,08
Praia do Perequê-Mirim esquerdo (2,4 m)	5.400 ± 378	977 ± 68	0,39
Praia do Perequê-Mirim direito (2,4 m)	4.500 ± 315	815 ± 57	0,26
<u>Julho - 2005</u>			
Enseada da Fortaleza - A1(2,4 m)	4.080 ± 286	738 ± 52	0,83
Enseada da Fortaleza - A2 (12 m)	6.030 ± 442	1.091 ± 76	1,3
Enseada do Flamengo (8,2 m)	2.630 ± 184	476 ± 33	0,24
Praia do Perequê-Mirim (4 m)	3.280 ± 230	594 ± 42	0,27

Os respectivos fluxos de ^{222}Rn em excesso na coluna d'água variaram de 62 ± 4 a 3.385 ± 880 dpm m⁻². Os fluxos de água subterrânea necessários para balancear os respectivos fluxos de ^{222}Rn por advecção ($\omega = \text{SGD}$) variaram de $0,1 \times 10^{-1}$ a $1,9$ cm dia⁻¹. É interessante observar que os fluxos de água subterrânea são dependentes da porosidade dos sedimentos de fundo e portanto, podem variar de local para local consideravelmente.

Para avaliar a ordem de grandeza dos fluxos de SGD obtidos no presente trabalho, os resultados foram comparados com aqueles relatados na literatura por outros autores na Flórida. Os fluxos de SGD encontrados nas enseadas de Ubatuba são cerca de 3 ordens de grandeza menores que aqueles estimados por Cable et.al [8] em um estudo realizado na região nordeste do Golfo do México, abrangendo uma área de 620 km².

Os maiores inventários de ²²²Rn em excesso foram observados no final do verão (Março), coincidindo com o mês de pluviometria mais elevada (cerca de 344,9 mm), período de maior recarga do aquífero. A pluviometria anual em Ubatuba varia de 1.500 a 2.000 mm, sendo que Agosto é o único mês que apresenta precipitação inferior a 100 mm.

Considerando-se todos os fluxos de água subterrânea (SGD) obtidos no período de Março/03 a Julho/2005, o respectivo coeficiente de variação encontrado foi de 89% (variação sazonal em 3 anos, n = 24 medidas). Se considerarmos cada ano de estudo isoladamente, os respectivos coeficientes de variação são 72% em 2003 (n = 10 medidas), 127% em 2004 (n = 6 medidas) e 97% em 2005 (n = 8 medidas).

CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES

A aplicação dos inventários de ^{222}Rn em excesso para se estimar a descarga de águas subterrâneas em 3 enseadas de Ubatuba (Flamengo, Fortaleza e Mar Virado) foi estudada neste trabalho no período de Março/03 a Julho/05. O trabalho teve por objetivos acompanhar as variações sazonais nos inventários de ^{222}Rn em excesso e conseqüentemente, nos fluxos de água subterrânea para as enseadas de Ubatuba.

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foram determinadas as concentrações de ^{222}Rn total e de ^{226}Ra em várias amostras de água do mar e água subterrânea por emanometria. A fase preliminar do projeto envolveu a validação da metodologia utilizada, assegurando-se a confiabilidade dos resultados obtidos. Para tanto, quatro monitores portáteis de ^{222}Rn e filhos, modelo RDA-200, marca Scintrex foram calibrados com células de cintilação alfa de referência, contendo atividades conhecidas de ^{226}Ra , fornecidas pelo próprio fabricante do equipamento.

A eficiência total dos quatro sistemas da linha de emanção utilizados foi determinada utilizando-se soluções de referência de ^{226}Ra em equilíbrio com o ^{222}Rn . As eficiências médias aritméticas do processo de emanção do ^{222}Rn em 4 monitores portáteis RDA-200 variaram de $1,82 \pm 0,03$ a $1,86 \pm 0,04$ cpm/dpm. O coeficiente de variação das medidas de eficiência total de emanção foi de cerca de 1,6 %.

O limite inferior de detecção determinado pelo método de Currie para o sistema de medida (RDA-200 e “Célula de Lucas”) variou de 0,12 a 0,29 cpm.

Durante o triênio 2003-2005, 6 campanhas de amostragem foram realizadas em diferentes estações. A partir das concentrações do ^{222}Rn em excesso determinadas nas amostras de água do mar, foram construídos para cada um dos locais estabelecidos na

amostragem, os perfis verticais ^{222}Rn em função da profundidade. Em cada perfil, foram coletadas amostras de água do mar para a determinação da salinidade e das concentrações de nutrientes. As concentrações de salinidade e nutrientes obtidas em amostras coletadas nos poços de monitoração instalados na base do Instituto Oceanográfico da USP em Ubatuba também foram avaliadas.

Os resultados das concentrações de ^{222}Rn em excesso nas amostras das águas dos poços de monitoração variaram de $1,4 \pm 0,6$ à 1.095 ± 224 dpm L^{-1} . As maiores concentrações de ^{222}Rn em excesso nas águas dos poços de monitoração foram observadas no poço PM-01 no mês de Março de 2005.

Durante o período de Março/ 03 à Julho/ 05, os inventários de ^{222}Rn em excesso variaram de 345 ± 24 a 18.700 ± 4.900 dpm m^{-2} , os maiores inventários tendo sido observados nas enseadas do Flamengo e da Fortaleza, nas coletas realizadas no verão (estação chuvosa). Os menores inventários de ^{222}Rn em excesso foram obtidos nas coletas realizadas nos invernos de 2004 e 2005.

A partir dos inventários de ^{222}Rn em excesso calculados em todos os perfis verticais estabelecidos em Ubatuba, uma estimativa simplificada do fluxo de água subterrânea em cada local foi realizada utilizando-se um modelo de difusão-advecção unidimensional. No estado estacionário, esse modelo considerou que os únicos processos que influenciam as concentrações de ^{222}Rn na coluna d'água são a advecção vertical do fundo e a difusão do gás ao longo da mesma em função do tempo.

Para aplicar o modelo proposto no cenário estudado, alguns parâmetros relevantes foram determinados experimentalmente: (C_{eq}) atividades de ^{222}Rn em equilíbrio com o sedimento úmido, (C_o) atividade de ^{222}Rn na água do fundo, na interface água-sedimento, e a porosidade dos sedimentos para se obter o correspondente valor de ^{222}Rn no sedimento úmido.

Levando-se em conta os resultados dos experimentos de ^{222}Rn em equilíbrio com o ^{226}Ra presente nos sedimentos de fundo, a atividade de ^{222}Rn na água dos poros dos sedimentos, e os fluxos de ^{222}Rn em excesso na coluna de água do mar, os fluxos de água subterrânea foram calculados em cm dia^{-1} .

Os respectivos fluxos de ^{222}Rn em excesso na coluna d'água variaram de 62 ± 4 a 3.385 ± 880 dpm m^{-2} . Os fluxos de água subterrânea necessários para balancear os respectivos fluxos de ^{222}Rn por advecção ($\omega = \text{SGD}$) variaram de $0,1 \times 10^{-1}$ a $1,9$ cm dia^{-1} . É interessante observar que os fluxos de água subterrânea são dependentes da porosidade dos sedimentos de fundo e portanto, podem variar de local para local consideravelmente.

Para avaliar a ordem de grandeza dos fluxos de SGD obtidos no presente trabalho, os resultados foram comparados com aqueles relatados na literatura por outros autores na Flórida. Os fluxos de SGD encontrados nas enseadas de Ubatuba são cerca de 3 ordens de grandeza menores que aqueles estimados por Cable et.al [8] em um estudo realizado na região nordeste do Golfo do México, abrangendo uma área de 620 km^2 .

Os maiores inventários de ^{222}Rn em excesso foram observados no final do verão (Março), coincidindo com o mês de pluviometria mais elevada (cerca de 344,9 mm), período de maior recarga do aquífero. A pluviometria anual em Ubatuba varia de 1.500 a 2.000 mm, sendo que Agosto é o único mês que apresenta precipitação inferior a 100 mm.

Considerando-se todos os fluxos de água subterrânea (SGD) obtidos no período de Março/03 a Julho/2005, o respectivo coeficiente de variação encontrado foi de 89% (variação sazonal em 3 anos, $n = 24$ medidas). Se considerarmos cada ano de estudo isoladamente, os respectivos coeficientes de variação são 72% em 2003 ($n = 10$ medidas), 127% em 2004 ($n = 6$ medidas) e 97% em 2005 ($n = 8$ medidas).

Os resultados das concentrações de nutrientes (nitrato, nitrito, silicato e fosfato) não indicaram enriquecimentos nas estações monitoradas, e portanto não evidenciaram a infiltração de águas subterrâneas contaminadas por esgotos domésticos nas enseadas estudadas.

O Laboratório de Radiometria Ambiental pretende dar continuidade à linha de pesquisa em questão, que poderá ser aplicada a outros cenários similares no país e auxiliar como ferramenta no reconhecimento e na quantificação da descarga de águas subterrâneas no ambiente marinho costeiro pelo balanço de massas das concentrações de ^{222}Rn . Em particular, encontra-se em desenvolvimento um projeto de pesquisa mais abrangente

financiado e coordenado pela Agência Internacional de Energia Atômica, titulado “Nuclear and Isotopic Techniques for the Characterization of Submarine Groundwater Discharge (SGD) in Coastal Zones”, que tem por escopo principal a aplicação de isótopos naturais de Ra e ^{222}Rn para se estimar taxas de mistura de massas d’água costeiras e a descarga de águas subterrâneas em Ubatuba. Os resultados obtidos neste projeto irão refinar a interpretação de processos físicos e biogeoquímicos que ocorrem nestes sistemas costeiros.

APÊNDICE A – Determinação das concentrações dos nutrientes

TABELA A1 – Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical determinado no centro da Enseada do Mar Virado, coluna d'água 8 m, estação latitude 23°33.055'S e longitude 45°11.957'W (21/Março/2003).

Amostras	Profundidade (m)	Temperatura (°C)	Salinidade (ppt)	Nitrito ⁽¹⁾ (µM)	Nitrato ⁽²⁾ (µM)	Fosfato ⁽¹⁾ (µM)	Silicato ⁽³⁾ (µM)
MAV-1	7	27,30	34,31	0,17	0,46	0,82	5,68
MAV-2	5	27,54	34,21	0,03	0,06	0,28	3,79
MAV-3	3	28,02	33,91	0,04	0,04	0,30	4,55
MAV-4	1	28,46	33,62	0,01	0,01	0,28	3,89

⁽¹⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrito e fosfato é 2%.

⁽²⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrato é 10%.

⁽³⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de silicato é 20%.

TABELA A2 – Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical determinado no centro da Enseada da Fortaleza, coluna d'água 8 m, estação latitude 23°30.835'S e longitude 45°09.078'W (21/Março/2003).

Amostras	Profundidade (m)	Temperatura (°C)	Salinidade (ppt)	Nitrito ⁽¹⁾ (µM)	Nitrato ⁽²⁾ (µM)	Fosfato ⁽¹⁾ (µM)	Silicato ⁽³⁾ (µM)
FRT-1	7	27,56	34,16	0,11	0,38	0,72	6,82
FRT-2	5	27,69	33,98	0,00	0,00	0,37	3,79
FRT-3	3	27,84	33,77	0,01	0,09	0,30	4,41
FRT-4	1	28,29	33,22	0,20	0,25	0,33	5,26

⁽¹⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrito e fosfato é 2%.

⁽²⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrato é 10%.

⁽³⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de silicato é 20%.

TABELA A3 – Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical determinado no centro da Praia das Sete Fontes (enseada do Flamengo), coluna d'água 8 m, estação latitude 23°31.205'S e longitude 45°06.851'W (21/Março/2003).

Amostras	Profundidade (m)	Temperatura (°C)	Salinidade (ppt)	Nitrito ⁽¹⁾ (µM)	Nitrato ⁽²⁾ (µM)	Fosfato ⁽¹⁾ (µM)	Silicato ⁽³⁾ (µM)
FLM-1	7	27,31	34,28	0,59	1,35	2,17	11,98
FLM-2	5	28,21	33,53	0,32	1,03	0,82	10,04
FLM-3	3	28,37	33,33	0,01	0,03	0,28	5,45
FLM-4	1	28,37	33,34	0,01	0,01	0,25	2,27

⁽¹⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrito e fosfato é 2%.

⁽²⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrato é 10%.

⁽³⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de silicato é 20%.

TABELA A4 – Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical determinado no centro da Praia do Refúgio do Corsário (enseada da Fortaleza), coluna d'água 8 m, estação latitude 23°31.566'S e longitude 45°09.434'W (24/Março/2003).

Amostras	Profundidade (m)	Temperatura (°C)	Salinidade (ppt)	Nitrito ⁽¹⁾ (µM)	Nitrato ⁽²⁾ (µM)	Fosfato ⁽¹⁾ (µM)	Silicato ⁽³⁾ (µM)
COR-1	7	26,93	33,97	0,21	0,47	0,72	2,89
COR-2	5	26,93	33,97	0,14	0,38	0,61	2,98
COR-3	3	26,93	33,97	0,11	0,30	0,66	2,46
COR-4	1	26,94	25,16	0,06	0,22	0,42	4,69

⁽¹⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrito e fosfato é 2%.

⁽²⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrato é 10%.

⁽³⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de silicato é 20%.

TABELA A5 – Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical determinado no centro da Praia Domingas Dias (enseada do Flamengo), coluna d'água 6 m, estação latitude 23°29.962'S e longitude 45°08.811'W (24/Março/2003).

Amostras	Profundidade (m)	Temperatura (°C)	Salinidade (ppt)	Nitrito ⁽¹⁾ (µM)	Nitrato ⁽²⁾ (µM)	Fosfato ⁽¹⁾ (µM)	Silicato ⁽³⁾ (µM)
DOM-1	5	27,15	33,95	0,55	1,48	2,09	9,47
DOM-2	3	27,17	33,74	0,39	1,12	0,99	10,37
DOM-3	1	27,27	27,19	0,34	1,51	0,83	2,27

⁽¹⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrito e fosfato é 2%.

⁽²⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrato é 10%.

⁽³⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de silicato é 20%.

TABELA A6 – Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical determinado no centro da Enseada do Flamengo, coluna d'água 8 m, estação latitude 23°30.592'S e longitude 45°05.740'W (24/Março/2003).

Amostras	Profundidade (m)	Temperatura (°C)	Salinidade (ppt)	Nitrito ⁽¹⁾ (µM)	Nitrato ⁽²⁾ (µM)	Fosfato ⁽¹⁾ (µM)	Silicato ⁽³⁾ (µM)
FLA-1	7	26,91	34,39	0,25	0,48	1,36	8,86
FLA-2	5	26,91	34,23	0,04	0,09	0,37	4,55
FLA-3	3	27,05	34,10	0,10	0,21	0,40	5,12
FLA-4	1	27,15	24,78	-	-	-	-

⁽¹⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrito e fosfato é 2%.

⁽²⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrato é 10%.

⁽³⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de silicato é 20%.

TABELA A7 – Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical determinado no centro da Praia Grande (Ilha Anchieta), coluna d'água 8 m, estação latitude 23°31.742'S e longitude 45°04.382'W (24/Março/2003).

Amostras	Profundidade (m)	Temperatura (°C)	Salinidade (ppt)	Nitrito ⁽¹⁾ (µM)	Nitrato ⁽²⁾ (µM)	Fosfato ⁽¹⁾ (µM)	Silicato ⁽³⁾ (µM)
PG-1	7	26,66	34,81	0,32	0,41	0,41	4,03
PG-2	5	26,67	34,78	0,13	0,32	0,44	5,49
PG-3	3	26,73	34,66	0,10	0,21	0,39	3,32
PG-4	1	26,81	30,15	0,34	0,12	0,31	2,98

⁽¹⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrito e fosfato é 2%.

⁽²⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrato é 10%.

⁽³⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de silicato é 20%.

TABELA A8 – Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical determinado na Enseada do Flamengo, coluna d'água 4,8 m, estação latitude 23°29.597'S e longitude 45°06.324'W (18/Novembro/2003).

Amostras	Profundidade (m)	Temperatura (°C)	Salinidade (ppt)	Nitrito ⁽¹⁾ (µM)	Nitrato ⁽²⁾ (µM)	Fosfato ⁽¹⁾ (µM)	Silicato ⁽³⁾ (µM)
FB1-1	1	-	33,76	0,03	0,07	0,34	4,98
FB1-2	2	-	33,59	0,07	0,27	0,18	6,00
FB1-3	3	-	33,88	0,07	0,30	0,09	2,83
FB1-4	4	-	33,99	0,14	0,30	0,21	3,04
FB1-4,5	4,5	-	31,10	0,10	0,24	0,17	1,69

⁽¹⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrito e fosfato é 2%.

⁽²⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrato é 10%.

⁽³⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de silicato é 20%.

TABELA A9 – Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical determinado na Enseada do Flamengo, coluna d'água 8 m, estação latitude 23°30.422'S e longitude 45°06.202'W (18/Novembro/2003).

Amostras	Profundidade (m)	Temperatura (°C)	Salinidade (ppt)	Nitrito ⁽¹⁾ (µM)	Nitrato ⁽²⁾ (µM)	Fosfato ⁽¹⁾ (µM)	Silicato ⁽³⁾ (µM)
FB2-1	1	-	33,84	0,03	0,05	0,33	3,95
FB2-3	3	-	33,64	0,07	0,19	0,16	5,60
FB2-5	5	-	33,88	0,07	0,30	0,09	2,83
FB2-7	7	-	34,14	0,07	0,43	0,09	4,51

⁽¹⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrito e fosfato é 2%.

⁽²⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrato é 10%.

⁽³⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de silicato é 20%.

TABELA A10 – Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical determinado no centro da Enseada do Flamengo, coluna d'água 11 m, estação latitude 23°30.422'S e longitude 45°06.202'W (20/Novembro/2003).

Amostras	Profundidade (m)	Temperatura (°C)	Salinidade (ppt)	Nitrito ⁽¹⁾ (µM)	Nitrato ⁽²⁾ (µM)	Fosfato ⁽¹⁾ (µM)	Silicato ⁽³⁾ (µM)
FB3-1	1	-	33,86	0,03	0,05	0,33	3,95
FB3-3	3	-	34,95	0,07	0,19	0,16	5,60
FB3-5	5	-	35,04	0,07	0,30	0,09	2,83
FB3-7	7	-	35,11	0,07	0,43	0,09	4,51
FB3-9	9	-	-	-	-	-	-
FB3-10	10	-	-	-	-	-	-

⁽¹⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrito e fosfato é 2%.

⁽²⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrato é 10%.

⁽³⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de silicato é 20%.

TABELA A11 – Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observadas nas águas de superfície entrando na Enseada do Flamengo e da Praia do Perequê-Mirim (20/Novembro/2003).

Amostras	Profundidade (m)	Temperatura (°C)	Salinidade (ppt)	Nitrito ⁽¹⁾ (µM)	Nitrato ⁽²⁾ (µM)	Fosfato ⁽¹⁾ (µM)	Silicato ⁽³⁾ (µM)
Córrego – A oeste(1)	superfície	-	-	0,07	0,30	0,09	2,83
Córrego – B leste (1)	superfície	-	-	0,07	0,30	0,09	2,83

⁽¹⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrito e fosfato é 2%.

⁽²⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrato é 10%.

⁽³⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de silicato é 20%.

TABELA A12 – Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical determinado no centro da Enseada do Flamengo, coluna d'água 11 m, estação latitude 23°30.600'S e longitude 45°05.800'W (27/Maio/2004).

Amostras	Profundidade (m)	Temperatura (°C)	Salinidade (ppt)	Nitrito ⁽¹⁾ (µM)	Nitrato ⁽²⁾ (µM)	Fosfato ⁽¹⁾ (µM)	Silicato ⁽³⁾ (µM)
FL-7	7	24	34,76	0,20	0,15	0,29	0,61
FL-6	6	24	34,72	0,14	0,20	0,15	0,61
FL-5	5	24	34,72	0,17	0,19	0,16	0,50
FL-4	4	24	34,50	0,13	0,13	0,09	0,33
FL-2	2	24	34,48	0,10	0,14	0,11	0,70
FL-1	1	24	34,47	0,10	0,23	0,12	0,49

⁽¹⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrito e fosfato é 2%.

⁽²⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrato é 10%.

⁽³⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de silicato é 20%.

TABELA A13 – Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical determinado no centro da Enseada da Fortaleza, coluna d'água 8 m, estação latitude 23°31.532'S e longitude 45°09.288'W (25/Agosto/2004).

Amostras	Profundidade (m)	Temperatura (°C)	Salinidade (ppt)	Nitrito ⁽¹⁾ (μM)	Nitrato ⁽²⁾ (μM)	Fosfato ⁽¹⁾ (μM)	Silicato ⁽³⁾ (μM)
FO-1	7	27	36,03	0,17	0,96	0,91	1,95
FO-2	6	24	35,48	0,13	0,63	0,66	1,64
FO-3	5	24	36,16	0,17	0,91	0,64	1,97
FO-4	4	24	36,07	0,12	0,71	0,65	1,65
FO-5	3	24	36,08	0,10	0,66	0,57	1,90
FO-6	2	24	36,08	0,13	0,47	0,54	1,76
FO-7	1	24	35,98	0,10	0,23	0,45	1,44

⁽¹⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrito e fosfato é 2%.

⁽²⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrato é 10%.

⁽³⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de silicato é 20%.

TABELA A14 – Concentrações, salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical determinado no centro da Enseada do Perequê-Mirim, coluna d'água 5 m, estação latitude 23°29.513'S e longitude 45°06.315'W (25/Agosto/2004).

Amostras	Profundidade (m)	Temperatura (°C)	Salinidade (ppt)	Nitrito ⁽¹⁾ (μM)	Nitrato ⁽²⁾ (μM)	Fosfato ⁽¹⁾ (μM)	Silicato ⁽³⁾ (μM)
PE-1	4	24	35,96	0,31	1,60	0,13	0,30
PE-2	3	24	35,94	0,78	2,02	0,23	0,90
PE-3	2	24	35,85	0,44	1,67	0,13	0,34
PE-4	1	24	35,73	0,67	1,85	0,17	0,58

⁽¹⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrito e fosfato é 2%.

⁽²⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrato é 10%.

⁽³⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de silicato é 20%.

TABELA A15 – Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical determinado a esquerda da Enseada do Perequê-Mirim, coluna d'água 2,7 m, estação latitude 23°29.398'S e longitude 45°06.361'W (25/Agosto/2004).

Amostras (n)	Profundidade (m)	Temperatura (°C)	Salinidade (ppt)	Nitrito ⁽¹⁾ (μM)	Nitrato ⁽²⁾ (μM)	Fosfato ⁽¹⁾ (μM)	Silicato ⁽³⁾ (μM)
FPE-1(1)	1,5	24	36,11	0,26	1,44	0,10	0,28

⁽¹⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrito e fosfato é 2%.

⁽²⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrato é 10%.

⁽³⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de silicato é 20%.

TABELA A16 – Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical determinado a direita da Enseada do Perequê-Mirim, coluna d'água 3,2 m, estação latitude 23°29.561'S e longitude 45°06.207'W (25/Agosto/2004).

Amostras	Profundidade (m)	Temperatura (°C)	Salinidade (ppt)	Nitrito ⁽¹⁾ (µM)	Nitrato ⁽²⁾ (µM)	Fosfato ⁽¹⁾ (µM)	Silicato ⁽³⁾ (µM)
FPE-1	1,5	24	36,11	-	-	-	-

⁽¹⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrito e fosfato é 2%.

⁽²⁾ - O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrato é 10%.

⁽³⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de silicato é 20%.

TABELA A17 – Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical determinado no centro da Enseada do Flamengo, coluna d'água 8 m, estação latitude 23°30.530'S e longitude 45°05.988'W (25/Agosto/2004).

Amostras	Profundidade (m)	Temperatura (°C)	Salinidade (ppt)	Nitrito ⁽¹⁾ (µM)	Nitrato ⁽²⁾ (µM)	Fosfato ⁽¹⁾ (µM)	Silicato ⁽³⁾ (µM)
FLA-1	7	25	36,13	0,75	1,53	0,13	0,33
FLA-3	5	24	36,12	0,47	1,36	0,07	0,31
FLA-4	4	25	36,98	0,39	1,42	0,07	0,23
FLA-6	2	25	35,80	0,42	1,25	0,03	0,10
FLA-7	1	26	35,74	0,40	1,45	0,05	0,30

⁽¹⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrito e fosfato é 2%.

⁽²⁾ - O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrato é 10%.

⁽³⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de silicato é 20%.

TABELA A18 - Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato observados nas amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoração instalados na Enseada do Flamengo (26/Agosto/2004)

Amostra	Profundidade (m)	Temperatura (°C)	Salinidade (ppt)	Nitrito ⁽¹⁾ µM	Nitrato ⁽²⁾ µM	Fosfato ⁽¹⁾ µM	Silicato ⁽³⁾ µM
PM-01	0,80	-	-	-	-	-	-
PM-03	1,50	-	34,24	0,05	9,55	0,07	0,08
PM-04	2,80	-	34,11	0,17	13,40	0,07	0,08
PM-05	3,20	-	0,360	0,04	6,71	0,03	7,97
PM-07	2,90	-	30,15	0,24	16,90	0,13	0,50
PM-08	3,10	-	31,44	0,75	10,83	0,20	0,00

⁽¹⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrito e fosfato é 2%.

⁽²⁾ - O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrato é 10%.

⁽³⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de silicato é 20%.

TABELA A19 – Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical determinado no centro da Enseada da Fortaleza, coluna d'água 9 m, estação latitude 23°31.052'S e longitude 45°09.030'W (09/Março/2005).

Amostras	Profundidade (m)	Temperatura (°C)	Salinidade (ppt)	Nitrito ⁽¹⁾ (µM)	Nitrato ⁽²⁾ (µM)	Fosfato ⁽¹⁾ (µM)	Silicato ⁽³⁾ (µM)
FOR-1	1	24	35,33	0,13	0,25	0,38	1,82
FOR-2	2	24	35,25	0,22	0,35	0,03	1,57
FOR-3	3	24	35,05	0,31	0,10	0,29	0,81
FOR-4	4	24	34,94	0,16	0,22	0,35	0,95
FOR-5	5	24	34,89	0,20	0,71	0,47	1,06
FOR-6	6	24	35,55	0,11	0,24	0,26	0,82
FOR-7	7	24	34,38	0,31	1,33	0,62	1,72
FOR-8	8	24	33,79	0,54	3,18	0,17	1,60

⁽¹⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrito e fosfato é 2%.

⁽²⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrato é 10%.

⁽³⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de silicato é 20%.

TABELA A20 – Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical determinado no centro da Enseada do Flamengo coluna d'água 8,2 m, estação latitude 23°30.625'S e longitude 45°05.842'W (09/Março/2005).

Amostras	Profundidade (m)	Temperatura (°C)	Salinidade (ppt)	Nitrito ⁽¹⁾ (µM)	Nitrato ⁽²⁾ (µM)	Fosfato ⁽¹⁾ (µM)	Silicato ⁽³⁾ (µM)
FLA-7	7	-	35,24	0,15	0,23	0,40	1,35
FLA-6	6	-	35,10	0,44	0,27	0,11	1,47
FLA-5	5	-	35,06	0,11	0,35	0,24	1,43
FLA-4	4	-	34,94	0,40	0,39	0,12	1,50
FLA-3	3	-	34,96	0,13	0,17	0,25	1,21
FLA-2	2	-	34,27	0,40	0,39	0,16	1,30
FLA-1	1	-	33,87	0,07	0,09	0,29	1,19

⁽¹⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrito e fosfato é 2%.

⁽²⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrato é 10%.

⁽³⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de silicato é 20%.

TABELA A21 – Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical determinado à esquerda da Enseada do Perequê-Mirim, coluna d'água 2,4 m, estação latitude 23°29.392'S e longitude 45°06.373'W (09/Março/2005).

Amostras	Profundidade (m)	Temperatura (°C)	Salinidade (ppt)	Nitrito ⁽¹⁾ (µM)	Nitrato ⁽²⁾ (µM)	Fosfato ⁽¹⁾ (µM)	Silicato ⁽³⁾ (µM)
FPE-2	1	-	34,71	0,07	0,12	0,11	1,13
FPE-1	2	-	33,65	0,24	0,20	0,11	1,93

⁽¹⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrito e fosfato é 2%.

⁽²⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrato é 10%.

⁽³⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de silicato é 20%.

TABELA A22. – Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical determinado à direita da Enseada do Perequê-Mirim, coluna d'água 2,4 m, estação latitude 23°29.408'S e longitude 45°06.242'W (09/Março/2005).

Amostras	Profundidade (m)	Temperatura (°C)	Salinidade (ppt)	Nitrito ⁽¹⁾ (µM)	Nitrato ⁽²⁾ (µM)	Fosfato ⁽¹⁾ (µM)	Silicato ⁽³⁾ (µM)
FPE-2	1	-	34,40	0,07	0,06	0,34	1,08
FPE-1	2	-	34,03	0,36	0,36	0,28	2,01

⁽¹⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrito e fosfato é 2%.

⁽²⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrato é 10%.

⁽³⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de silicato é 20%.

TABELA A23 - Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato observados nas amostras de águas subterrâneas coletadas nos poços de monitoração instalados na Enseada do Flamengo (10/Março/2005).

Amostras	Profundidade (m)	Temperatura (°C)	Salinidade (ppt)	Nitrito ⁽¹⁾ µM	Nitrato ⁽²⁾ µM	Fosfato ⁽¹⁾ µM	Silicato ⁽³⁾ µM
PM – 01	0,80	-	0,0164	0,07	3,36	0,77	1,49
PM – 02	0,80	-	0,0174	0,05	0,52	0,17	1,37
PM – 04	2,80	-	34,40	0,16	0,28	2,56	9,31
PM – 05	3,20	-	34,25	0,07	0,07	1,57	8,99
PM – 06	0,83	-	0,0236	0,05	7,92	0,18	6,12
PM – 07	2,90	-	31,61	0,07	0,09	3,24	9,90
PM – 08	3,10	-	34,53	0,38	8,11	7,29	8,33

⁽¹⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrito e fosfato é 2%.

⁽²⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrato é 10%.

⁽³⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de silicato é 20%.

TABELA A24 - Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical, coluna d'água 29.5 m, estação latitude 23°35.325'S e longitude 45°04.038'W (05/Julho/2005)

Amostras	Profundidade (m)	Temperatura (°C)	Salinidade (ppt)	Nitrito ⁽¹⁾ µM	Nitrato ⁽²⁾ µM	Fosfato ⁽¹⁾ µM	Silicato ⁽³⁾ µM
A3-14	14	23	35,54	0,22	0,87	0,62	1,07
A3-11	11	23	35,54	0,22	0,87	0,62	1,07
A3-5	5	23	35,54	0,22	0,87	0,62	1,07

⁽¹⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrito e fosfato é 2%.

⁽²⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrato é 10%.

⁽³⁾ – O valor da incerteza para as medidas da concentração de silicato é 20%.

TABELA A25 - Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical, coluna d'água 38 m, estação latitude 23°37.965'S e longitude 44°59.956'W (05/Julho/2005)

Amostras	Profundidade (m)	Temperatura (°C)	Salinidade (ppt)	Nitrito ⁽¹⁾ (μM)	Nitrato ⁽²⁾ (μM)	Fosfato ⁽¹⁾ (μM)	Silicato ⁽³⁾ (μM)
A5-14	14	23	35,66	0,39	1,01	0,34	3,1
A5-13	13	23	35,66	0,39	1,01	0,34	3,1
A5-12	12	23	35,66	0,39	1,01	0,34	3,1
A5-5	5	23	35,66	0,39	1,01	0,34	3,1

⁽¹⁾ - O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrito e fosfato é 2%.

⁽²⁾ - O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrato é 10%.

⁽³⁾ - O valor da incerteza para as medidas da concentração de silicato é 20%.

TABELA A26 - Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical, coluna d'água 2,4 m, estação latitude 23°33.949'S e longitude 45°06.417'W (06/Julho/2005)

Amostras	Profundidade (m)	Temperatura (°C)	Salinidade (ppt)	Nitrito ⁽¹⁾ (μM)	Nitrato ⁽²⁾ (μM)	Fosfato ⁽¹⁾ (μM)	Silicato ⁽³⁾ (μM)
A1-1	1	24	35,05	0,65	1,49	0,83	6,04

⁽¹⁾ - O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrito e fosfato é 2%.

⁽²⁾ - O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrato é 10%.

⁽³⁾ - O valor da incerteza para as medidas da concentração de silicato é 20%.

TABELA A27 - Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical, coluna d'água 12 m, estação latitude 23°31.208'S e longitude 45°06.166'W (06/Julho/2005)

Amostras	Profundidade (m)	Temperatura (°C)	Salinidade (ppt)	Nitrito ⁽¹⁾ (μM)	Nitrato ⁽²⁾ (μM)	Fosfato ⁽¹⁾ (μM)	Silicato ⁽³⁾ (μM)
A2-11	11	24	33,15	0,32	0,97	0,59	3,79
A2-9	9	24	33,15	0,32	0,97	0,59	3,79
A2-7	7	24	33,15	0,32	0,97	0,59	3,79
A2-5	5	24	33,15	0,32	0,97	0,59	3,79
A2-3	3	24	33,15	0,32	0,97	0,59	3,79

⁽¹⁾ - O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrito e fosfato é 2%.

⁽²⁾ - O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrato é 10%.

⁽³⁾ - O valor da incerteza para as medidas da concentração de silicato é 20%.

TABELA A28 - Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical no centro da Enseada do Flamengo, coluna d'água 8.2 m, estação latitude 23°30.550'S e longitude 45°05.951'W (06/Julho/2005)

Amostras	Profundidade (m)	Temperatura (°C)	Salinidade (ppt)	Nitrito ⁽¹⁾ μM	Nitrato ⁽²⁾ μM	Fosfato ⁽¹⁾ μM	Silicato ⁽³⁾ μM
FLA 1-7	7	24	35,23	0,46	1,13	0,71	4,67
FLA 1-5	5	24	35,23	0,46	1,13	0,71	4,67
FLA 1-3	3	24	35,23	0,46	1,13	0,71	4,67
FLA 1-2	2	24	35,23	0,46	1,13	0,71	4,67

⁽¹⁾ - O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrito e fosfato é 2%.

⁽²⁾ - O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrato é 10%.

⁽³⁾ - O valor da incerteza para as medidas da concentração de silicato é 20%.

TABELA A29 - Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato, observados no perfil vertical no centro da Enseada do Perequê-Mirim, coluna d'água 4 m, estação latitude 23°29.490'S e longitude 45°06.353'W (06/Julho/2005)

Amostras	Profundidade (m)	Temperatura (°C)	Salinidade (ppt)	Nitrito ⁽¹⁾ μM	Nitrato ⁽²⁾ μM	Fosfato ⁽¹⁾ μM	Silicato ⁽³⁾ μM
PER 1-3	3	24	-	0,77	1,43	0,94	6,07
PER 1-2	2	24	-	0,77	1,43	0,94	6,07
PER 1-1	1	24	-	0,77	1,43	0,94	6,07

⁽¹⁾ - O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrito e fosfato é 2%.

⁽²⁾ - O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrato é 10%.

⁽³⁾ - O valor da incerteza para as medidas da concentração de silicato é 20%.

TABELA A30 - Concentrações de salinidade, nitrito, nitrato, fosfato e silicato observados nas amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoração instalados na Enseada do Flamengo (07/Julho/2005).

Amostras	Profundidade (m)	Temperatura (°C)	Salinidade (ppt)	Nitrito ⁽¹⁾ μM	Nitrato ⁽²⁾ μM	Fosfato ⁽¹⁾ μM	Silicato ⁽³⁾ μM
PM - 01	0,80	-	0,10	0,49	2,13	0,60	8,00
PM - 02	0,80	-	1,35	0,55	2,95	0,46	9,21
PM - 04	2,80	-	34,31	0,22	3,08	0,36	19,93
PM - 05	3,20	-	34,22	0,32	4,87	3,43	36,76
PM - 06	0,83	-	0,18	0,63	4,01	0,66	28,15
PM - 07	2,90	-	29,49	0,71	5,11	0,66	28,15
PM - 08	3,10	-	34,71	1,12	3,99	2,89	27,13
Fonte BASE	superfície	-	-	0,59	0,99	0,68	4,81

⁽¹⁾ - O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrito e fosfato é 2%.

⁽²⁾ - O valor da incerteza para as medidas da concentração de nitrato é 10%.

⁽³⁾ - O valor da incerteza para as medidas da concentração de silicato é 20%.

APÊNDICE B – Resultados das concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn

TABELA B1 - Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas no perfil vertical determinado no centro da enseada do Mar Virado, estação latitude $23^{\circ}33.055'\text{S}$ e longitude $45^{\circ}11.957'\text{W}$ (profundidade máxima aproximada 8 m).

Data da Coleta	Amostras (n)	Profundidade (m)	^{222}Rn total (dpm/L)	^{226}Ra (dpm/L)	^{222}Rn excesso (dpm/L)
21-Mar-2003	MAV-1(2)	7	$1,3 \pm 0,1$	$0,73 \pm 0,10$	$0,63 \pm 0,25$
21-Mar-2003	MAV -2(2)	5	$1,5 \pm 0,2$	$0,60 \pm 0,07$	$1,1 \pm 0,01$
21-Mar-2003	MAV-3(2)	3	$1,3 \pm 0,5$	$0,76 \pm 0,05$	$0,68 \pm 0,59$
21-Mar-2003	MAV-4(2)	1	$0,95 \pm 0,01$	$0,79 \pm 0,08$	$0,18 \pm 0,11$

(n) = número de determinações

TABELA B2. - Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas no perfil vertical determinado no centro da enseada da Fortaleza, estação latitude $23^{\circ}30.835'\text{S}$ e longitude $45^{\circ}09.078'\text{W}$ (profundidade máxima aproximada 8 m).

Data da Coleta	Amostras (n)	Profundidade (m)	^{222}Rn total (dpm/L)	^{226}Ra (dpm/L)	^{222}Rn excesso (dpm/L)
21-Mar-2003	FRT-1(2)	7	$3,1 \pm 0,2$	$0,45 \pm 0,03$	$3,2 \pm 0,4$
21-Mar-2003	FRT-2(2)	5	$1,8 \pm 0,1$	$0,52 \pm 0,09$	$1,6 \pm 0,1$
21-Mar-2003	FRT-3(2)	3	$1,4 \pm 0,7$	$0,65 \pm 0,28$	$0,97 \pm 0,54$
21-Mar-2003	FRT-4(2)	1	$1,4 \pm 0,5$	$0,66 \pm 0$	$0,76 \pm 0,35$

(n) = número de determinações

TABELA B3 - Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas no perfil vertical determinado de Sete Fontes de Praia (enseada do Flamengo), estação latitude $23^{\circ}31.205'\text{S}$ e longitude $45^{\circ}06.851'\text{W}$ (profundidade máxima aproximada 8 m).

Data da Coleta	Amostras (n)	Profundidade (m)	^{222}Rn total (dpm/L)	^{226}Ra (dpm/L)	^{222}Rn excesso (dpm/L)
21-Mar-2003	FLM-1(2)	7	$3,6 \pm 0,7$	$1,0 \pm 0,2$	$3,6 \pm 1,0$
21-Mar-2003	FLM-2(2)	5	$3,0 \pm 0,6$	$0,5 \pm 0,1$	$3,6 \pm 0,8$
21-Mar-2003	FLM-3(2)	3	$1,2 \pm 0,2$	$0,63 \pm 0,12$	$0,84 \pm 0,37$
21-Mar-2003	FLM-4(1)	1	$1,1 \pm 0,2$	$0,21 \pm 0,05$	$1,3 \pm 0,30$

(n) = número de determinações

TABELA B4 - Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas no perfil vertical determinado no centro da Praia Refúgio do Corsário (enseada da Fortaleza), estação latitude $23^{\circ}31.566'\text{S}$ e longitude $45^{\circ}09.434'\text{W}$ (profundidade máxima aproximada 8 m).

Data da Coleta	Amostras (n)	Profundidade (m)	^{222}Rn total (dpm/L)	^{226}Ra (dpm/L)	^{222}Rn excesso (dpm/L)
24-Mar-2003	COR-1(2)	7	$0,98 \pm 0,10$	$0,49 \pm 0,08$	$0,49 \pm 0,02$
24-Mar-2003	COR -2(2)	5	$1,1 \pm 0,1$	$0,66 \pm 0,1$	$0,48 \pm 0,10$
24-Mar-2003	COR -3(2)	3	$1,1 \pm 0,1$	$0,76 \pm 0,08$	$0,31 \pm 0,17$
24-Mar-2003	COR -4(1)	1	$1,0 \pm 0,1$	$0,70 \pm 0,16$	$0,36 \pm 0,25$

(n) = número de determinações

TABELA B5 - Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas no perfil vertical determinado no centro da Praia Domingas Dias (enseada do Flamengo), estação latitude $23^{\circ}29.962'\text{S}$ e longitude $45^{\circ}08.811'\text{W}$ (profundidade máxima aproximada 6 m).

Data da Coleta	Amostras (n)	Profundidade (m)	^{222}Rn total (dpm/L)	^{226}Ra (dpm/L)	^{222}Rn excesso (dpm/L)
24-Mar-2003	DOM-1(2)	5	$2,3 \pm 0,6$	$0,72 \pm 0,06$	$1,8 \pm 0,4$
24-Mar-2003	DOM -2(2)	3	$1,2 \pm 0,1$	$0,45 \pm 0,04$	$0,94 \pm 0,11$
24-Mar-2003	DOM -3(2)	1	$0,98 \pm 0,19$	$0,38 \pm 0,08$	$1,0 \pm 0,4$

(n) = número de determinações

TABELA B6 - Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas no perfil vertical determinado no centro da enseada do Flamengo, estação latitude $23^{\circ}30.592'\text{S}$ e longitude $45^{\circ}05.740'\text{W}$ (profundidade máxima aproximada 8 m).

Data da Coleta	Amostras (n)	Profundidade (m)	^{222}Rn total (dpm/L)	^{226}Ra (dpm/L)	^{222}Rn excesso (dpm/L)
24-Mar-2003	FLA-1(2)	7	$1,1 \pm 0,1$	$0,27 \pm 0,07$	$1,4 \pm 0,2$
24-Mar-2003	FLA-2(2)	5	$0,75 \pm 0,13$	$0,48 \pm 0,06$	$0,53 \pm 0,19$
24-Mar-2003	FLA-3(2)	3	$0,66 \pm 0,07$	$0,43 \pm 0,02$	$0,47 \pm 0,19$
24-Mar-2003	FLA-4(2)	1	$0,73 \pm 0,03$	$0,52 \pm 0,19$	$0,44 \pm 0,44$

(n) = número de determinações

TABELA B7 - Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas no perfil vertical determinado no centro da Praia Grande (ilha Anchieta), estação latitude $23^{\circ}31.742'\text{S}$ e longitude $45^{\circ}04.382'\text{W}$ (profundidade máxima aproximada 8 m).

Data da Coleta	Amostras (n)	Profundidade (m)	^{222}Rn total (dpm/L)	^{226}Ra (dpm/L)	^{222}Rn excesso (dpm/L)
24-Mar-2003	PG-1(2)	7	$0,98 \pm 0,02$	$0,57 \pm 0,11$	$0,70 \pm 0,03$
24-Mar-2003	PG-2(2)	5	$0,86 \pm 0,06$	$0,35 \pm 0,08$	$0,88 \pm 0,11$
24-Mar-2003	PG-3(2)	3	$0,79 \pm 0,22$	$0,39 \pm 0,22$	$0,69 \pm 0,76$
24-Mar-2003	PG-4(1)	1	$0,90 \pm 0,01$	$0,55 \pm 0,11$	$0,35 \pm 0,01$

(n) = número de determinações

TABELA B8 - Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas nas amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoração instalados na enseada do Flamengo.

Data da Coleta	Amostras (n)	Profundidade (m)	^{222}Rn total (dpm/L)	^{226}Ra (dpm/L)	^{222}Rn excesso (dpm/L)
24-Mar-2003	PM-01	0,80	229 ± 40	1,1 ± 0,2	394 ± 70
24-Mar-2003	PM-02	0,80	191 ± 34	1,1 ± 0,2	334 ± 59
24-Mar-2003	PM-04	2,80	190 ± 33	0,90 ± 0,17	331 ± 59
24-Mar-2003	PM-05	3,20	147 ± 26	0,29 ± 0,07	257 ± 45
24-Mar-2003	PM-06	0,83	241 ± 43	0,39 ± 0,08	428 ± 46

(n) = número de determinações

TABELA B9 - Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas no perfil vertical determinado na enseada do Flamengo, estação latitude 23°29.597'S e longitude 45°06.324'W (profundidade máxima aproximada 4,8 m).

Data da Coleta	Amostras (n)	Profundidade (m)	^{222}Rn total (dpm/L)	^{226}Ra (dpm/L)	^{222}Rn excesso (dpm/L)
18-Nov-2003	FB1-1 (1)	1	1,8 ± 0,3	0,25 ± 0,06	1,6 ± 0,3
18-Nov-2003	FB1-2 (1)	2	1,2 ± 0,2	0,28 ± 0,07	0,98 ± 0,25
18-Nov-2003	FB1-3 (1)	3	1,5 ± 0,3	1,2 ± 0,2	0,32 ± 0,06
18-Nov-2003	FB1-4 (2)	4	2,5 ± 0,5	0,90 ± 0,18	1,7 ± 0,5
18-Nov-2003	FB1-4.5 (1)	4,5	3,4 ± 0,6	0,59 ± 0,12	3,0 ± 0,7

(n) = número de determinações

TABELA B10 - Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas no perfil vertical determinado na Enseada do Flamengo, estação latitude 23°30.422'S e longitude 45°06.202'W (profundidade máxima aproximada 8 m).

Data da Coleta	Amostras (n)	Profundidade (m)	^{222}Rn total (dpm/L)	^{226}Ra (dpm/L)	^{222}Rn excesso (dpm/L)
18-Nov-2003	FB2-1 (1)	1	1,1 ± 0,2	0,59 ± 0,12	0,61 ± 0,28
18-Nov-2003	FB2-3 (2)	3	1,8 ± 0,3	0,22 ± 0,06	1,8 ± 0,4
18-Nov-2003	FB2-5 (2)	5	1,9 ± 0,4	0,67 ± 0,13	1,5 ± 0,5
18-Nov-2003	FB2-7 (2)	7	2,8 ± 0,5	0,69 ± 0,14	2,5 ± 0,6

(n) = número de determinações

TABELA B11 - Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas no perfil vertical determinado na enseada do Flamengo, estação latitude $23^{\circ}30.422'\text{S}$ e longitude $45^{\circ}06.202'\text{W}$ (profundidade máxima aproximada 11 m).

Data da Coleta	Amostras (n)	Profundidade (m)	^{222}Rn total (dpm/L)	^{226}Ra (dpm/L)	^{222}Rn excesso (dpm/L)
20-Nov-2003	FB3-1 (2)	1	$1,0 \pm 0,2$	$0,59 \pm 0,12$	$0,42 \pm 0,23$
20-Nov-2003	FB3-3 (1)	3	$1,4 \pm 0,3$	$0,84 \pm 0,17$	$0,57 \pm 0,32$
20-Nov-2003	FB3-5 (1)	5	$1,6 \pm 0,3$	$0,59 \pm 0,12$	$1,1 \pm 0,3$
20-Nov-2003	FB3-7 (1)	7	$2,3 \pm 0,4$	$0,57 \pm 0,11$	$1,8 \pm 0,4$
20-Nov-2003	FB3-9 (1)	9	$2,5 \pm 0,5$	$0,82 \pm 0,16$	$1,8 \pm 0,5$
20-Nov-2003	FB3-10(2)	10	$1,8 \pm 0,3$	$0,97 \pm 0,17$	$0,81 \pm 0,40$

(n) = número de determinações

TABELA B12 - Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas nas águas de superfície entrando na enseada do Flamengo e da Praia do Pereque Mirim.

Data da Coleta	Amostras (n)	Profundidade (m)	^{222}Rn total (dpm/L)	^{226}Ra (dpm/L)	^{222}Rn excesso (dpm/L)
20-Nov-2003	Córrego A (1)	superfície	136 ± 24	$0,67 \pm 0,13$	138 ± 24
20-Nov-2003	Córrego B (1)	superfície	207 ± 36	$0,62 \pm 0,12$	$209 \pm 0,37$

(n) = número de determinações

TABELA B13 - Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas das amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoração instalados na Enseada do Flamengo.

Data da Coleta	Amostras (n)	Profundidade (m)	^{222}Rn total (dpm/L)	^{226}Ra (dpm/L)	^{222}Rn excesso (dpm/L)
26-Maio-2004	PM-01	0,80	207 ± 46	$0,63 \pm 0,19$	283 ± 64
26-Maio-2004	PM-02	0,80	$1,9 \pm 0,4$	$0,94 \pm 0,20$	$1,4 \pm 0,6$
26-Maio-2004	PM-04	2,80	302 ± 53	$0,43 \pm 0,10$	410 ± 72
26-Maio-2004	PM-06	0,83	121 ± 21	$0,32 \pm 0,09$	164 ± 29
26-Maio-2004	PM-08	2,90	230 ± 41	$1,5 \pm 0,3$	310 ± 55

(n) = número de determinações

TABELA B14 - Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas no perfil vertical determinado no centro da enseada do Flamengo, estação latitude $23^{\circ}30.600'\text{S}$ e longitude $45^{\circ}05.800'\text{W}$ (profundidade máxima aproximada 9 m).

Data da Coleta	Amostras (n)	Profundidade (m)	^{222}Rn total (dpm/L)	^{226}Ra (dpm/L)	^{222}Rn excesso (dpm/L)
27-Maio-2004	FL-7(2)	7	$5,4 \pm 1,2$	$0,35 \pm 0,10$	$6,1 \pm 1,5$
27-Maio-2004	FL-6(2)	6	$5,4 \pm 1,0$	$0,30 \pm 0,09$	$6,2 \pm 1,2$
27-Maio-2004	FL-5(3)	5	$0,64 \pm 0,13$	$0,23 \pm 0,09$	$0,51 \pm 0,19$
27-Maio-2004	FL-4(2)	4	$0,56 \pm 0,11$	$0,40 \pm 0,10$	$0,19 \pm 0,18$
27-Maio-2004	FL-2(2)	2	$0,55 \pm 0,12$	$0,30 \pm 0,07$	$0,35 \pm 0,19$
27-Maio-2004	FL-1(2)	1	$0,51 \pm 0,10$	$0,23 \pm 0,08$	$0,40 \pm 0,19$

(n) = número de determinações

TABELA B15 - Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas no perfil vertical determinado no centro da enseada da Fortaleza, estação latitude $23^{\circ}31.532'\text{S}$ e longitude $45^{\circ}09.288'\text{W}$ (profundidade máxima aproximada 8 m).

Data da Coleta	Amostras (n)	Profundidade (m)	^{222}Rn total (dpm/L)	^{226}Ra (dpm/L)	^{222}Rn excesso (dpm/L)
25-Ago-2004	FO-1(2)	7	$0,84 \pm 0,16$	$0,64 \pm 0,13$	$0,28 \pm 0,08$
25-Ago-2004	FO-2(2)	6	$0,93 \pm 0,17$	$0,43 \pm 0,09$	$0,71 \pm 0,07$
25-Ago-2004	FO-3(2)	5	$0,84 \pm 0,16$	$0,68 \pm 0,14$	$0,28 \pm 0,08$
25-Ago-2004	FO-4(1)	4	$1,0 \pm 0,2$	$0,56 \pm 0,12$	$0,63 \pm 0,08$
25-Ago-2004	FO-5(1)	3	$0,84 \pm 0,16$	$0,45 \pm 0,10$	$0,56 \pm 0,09$
25-Ago-2004	FO-6(1)	2	$0,84 \pm 0,17$	$0,31 \pm 0,09$	$0,76 \pm 0,12$
25-Ago-2004	FO-7(1)	1	$0,52 \pm 0,12$	$0,50 \pm 0,11$	$0,50 \pm 0,24$

(n) = número de determinações

TABELA B16 - Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas no perfil vertical determinado no centro da enseada do Perequê-Mirim, estação latitude $23^{\circ}29.513'\text{S}$ e longitude $45^{\circ}06.315'\text{W}$ (profundidade máxima aproximada 5 m).

Data da Coleta	Amostras (n)	Profundidade (m)	^{222}Rn total (dpm/L)	^{226}Ra (dpm/L)	^{222}Rn excesso (dpm/L)
25-Ago-2004	PE-1(2)	4	$0,69 \pm 0,15$	$0,35 \pm 0,09$	$0,49 \pm 0,24$
25-Ago-2004	PE-2(2)	3	$0,82 \pm 0,17$	$0,50 \pm 0,10$	$0,45 \pm 0,28$
25-Ago-2004	PE-3(1)	2	$0,91 \pm 0,18$	$0,68 \pm 0,14$	$0,33 \pm 0,08$
25-Ago-2004	PE-4(1)	1	$1,3 \pm 0,3$	$0,64 \pm 0,13$	$1,1 \pm 0,4$

(n) = número de determinações

TABELA B17 - Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas no perfil vertical determinado a esquerda da enseada do Perequê-Mirim, estação latitude $23^{\circ}29.398'\text{S}$ e longitude $45^{\circ}06.361'\text{W}$ (profundidade máxima aproximada 2,7 m).

Data da Coleta	Amostras (n)	Profundidade (m)	^{222}Rn total (dpm/L)	^{226}Ra (dpm/L)	^{222}Rn excesso (dpm/L)
25-Ago-2004	FPE-1(2)	1,5	$0,93 \pm 0,18$	$0,45 \pm 0,11$	$0,77 \pm 0,34$

(n) = número de determinações

TABELA B18 - Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas no perfil vertical determinado a direita da enseada do Perequê-Mirim, estação latitude $23^{\circ}29.561'\text{S}$ e longitude $45^{\circ}06.207'\text{W}$ (profundidade máxima aproximada 3,2 m).

Data da Coleta	Amostras (n)	Profundidade (m)	^{222}Rn total (dpm/L)	^{226}Ra (dpm/L)	^{222}Rn excesso (dpm/L)
25-Ago-2004	FPE-1(2)	1,5	$0,48 \pm 0,10$	$0,34 \pm 0,08$	$0,23 \pm 0,22$

(n) = número de determinações

TABELA B19 - Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas no perfil vertical determinado no centro da enseada do Flamengo, estação latitude $23^{\circ}30.530'\text{S}$ e longitude $45^{\circ}05.988'\text{W}$ (profundidade máxima aproximada 8 m).

Data da Coleta	Amostras (n)	Profundidade (m)	^{222}Rn total (dpm/L)	^{226}Ra (dpm/L)	^{222}Rn excesso (dpm/L)
25-Ago-2004	FLA-1(2)	7	$0,59 \pm 0,12$	$0,27 \pm 0,07$	$0,53 \pm 0,23$
25-Ago-2004	FLA-3(1)	5	$0,61 \pm 0,13$	$0,19 \pm 0,06$	$0,70 \pm 0,24$
25-Ago-2004	FLA-4(1)	4	$0,69 \pm 0,13$	$0,41 \pm 0,08$	$0,47 \pm 0,26$
25-Ago-2004	FLA-6(1)	2	$0,72 \pm 0,14$	$0,41 \pm 0,09$	$0,54 \pm 0,29$
25-Ago-2004	FLA-7(1)	1	$0,73 \pm 0,14$	$0,58 \pm 0,11$	$0,25 \pm 0,29$

(n) = número de determinações

TABELA B20 - Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas das amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoração instalados na enseada do Flamengo.

Data da Coleta	Amostras (n)	Profundidade (m)	^{222}Rn total (dpm/L)	^{226}Ra (dpm/L)	^{222}Rn excesso (dpm/L)
26-Ago-2004	PM-01	0,80	271 ± 48	2,0 ± 0,4	561 ± 99
26-Ago-2004	PM-03	1,50	153 ± 27	2,7 ± 0,5	311 ± 56
26-Ago-2004	PM-04	2,80	253 ± 44	2,0 ± 0,4	511 ± 91
26-Ago-2004	PM-05	3,20	186 ± 33	0,57 ± 0,12	389 ± 69
26-Ago-2004	PM-07	2,90	201 ± 35	2,0 ± 0,4	409 ± 73
26-Ago-2004	PM-08	3,10	191 ± 33	1,0 ± 0,2	390 ± 69

(n) = número de determinações

TABELA B21 - Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas no perfil vertical determinado no centro da enseada da Fortaleza, estação latitude 23°31.052'S e longitude 45°09.030'W (profundidade máxima aproximada 9 m).

Data da Coleta	Amostras (n)	Profundidade (m)	^{222}Rn total (dpm/L)	^{226}Ra (dpm/L)	^{222}Rn excesso (dpm/L)
09-Mar-2005	FOR-8(2)	8	1,2 ± 0,2	0,43 ± 0,11	1,1 ± 0,4
09-Mar-2005	FOR-7(2)	7	1,3 ± 0,3	0,35 ± 0,10	1,4 ± 0,4
09-Mar-2005	FOR-6(2)	6	1,2 ± 0,3	0,26 ± 0,10	1,3 ± 0,4
09-Mar-2005	FOR-5(2)	5	0,92 ± 0,20	0,30 ± 0,09	0,88 ± 0,32
09-Mar-2005	FOR-3(2)	3	0,88 ± 0,20	0,30 ± 0,09	0,97 ± 0,38
09-Mar-2005	FOR-2(2)	2	0,86 ± 0,19	0,37 ± 0,10	0,83 ± 0,38
09-Mar-2005	FOR-1(2)	1	0,82 ± 0,18	0,25 ± 0,10	0,97 ± 0,36

(n) = número de determinações

TABELA B22 - Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas no perfil vertical determinado no centro da enseada do Flamengo, estação latitude 23°30.625'S e longitude 45°05.842'W (profundidade máxima aproximada 8,2 m).

Data da Coleta	Amostras (n)	Profundidade (m)	^{222}Rn total (dpm/L)	^{226}Ra (dpm/L)	^{222}Rn excesso (dpm/L)
09-Mar-2005	FLA-7(2)	7	0,61 ± 0,16	0,27 ± 0,09	0,58 ± 0,31
09-Mar-2005	FLA-6(2)	6	0,63 ± 0,16	0,42 ± 0,12	0,35 ± 0,34
09-Mar-2005	FLA-5(2)	5	1,2 ± 0,3	0,67 ± 0,17	1,1 ± 0,6
09-Mar-2005	FLA-4(2)	4	0,54 ± 0,13	0,38 ± 0,12	0,30 ± 0,35
09-Mar-2005	FLA-3(2)	3	0,65 ± 0,15	0,52 ± 0,13	0,26 ± 0,39
09-Mar-2005	FLA-2(2)	2	0,53 ± 0,15	0,42 ± 0,11	0,22 ± 0,37
09-Mar-2005	FLA-1(2)	1	0,44 ± 0,12	0,15 ± 0,06	0,58 ± 0,27

(n) = número de determinações

TABELA B23 - Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas no perfil vertical determinado a esquerda da enseada do Perequê-Mirim, estação latitude $23^{\circ}29.392'\text{S}$ e longitude $45^{\circ}06.373'\text{W}$ (profundidade máxima aproximada 2,4 m).

Data da Coleta	Amostras (n)	Profundidade (m)	^{222}Rn total (dpm/L)	^{226}Ra (dpm/L)	^{222}Rn excesso (dpm/L)
09-Mar-2005	FPE-2(2)	2	$1,3 \pm 0,3$	$0,16 \pm 0,07$	$2,2 \pm 0,6$
09-Mar-2005	FPE-1(2)	1	2 ± 1	$0,5 \pm 0,1$	$3,2 \pm 1,0$

(n) = número de determinações

TABELA B24 - Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas no perfil vertical determinado a direita da enseada do Perequê-Mirim, estação latitude $23^{\circ}29.408'\text{S}$ e longitude $45^{\circ}06.242'\text{W}$ (profundidade máxima aproximada 2,4 m).

Data da Coleta	Amostras (n)	Profundidade (m)	^{222}Rn total (dpm/L)	^{226}Ra (dpm/L)	^{222}Rn excesso (dpm/L)
09-Mar-2005	FPE-2(2)	2	$1,4 \pm 0,3$	$0,34 \pm 0,10$	$2,4 \pm 0,8$
09-Mar-2005	FPE-1(1)	1	$1,3 \pm 0,3$	$0,37 \pm 0,11$	$2,1 \pm 0,7$

(n) = número de determinações

TABELA B25 - Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas das amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoração instalados na enseada do Flamengo.

Data da Coleta	Amostras (n)	Profundidade (m)	^{222}Rn total (dpm/L)	^{226}Ra (dpm/L)	^{222}Rn excesso (dpm/L)
10-Mar-2005	PM-01(2)	0,80	533 ± 108	$3,6 \pm 0,8$	1095 ± 224
10-Mar-2005	PM-02(1)	0,80	251 ± 51	$0,31 \pm 0,14$	521 ± 106
10-Mar-2005	PM-04(1)	2,80	299 ± 61	$1,2 \pm 0,3$	624 ± 127
10-Mar-2005	PM-05(2)	3,20	223 ± 45	$2,1 \pm 0,4$	461 ± 95
10-Mar-2005	PM-06(2)	0,83	76 ± 15	$0,88 \pm 0,18$	158 ± 32
10-Mar-2005	PM-07(1)	2,90	81 ± 16	$0,53 \pm 0,13$	169 ± 35
10-Mar-2005	PM-08(2)	3,10	50 ± 10	$0,53 \pm 0,13$	105 ± 22

(n) = número de determinações

TABELA B26 - Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas no perfil vertical determinado na estação latitude $23^{\circ}33.949'\text{S}$ e longitude $45^{\circ}06.417'\text{W}$ (profundidade máxima aproximada 2,4 m).

Data da Coleta	Amostras (n)	Profundidade (m)	^{222}Rn total (dpm/L)	^{226}Ra (dpm/L)	^{222}Rn excesso (dpm/L)
06-Jul-2005	A 1-1 (1)	1	$1,5 \pm 0,3$	$0,52 \pm 0,14$	$1,7 \pm 0,5$

(n) = número de determinações

TABELA B27 - Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e em excesso observadas no perfil vertical determinado na estação latitude $23^{\circ}31.208'\text{S}$ e longitude $45^{\circ}06.166'\text{W}$ (profundidade máxima aproximada 12 m).

Data da Coleta	Amostras (n)	Profundidade (m)	^{222}Rn total (dpm/L)	^{226}Ra (dpm/L)	^{222}Rn excesso (dpm/L)
06-Jul-2005	A2-11 (1)	11	$0,79 \pm 0,15$	$0,44 \pm 0,11$	$0,51 \pm 0,28$
06-Jul-2005	A 2-7 (1)	7	$1,0 \pm 0,2$	$0,49 \pm 0,13$	$0,94 \pm 0,39$
06-Jul-2005	A 2-5 (1)	5	$0,59 \pm 0,11$	$0,41 \pm 0,11$	$0,32 \pm 0,27$

(n) = número de determinações

TABELA B28 - Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas no perfil vertical determinado no centro da Enseada do Flamengo, na estação latitude $23^{\circ}31.208'\text{S}$ e longitude $45^{\circ}06.166'\text{W}$ (profundidade máxima aproximada 8.2 m).

Data da Coleta	Amostras (n)	Profundidade (m)	^{222}Rn total (dpm/L)	^{226}Ra (dpm/L)	^{222}Rn excesso (dpm/L)
06-Jul-2005	FLA 1 -7 (1)	7	$0,84 \pm 0,16$	$0,37 \pm 0,11$	$0,77 \pm 0,32$
06-Jul-2005	FLA 1-5 (1)	5	$0,68 \pm 0,13$	$0,60 \pm 0,14$	$0,14 \pm 0,32$
06-Jul-2005	FLA 1-3 (2)	3	$0,62 \pm 0,12$	$0,46 \pm 0,11$	$0,27 \pm 0,28$

(n) = número de determinações

TABELA B29 - Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas no perfil vertical determinado no centro da Enseada do Perequê-Mirim, na estação latitude $23^{\circ}29.490'\text{S}$ e longitude $45^{\circ}06.353'\text{W}$ (profundidade máxima aproximada 4 m).

Data da Coleta	Amostras (n)	Profundidade (m)	^{222}Rn total (dpm/L)	^{226}Ra (dpm/L)	^{222}Rn excesso (dpm/L)
06-Jul-2005	PER 1-3 (1)	3	$1,5 \pm 0,3$	$0,56 \pm 0,14$	$1,5 \pm 0,5$
06-Jul-2005	PER 1-2 (1)	2	$0,92 \pm 0,18$	$0,52 \pm 0,12$	$0,68 \pm 0,36$
06-Jul-2005	PER 1-1 (1)	1	$1,3 \pm 0,2$	$0,62 \pm 0,16$	$1,1 \pm 0,5$

(n) = número de determinações

TABELA B30 - Concentrações de ^{222}Rn total, ^{226}Ra e ^{222}Rn em excesso observadas das amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoração instalados na Enseada do Flamengo.

Data da Coleta	Amostras (n)	Profundidade (m)	^{222}Rn total (dpm/L)	^{226}Ra (dpm/L)	^{222}Rn excesso (dpm/L)
07-Jul-2005	PM-01 (1)	0,80	97 ± 17	83 ± 14	32 ± 46
07-Jul-2005	PM-02 (1)	0,80	215 ± 38	$4,3 \pm 0,7$	430 ± 77
07-Jul-2005	PM-04 (1)	2,80	73 ± 13	$2,4 \pm 0,4$	144 ± 26
07-Jul-2005	PM-05 (1)	3,20	173 ± 30	$3,1 \pm 0,5$	348 ± 62
07-Jul-2005	PM-06 (1)	0,83	146 ± 27	$4,8 \pm 0,8$	288 ± 53
07-Jul-2005	PM-07 (1)	2,90	106 ± 18	$5,1 \pm 0,9$	208 ± 38
07-Jul-2005	PM-08 (1)	3,10	$9,9 \pm 1,6$	$1,7 \pm 0,3$	14 ± 3
07-Jul-2005	Fonte BASE (1)	superfície	90 ± 16	$0,20 \pm 0,10$	181 ± 32

(n) = número de determinações

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] UNEP/GESAMP. *The State of the Marine Environment*. UNEP/Nairobi, Quênia, 156p. 1990.
- [2] MCD/MMA. *Macrodiagnóstico da Zona Costeira do Brasil na Escala da União*. MMA, Brasília, 487p. 2003.
- [3] JOHANNES, R., The ecological significance of the submarine discharge of groundwater, *Marine Ecology Progress Series*, vol.3, p.365-373, 1980.
- [4] CAPONE, D., BAUTISTA, M., A groundwater source of nitrate in near shore marine sediments, *Nature*, vol.313, p. 214-216, 1985.
- [5] CAPONE, D., SLATER, J., Interannual patterns of water table height and groundwater derived nitrate in near shore sediments, *Biogeochemistry*, vol.10, p. 277-288, 1990.
- [6] VALIELA, I.; COSTA, J.; FOREMAN, K.; TEAL, J.M.; HOWES, B.; AUBREY, D., Transport of groundwater-borne nutrients from watersheds and their effects on coastal waters, *Biogeochemistry*, vol.10, p. 177-197, 1990.
- [7] CABLE, J.E.; BUGNA, G.C.; BURNETT, W.C.; CHANTON, J.P., Application of ²²²Rn and CH₄ for assessment of groundwater discharge to the coastal ocean, *Limnol.Oceanogr.*, vol.41(6), p.1347-1353, 1996.
- [8] CABLE, J.E.; BURNETT, W.C.; CHANTON, J.P.; WEATHERLY, G.L., Estimating groundwater discharge into a northeastern Gulf of Mexico using radon-222, *Earth and Planetary Science Letters*, vol.144, p.591-604, 1996.
- [9] CABLE, J.E.; BURNETT, W.C.; CHANTON, J.P.; CORBETT, D.R.; CABLE, P.H., Field evaluation of seepage meters in the coastal marine environment, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol.45, p.367-375, 1997.
- [10] CABLE, J.E.; BURNETT, W.C.; CHANTON, J.P., Magnitude and variations of groundwater seepage along a Florida marine shoreline, *Biogeochemistry*, vol.38, p.189-205, 1997.
- [11] CORBETT, D.R.; BURNETT, W.C.; CABLE, P.H.; CLARK, S.B., Radon tracing of groundwater input into Par Pond, Savannah River Site, *Journal of Hydrology*, vol.203, p. 209-227, 1997.

- [12] COWART, J.B., BURNETT, W.C., The distribution of uranium and thorium decay-series radionuclides in the environment - A Review. *Journal of Environmental Quality*, vol.23(4) July-August, p.651-662, 1994.
- [13] COWART, J.B., OSMOND, J.K., Uranium isotopes in groundwater: their use in prospecting for sandstone-type uranium deposits, *Journal of Geochemical Exploration*, vol.8, p.365-379, 1977.
- [14] MOORE, W.S.; ASTWOOD, H.; LINDSTROM, C., Radium isotopes in coastal waters on the Amazon shelf, *Geochim.Cosmochim.Acta*, vol.59, p.4285-4298, 1995.
- [15] MOORE, W.S., Large groundwater inputs to coastal waters revealed by ^{226}Ra enrichments, *Nature*, vol.380, p.612-614, 1996.
- [16] MOORE, W.S.; CHURCH, T.M., Submarine groundwater discharge, reply to Younger. *Nature*, vol.382, p.122, 1996.
- [17] MOORE, W.S., The effects of groundwater input at mouth of the Ganges-Brahmaputra Rivers on barium and radium fluxes to the Bay of Bengal, *Earth Planet.Sci.Lett.*, vol.150, p.141-150, 1997.
- [18] MOORE, W.S.; SHAW, T.J., Chemical signals from submarine fluid advection onto the continental shelf, *J.Geophys.Res.*, vol.103, p. 21543-21552, 1998.
- [19] MOORE, W.S., The subterranean estuary: a reaction zone of ground water and sea water, *Marine Chemistry*, vol.65, p. 111-125, 1999.
- [20] HANSHAW, B.; BACK, W., Chemical mass-wasting of the northern Yucatan Peninsula by groundwater dissolution, *Chemical Geology*, vol.8, p. 222-224, 1980.
- [21] D'ELIA, C.; WEBB, K.; PORTER, J., Nitrate-rich groundwater inputs to Discovery Bay, Jamaica: A significant source of N to local coral reefs?, *Bull.Mar.Sci.*, vol.31, p.903-910, 1981.
- [22] LAPOINTE, B.; O'CONNELL, J.; GARRETT, G., Nutrient couplings between on site sewage disposal systems, groundwater, and near shore surface waters of the Florida Keys, *Biogeochemistry*, vol.10, p.289-307, 1990.
- [23] UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION. Submarine groundwater discharge: Management implications, measurements and effects. *IHP-VI, Series on Groundwater n° 5*, IOC Manuals and Guides n° 44. ISBN: 99-9220-006-2, 2004.

- [24] KOHOUT, F.A. Submarine springs: A neglected phenomenon of coastal hydrology. *Hydrology* vol.26, 391-413, 1966.
- [25] ZEKTSER, I.S. Groundwater discharge into the seas and oceans: state of the art. In: Buddemeier, R.W. (ed), Groundwater discharge in the coastal zone. *LOICZ ICBP, LOICZ*, Texel, Russian Academy of Science, Moscow, Netherlands, 122-123, 1996.
- [26] BURNETT, W.C. Offshore springs and seeps are focus of working group. *EOS*, vol.80, 13-15, 1999.
- [27] BROUDRAUX, B.P.; HUETTEL, M.; FROSTER, S.; JAHNKE, R.A.; McLACHLAN, A.; MIDDELBURG, J.J. et al. Permeable marine sediments: overturning an old paradigm. *EOS* vol 82, 133-136, 2001.
- [28] WILLIAMS, M.O. Barhain: port of pearls and petroleum. *National geograficas*, 1946.
- [29] CORBETT, D.R., DILLON K.; BURNETT, W.C., CHANTON, J., Estimating the groundwater contribution into Florida bay via natural tracers ^{222}Rn and CH_4 , *Limnology e Oceanography*, vol.45, p.1546-1557, 2000.
- [30] RAMA; MOORE, W.S. Using the radium quartet for evaluating groundwater input and water exchange in salt marshes, *Geochim. Cosmochim Acta*, vol.60, 4645-4652, 1996.
- [31] COTHERN, C.R., REBERS, P.A., *Radon, radium and uranium in drinking water*, Lewis Publishers Inc., Chelsea, Michigan, USA, 1991.
- [32] SKINNER, B.J., TUREKIAN, K.K., *O Homem e o Oceano*, Série de Textos Básicos de Geociência, Editora Edgar Blucher Ltda, 1996.
- [33] AOKI, P.E. Tese: *Metodologia das determinações da velocidade, direção e sentido do Fluxo da Água Subterrâneo com utilização de Traçadores Radioativos*. São Paulo, 1983. p.5-23.
- [34] MAHIQUES, M.M. Sedimentary dynamics of the bays of Ubatuba, São Paulo. *Instituto Oceanográfico*, vol.43, 111-122, 1995.
- [35] CASTRO FILHO, B.M; MIRANDA, L.B., MIAYO, S. Y. Hydrographic conditions in the continental shelf of Ubatuba: seasonal and médium scale changes. *Boletim do Instituto Oceanográfico*, São Paulo, vol.35 (2), 135-151, 1987.
- [36] MESQUITA, A. R. Marés, circulação e nível do mar na Costa Sudeste do Brasil. *Relatório Fundespa*, São Paulo, 1997.

- [37] GRASSHOFF, K. Ehrhardt, M. & Kremling, K., 1983. *Methodas of Seawater Analysis*. Verlag Chemie. 419p.
- [38] TRÉGUER, P.; LE CORRE, P. *A manuel d'analysis des sels nutritifs dans l'eau de mer*. 2ème éd. Brest. Université de Bretagne Occidentale. 110pp.1975.