

O gás radônio no Aquífero Bauru em São José do Rio Preto-SP

The radon gas in the Bauru aquifer in Sao Jose do Rio Preto-SP

Orientador: DANIEL MARCOS BONOTTO

Doutorado em Geociências - Geologia Regional. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.

Data de defesa: 2013.

RESUMO

Devido principalmente ao aumento populacional que têm ocorrido nos últimos anos, a demanda de água para o abastecimento público no Estado de São Paulo têm sido cada vez maior. No município de São José do Rio Preto localizado na região noroeste do Estado de São Paulo, cerca de 350 poços, que atingem o Aquífero Bauru, fornecem água para o município, representando aproximadamente 70% do abastecimento local. Neste trabalho, foi quantificado o nível de concentração de radônio e rádio em amostras de águas subterrâneas do aquífero, considerando a inexistência de dados dessa natureza naquela região e a sua importância para a qualidade da água, do ponto de vista radiológico. Na cidade de São José do Rio Preto, que se localiza geologicamente no Grupo Bauru, foram realizados três trabalhos de campo entre os dias 17 e 19 de janeiro de 2011, entre os dias 2 e 3 de agosto de 2011 e no dia 30 de novembro de 2011, recolhendo-se 50 amostras de água de poços tubulares profundos. As análises foram realizadas no LABIDRO, usando-se o aparelho Alpha-Guard, tendo sido obtidos valores de radônio de 0,699 Bq/l até 14,95 Bq/l, abaixo do limite da OMS que é de 100 Bq/l. Além disto, neste trabalho foi medido o radionuclídeo rádio, que é o elemento precursor do radônio na série de decaimento radioativo do urânio, sendo que os valores deste variaram de 0,07 Bq/l até 0,64 Bq/l, muito abaixo dos valores do radônio.

Palavras-chave: radônio; radioatividade; Aquífero Bauru.

ABSTRACT

Mainly due to population growth, in recent years, the water demand for public supply in São Paulo State has been increasing. In São Jose do Rio Preto city, located in the northwest region of São Paulo, about 350 wells, reaching the Bauru aquifer, provide, about 70% of water city supplying. In this work, it was quantified the radon and radium concentration in groundwater samples from the aquifer, considering the lack of such data in the region and their importance to the water quality, from a radiological point of view. In São Jose do Rio Preto city, which is geologically located in Bauru Group, three field campaigns (17 - 19 January 2011, 2 - 3 August 2011, 30th November 2011, where held 50 water samples from deep tubular wells were taken. The analyzes were performed at LABIDRO using the Alpha Guard equipment, which allowed obtain radon values ranging from 0.699 Bq/l to 14.95 Bq/l, that are below the WHO, guideline value of 100 Bq/l. Furthermore, this study evaluated the radium radionuclide, which is the precursor to radon in the radioactive decay series of uranium, whose values ranged from 0.07 Bq/l to 0.64 Bq/l, well below the radon values.

Keywords: radon, radioactive, Bauru aquifer.

1. INTRODUÇÃO

O radônio (^{222}Rn) é um gás nobre e volátil gerado por decaimentos radioativos na série do ^{238}U . Ele é continuamente produzido no solo pelo decaimento do ^{226}Ra (meia-vida $t_{1/2} = 1600$ anos), com o qual entra em equilíbrio secular após cerca de 25 dias. O ^{222}Rn produzido, normalmente não se ioniza na água, possuindo, assim, mais mobilidade do que outros elementos da série de decaimento do ^{238}U . Ele é capaz de percolar através do solo e da rocha e dissolver-se na água, da qual é facilmente removido por degaseificação.

Segundo Nelson *et al.* (1983), as concentrações de radônio nas águas variam de 0,37 a 370 Bq/l, em função da concentração média de urânio, que é uma característica da geologia de cada região.

O ^{222}Rn é um emissor alfa com energia de 5,48 MeV, possui uma meia vida de 3,8 dias e constante de decaimento de $0,0001258 \text{ min}^{-1}$. Seu decaimento produz uma série de nuclídeos de curta meia vida (^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{214}Po) que decaem para o ^{210}Pb ($t_{1/2} = 21,4$ anos). Dois dos seus filhos, ^{218}Po e ^{214}Po , são emissores alfa (energias de 5,5 e 7,69 MeV, respectivamente). Já o ^{214}Bi e o ^{214}Pb são emissores beta.

Entre os isótopos de radônio conhecidos, o ^{222}Rn é o que apresenta meia-vida mais longa, que lhe permite migrar maiores distâncias a partir de sua origem, sendo, por isso, o mais estudado em relação aos demais quando se considera a radioatividade nas águas.

A migração de ^{222}Rn ocorre principalmente por difusão através dos poros

das rochas e dos solos, falhas e fissuras, bem como por dissolução nas águas subterrâneas e superficiais, verificando-se sua incorporação na fase líquida quando ela percola a fase sólida portadora de ^{226}Ra , com ou sem a presença de ^{238}U , e também quando a fase líquida localiza-se numa distância correspondente à do alcance de difusão do gás emanado. Em algumas fontes de águas subterrâneas associadas com falhas profundas, o radônio dissolvido é liberado para a atmosfera, concomitantemente com a depressurização.

Algumas variáveis físicas como pressão e temperatura influenciam diretamente na concentração de radônio em água. Este gás é extremamente volátil e, portanto, é facilmente liberado quando dissolvido em água.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a presença de radônio nas águas do Aquífero Bauru ocorrendo no município de São José do Rio Preto. Para tanto, foi monitorado o Rn-222 em poços tubulares que utilizam as águas do aquífero, com o propósito de avaliar a qualidade radiológica das mesmas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do estudo do gás radônio no Aquífero Bauru, no município de São José do Rio Preto (SP), desenvolveram-se as seguintes etapas: levantamento bibliográfico, coleta de dados básicos, seleção de poços tubulares, análises radiométricas e tratamento dos dados obtidos. Efetuou-se um levantamento bibliográfico e coleta de dados básicos necessários para a realização da pesquisa. Os dados básicos foram obtidos em: trabalhos geológicos e hidrogeológicos realizados na área de estudo, com a utilização do site CPRM-SIAGAS para a obtenção das informações disponíveis sobre os poços estudados. Além disso, foram utilizadas cartas

topográficas e geológicas existentes sobre a área de estudo, além dos relatórios do DAEE (1976) e IPT (1996, 2001).

No trabalho de campo realizado na área de pesquisa, foram coletadas 50 amostras de águas subterrâneas. As águas foram coletadas diretamente da boca do poço, após um período de bombeamento. Todos os frascos, antes da coleta, foram lavados com água do próprio poço.

A concentração de radônio na água foi medida usando-se o aparelho Alpha Guard PQ2000PRO Alpha (Genitron GmbH) equipado com uma unidade apropriada (Aquakit), seguindo um protocolo proposto pelo fabricante (GENITRON, 2000). O Alpha Guard é uma câmara de ionização que mede radônio pela técnica de espectrometria alfa (Figura 1).

A determinação da concentração de radônio nas amostras de água pelas unidades Aquakit-Alpha Guard foi efetuada a partir do emprego da seguinte equação, cujos parâmetros foram definidos por Genitron (2000):

$$1000 c_w = c_a [k + (V_{sy} - V_{sa})/V_{sa}] - c_0.$$

C_w = Concentração de radônio na água em Bq/l;

C_a = Concentração de radônio medida no aparelho em Bq/m³;

K = constante = 0,16 (para temperatura entre 20° e 35° C);

V_{sy} = Volume do sistema = 1122 ml;

V_{sa} = Volume da amostra = 100ml;

C_0 = concentração de radônio (Bq/m³) indicado como nível zero (valor zero).

As medidas de radônio foram realizadas em ciclos de 40 minutos para cada amostra, sendo que a cada dez minutos foi conduzida uma leitura; a média dos dados propiciou o resultado final.

As amostras foram analisadas no LABIDRO - Laboratório de Isótopos e Hidroquímica do Departamento de Petrologia e Metalogenia do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP.

Os dados obtidos foram corrigidos para levar em conta o decaimento do radônio desde a amostragem até a realização da análise, a partir da seguinte expressão:

$$C=C'' \cdot e^{0,0001258t}$$

C= valor corrigido para radônio, em Bq/l;

C''= valor medido de Rn, em Bq/l;

t= tempo entre a amostragem e análise, em minutos;

$\lambda = 0,0001258 \text{ min}^{-1}$ =constante de decaimento do radônio.

3. GEOLOGIA REGIONAL

Regionalmente a área encontra-se inserida no contexto geológico da Bacia do Paraná, que é uma bacia sedimentar intracratônica que evoluiu sobre a Plataforma Sul-Americana, sendo constituída por rochas sedimentares e vulcânicas, datadas entre o Ordoviciano e o Cretáceo (ZALÁN *et al.*, 1990).

As rochas basálticas formaram-se devido a um intenso vulcanismo Serra Geral que ocorreu no início do Período Cretáceo, entre 137 e 127 milhões de anos, quando ainda prevaleciam condições desérticas na Bacia do Paraná, o qual foi acompanhado de perturbações tectônicas que geraram arqueamentos e soergimento nas suas bordas, associados a grande número de falhamentos, responsáveis pela estrutura atual da bacia.

Nesta área posteriormente acumulou-se o Grupo Bauru, no Cretáceo Superior (SOARES *et al.*, 1980), que aparece em grande parte do Estado de São Paulo, recobrando as lavas basálticas do Planalto Ocidental.

As rochas cretáceas suprabasálticas da Bacia do Paraná, pertencentes ao Grupo Bauru, são constituídas predominantemente por sedimentos siliciclásticos continentais, depositados na porção centro-sul da Plataforma Sul-Americana. Ocupam uma área de cerca de 117.000 km², em sua maior parte no Planalto Ocidental de São Paulo (correspondente a cerca de 47 % do território paulista), de um total de 370.000 km² distribuídos pelo Triângulo Mineiro, noroeste do Paraná, sudeste de Mato Grosso do Sul e sul de Goiás. Em São Paulo, assenta-se principalmente sobre substrato basáltico da Formação Serra Geral e, localmente, sobre sedimentos das formações Botucatu e Pirambóia, como nas regiões de Bauru (SP) e Agudos (SP) (SUGUIO *et al.*, 1977; PAULA e SILVA & CAVAGUTI, 1994).

Suas maiores espessuras preservadas ultrapassam 300 m, como na região de Marília, mas são em média da ordem de 100 m. A Figura 2 mostra a distribuição das unidades litoestratigráficas do Grupo Bauru no Estado de São Paulo.

4. AQUÍFERO BAURU

O Sistema Aquífero Bauru comporta-se como unidade hidrogeológica de extensão regional, contínua, livre a semiconfinada, com espessura média de 100 metros, podendo alcançar mais de 300 metros, na região de Marília. Constituído de pacote de sedimentos cretáceos, assenta-se predominantemente sobre substrato impermeável formado pelos derrames basálticos da Formação Serra Geral (DAEE, 1974; DAEE, 1976, 1979) (Figura 3).

Com base em subdivisão proposta por Paula e Silva (2003), o Sistema

Aquífero Bauru foi dividido em unidades hidroestratigráficas representadas pelos aquíferos Caiuá, Santo Anastácio, Birigui, Adamantina e Marília, e os aquíferos Pirapozinho e Araçatuba (Figura 4).

No estado de São Paulo, o Sistema Aquífero Bauru assenta-se normalmente sobre o embasamento basáltico, de caráter impermeável, fisiografia muito irregular e com caimento geral para sudoeste. Localmente, tem como substratos rochas pertencentes às formações Botucatu e Pirambóia, como nas regiões de Bauru e Agudos (PAULA e SILVA & CAVAGUTI, 1994).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As coletas de amostras de água para análises do gás radônio e para o elemento rádio foram realizadas em São José do Rio Preto, em três etapas:

- Entre os dias 17 e 19 de janeiro de 2011 (coleta de 20 amostras);
- Nos dias 2 e 3 de agosto de 2011 (coleta de 20 amostras);
- No dia 30 de novembro de 2011 (coleta de 10 amostras).

No total, foram 50 análises de radônio, utilizando o aparelho Alpha-Guard juntamente com o AquaKit. Os resultados obtidos para este gás (Bq/l) são apresentados na Tabela 1.

Os teores de gás radônio dissolvidos na água subterrânea da área de estudo variaram entre 0,699 Bq/l e 14,95 Bq/l, sendo o valor médio de 3,07 Bq/l. Ressalta-se que a concentração de radônio dissolvido na água para o abastecimento público, segundo a Organização Mundial de Saúde, deve ser no máximo de 100 Bq/l. Portanto, em São José do Rio Preto, a concentração deste gás na água subterrânea, está

muito abaixo do limite estabelecido pela OMS.

O teor do gás radônio variou muito ao longo da área estudada, que está geologicamente localizada no Grupo Bauru (Formações Adamantina e Santo Anastácio), o qual apresenta uma grande variação litológica desde siltitos até arenitos médios. O valor mais baixo observado nas análises realizadas foi de 0,699 Bq/l na amostra RP-15, que se encontra em uma área de arenitos finos do Grupo Bauru (Formação Adamantina), empobrecidos em urânio e de porosidade relativamente baixa.

Já o valor de 14,95 Bq/l para a amostra RP-10 pode estar relacionado ao fato de estar localizada numa área onde há variações litológicas. A intercalação entre argilitos/ siltitos e arenitos finos faz com que nesta área o Aquífero Bauru seja semi-confinado, evitando, assim, a dispersão do gás radônio para a atmosfera. Outra hipótese que pode colaborar para este valor mais elevado na área de estudo é a presença de argilitos neste ponto, que é um tipo de rocha com tendência de acumular maiores quantidades de urânio.

Foi confeccionado um mapa de isovalores para avaliar a distribuição do gás radônio em São José do Rio Preto (Figura 5). Na mesma figura consta a análise estatística do radônio na área de estudo.

A área de maior concentração de radônio em São José do Rio Preto é a central, como pode ser observado no mapa de isovalores.

6. CONCLUSÕES

Em relação ao principal enfoque deste trabalho, o gás radônio, foi observado que os teores deste gás dissolvido na água, na área de estudo, variaram entre 0,699 Bq/l e 14,95 Bq/l. A concentração de radônio dissolvido na água para o abastecimento público, segundo a Organização Mundial de Saúde, deve ser no máximo de 100 Bq/l. Portanto, em São José do Rio Preto, a concentração deste gás na água subterrânea está bem abaixo do máximo estabelecido pela OMS.

A amostra RP-10 forneceu um valor de 14,95 Bq/l, elevado em relação aos de outras amostras analisadas. Isto deve-se possivelmente a diferenças litológicas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. *Estudo de águas subterrâneas: região administrativa 6, Ribeirão Preto - SP, São Paulo: Geopesquisadora —Tahal, 2v., 1974.*

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE (1976). *Estudo de Águas Subterrâneas. Regiões administrativas 7, 8, 9 (Bauru, São José do Rio Preto, Araçatuba), 3 vol.*

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. *Estudo de águas subterrâneas, regiões administrativas 10 e 11: Presidente Prudente e Marília. São Paulo: v.1e v.2, 1979.*

GENITRON 2000. *Alpha Guard PQ2000/MC50 - Multiparameter Radon Monitor.*

Frankfurt, Genitron Instruments.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT (1996). *Diagnóstico Básico da Situação das Águas Subterrâneas de São José do Rio Preto e seus Entornos*. Parecer Técnico No. 6.870. São Paulo, 74p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT (2001). *Diagnóstico da situação atual dos Recursos Hídricos e estabelecimento de diretrizes técnicas para elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica do Turvo/Grande - Relatório Final*. Relatório No. 40.515 - Relatório Zero do Comitê de Bacias do Turvo/Grande. São Paulo, 341 p.

NELSON, P.; RACHIELLE, R.; SMITH, A. *Transport of radon in flowing boreholes at stripa Sweden*. (*Geophysics Res.* V. 88, n. B3), p. 2395-2405, 1983.

PAULA E SILVA, F. & CAVAGUTI, N. *Nova caracterização estratigráfica e tectônica do Mesozóico na cidade de Bauru - SP*. In: *Revista Geociências*. UNESP. p.83-99, 1994.

PAULA E SILVA, F.; CHANG, H.K. & CAETANO-CHANG, M. R. *Perfis de referência do Grupo Bauru no Estado de São Paulo*. *Revista Geociências*. Rio Claro. v. 22 (n. 1), p.127- 139, 2003.

SOARES, P. C.; LANDIM, P. M. B.; FÚLFARO, V. J. & SOBREIRO NETO, A. F. *Ensaio de caracterização estratigráfica do Cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru*. Revista Brasileira de Geociências. São Paulo. v. 10 (n. 3): p.177-185, 1980.

SUGUIO, K.; FULFARO, V. J.; AMARAL, G. & GUIDORZI, L. A. *Comportamentos estratigráfico e estrutural da Formação Bauru nas regiões administrativas 7 (Bauru), 8 (São José do Rio Preto) e 9 (Araçatuba) no Estado de São Paulo*. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 1, 1977. São Paulo. Atas...p. 231-247.

ZALÁN, P. V. ; WOLF, S. ; ASTOLFI, M. A. M. ; VIEIRA, I. S. ; CONCEIÇÃO, J. C. J. ; APPI, V. T.; NETO, E. V. S.; CERQUEIRA, J. R.; MARQUES A. (1990). *The Paraná Basin in: Intracratônica Basins*. AAPG Memoir 51, p. 681-708.

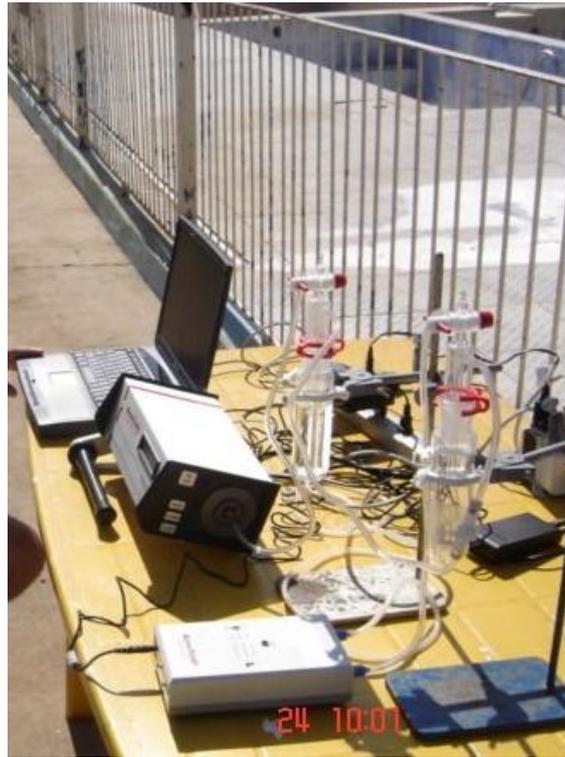


Figura 1: Aparelho Alpha Guard montado para análise das amostras de água.
Figure 1: Alpha Guard unit mounted for analysis of water samples.

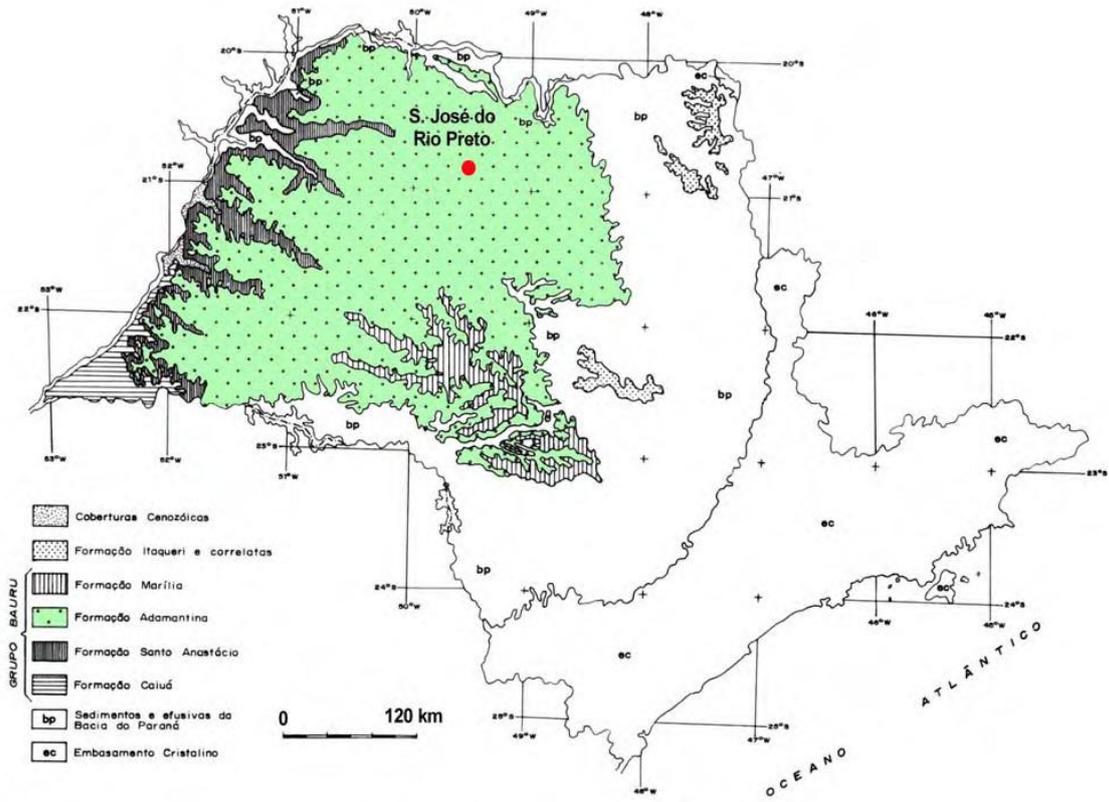


Figura 2: Distribuição do Grupo Bauru na área de estudo.
 Figure 2: Distribution Bauru Group in the study area.

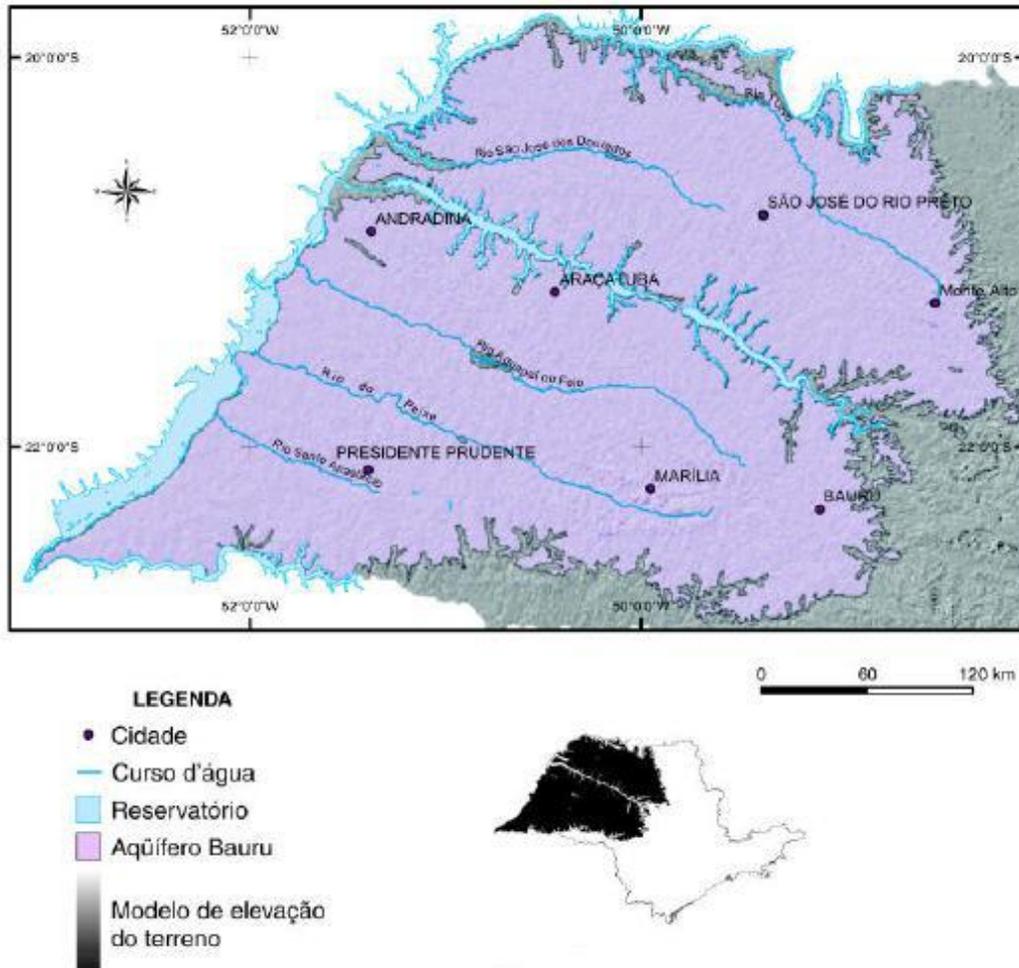


Figura 3: Mapa de Localização do Aquífero Bauru no Estado de São Paulo.
 Figure 3: Location Map of Aquifer Bauru in Sao Paulo State.

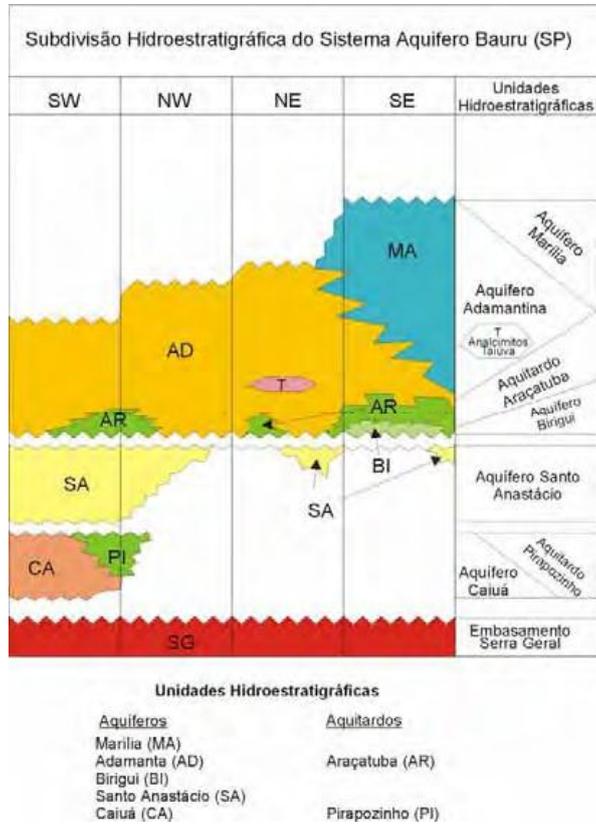


Figura 4: Subdivisão hidroestratigráfica do Sistema Aquífero Bauru.
 Figure 4: Hydrostratigraphic subdivision Bauru Aquifer System.

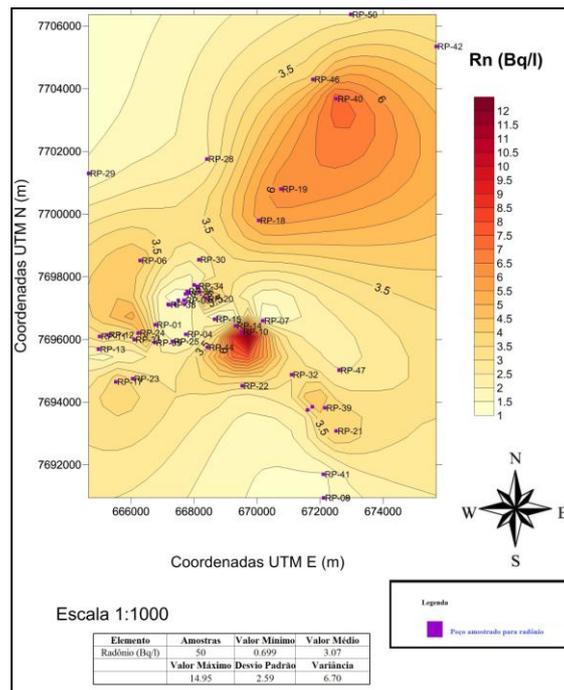


Figura 5: Mapa de Isovalores e dados estatísticos de radônio na área estudada.
 Figure 5: Isovalues Map and statistical data of radon in the studied area.

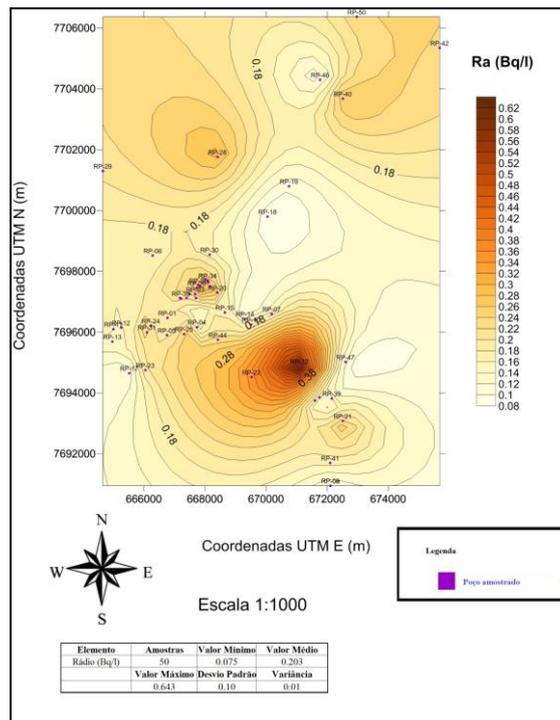


Figura 6: Mapa de Isovalores e dados estatísticos de radium na área estudada.
 Figure 6: Isovalues Map and statistical data of radium in the studied area.

Tabela 1: Valores em Bq/l das 50 amostras de água analisadas para o gás radônio.
 Table 1: Values in Bq/l of the 50 water samples analyzed for radon gas.

Amostras	Média Rn (Bq/m ³)	Rn (Bq/l)	Rn corrigido (Bq/l)
RP-1	71,6	0,75	1,21
RP-2	58,0	0,607	0,99
RP-3	65,4	0,685	1,12
RP-4	81,4	0,853	1,28
RP-5	178,0	1,86	2,80
RP-6	289,0	3,02	4,53
RP-7	57,0	0,597	0,89
RP-8	90,2	0,945	1,42
RP-9	113,2	1,18	1,78
RP-10	853,0	8,93	14,95
RP-11	211,2	2,21	3,70
RP-12	192,8	2,02	3,40
RP-13	68,4	0,716	1,20
RP-14	91,0	0,953	1,61
RP-15	38,6	0,404	0,69
RP-16	40,0	0,419	0,72

RP-17	257,6	2,69	4,17
RP-18	321,4	3,36	5,78
RP-19	340,8	3,57	6,41
RP-20	351,4	3,68	6,75
RP-21	291,2	3,05	4,37
RP-22	162,8	1,70	2,43
RP-23	230,6	2,41	3,45
RP-24	577,8	6,05	8,79
RP-25	142,0	1,48	2,15
RP-26	66,2	0,69	1,00
RP-27	82,6	0,86	1,25
RP-28	135,4	1,42	2,34
RP-29	92,4	0,96	1,58
RP-30	153,2	1,60	2,62
RP-31	80,6	0,84	1,38
RP-32	185,2	1,94	2,95
RP-33	53,6	0,56	0,85
RP-34	89,8	0,94	1,44
RP-35	118,6	1,24	1,91
RP-36	86,0	0,90	2,26
RP-37	32,0	0,33	0,83
RP-38	190,6	1,99	5,00
RP-39	132,8	1,39	3,48
RP-40	281,0	2,94	7,53
RP-41	71,6	0,75	1,29
RP-42	281,2	2,95	3,52
RP-43	192,2	2,01	2,40
RP-44	336,0	3,52	4,32
RP-45	522,4	5,47	6,71
RP-46	314,0	3,29	4,03
RP-47	172,6	1,80	2,22
RP-48	137,0	1,43	1,98
RP-49	94,8	0,99	1,38
RP-50	183,2	1,92	2,68

Tabela 2: Resultados das 50 amostras para o elemento Ra-226 (Bq/l).
Table 2: Results of 50 samples for the element Ra-226 (Bq/l).

Amostra	Média de Ra-226 (Bq/m ³)	Ra-226 (Bq/l)	Amostra	Média de Ra-226 (Bq/m ³)	Ra-226 (Bq/l)
RP-1	15,4	0,16	RP-26	37,2	0,39
RP-2	17,4	0,18	RP-27	26	0,27
RP-3	17,6	0,18	RP-28	27,8	0,29
RP-4	12,6	0,13	RP-29	19,6	0,20
RP-5	14,2	0,15	RP-30	15,6	0,16
RP-6	15,0	0,16	RP-31	24,4	0,25
RP-7	15,0	0,16	RP-32	61,6	0,64
RP-8	9,0	0,09	RP-33	47	0,49
RP-9	10,2	0,11	RP-34	21,6	0,23
RP-10	17,8	0,19	RP-35	18,6	0,19
RP-11	18,0	0,19	RP-36	22,2	0,23
RP-12	10,8	0,11	RP-37	21,8	0,23
RP-13	15,0	0,16	RP-38	24,8	0,26
RP-14	7,5	0,07	RP-39	9	0,09
RP-15	19,0	0,20	RP-40	26,2	0,27
RP-16	16,4	0,17	RP-41	16,2	0,17
RP-17	8,8	0,09	RP-42	22,8	0,24
RP-18	7,8	0,08	RP-43	12,4	0,13
RP-19	9,8	0,10	RP-44	23	0,24
RP-20	14,6	0,15	RP-45	13,4	0,14
RP-21	25,6	0,27	RP-46	9,2	0,10
RP-22	33,8	0,35	RP-47	8,6	0,09
RP-23	19,0	0,20	RP-48	10,6	0,11
RP-24	20,8	0,22	RP-49	26,2	0,27
RP-25	28,8	0,30	RP-50	22,6	0,24

Tabela 2: Resultados das 50 amostras para o elemento Ra-226 (Bq/l).

Table 2: Results of 50 samples for the element Ra-226 (Bq/l).