



## ANÁLISE DE RADÔNIO NO SOLO PARA PROSPECÇÃO DE ÁGUA EM AQUÍFEROS FRATURADOS

### PROSPECTING FRACTURED ROCK AQUIFERS USING RADON SOIL GASES METHOD

Paulo Henrique Prado Stefano<sup>1</sup>; Ari Roisenberg<sup>2</sup>; José Domingos Faraco Gallas<sup>3</sup>; Zildete Rocha<sup>4</sup>

Artigo recebido em: 01/02/2017 e Aceito para publicação em: 18/05/2017.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v31i3.28810>

**Resumo:** A prospecção de água subterrânea em aquíferos fraturados depende do adequado reconhecimento de lineamentos tectônicos, o que pode ser dificultado em áreas urbanas. Com base nesta condição, foi realizado um estudo com radônio contido nos gases dos solos em quatro localidades na região do Granito Santana e Granito Viamão, no Município de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. Complementarmente, foram realizados levantamentos geofísicos de eletrorresistividade com arranjo dipolo-dipolo com o objetivo de comparar os resultados com os de radônio. Nas quatro áreas de estudo observou-se uma boa correlação entre os dois métodos. Nas regiões de baixa resistividade foram registradas anomalias positivas de radônio, atingindo valores de até 7 vezes o background na região (2.500 Bq/m<sup>3</sup> em zonas não fraturadas) para valores de 21.157 Bq/m<sup>3</sup> nas áreas onde ocorrem os fraturamentos.

**Palavras-chave:** Radônio. Aquíferos Fraturados. Resistividade.

**Abstract:** Groundwater prospecting in fractured aquifers depends on the detection of tectonic lineaments, which may be difficult in urban areas. A survey was carried out using radon soil gases concentrations in four localities in the region of Granite Santana and Viamão Granite, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, in order to test the method for water prospecting in fractured aquifers. The radon data have been compared with electrical resistivity survey executed using dipole-dipole arrangement. At four studied areas, an interesting correlation was noted between the two methods. At regions of low resistivity, positive radon anomalies were found in fracture zones, reaching values up to 7 times the background of the region, starting from a concentration value of 2500 Bq/m<sup>3</sup> in a non-fractured zones to 22187 Bq/m<sup>3</sup> in the fractured zones.

**Keywords:** Radon. Fractured Aquifers. Resistivity.

## 1 INTRODUÇÃO

O uso crescente e descontrolado dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos nas últimas décadas tem trazido um grande interesse das autoridades públicas que controlam este bem comum. A busca pela preservação da potabilidade das águas e a busca de novas técnicas de extração representam a

principal motivação para os técnicos que desenvolvem esta área.

Em aquíferos fraturados, constituídos predominantemente por rochas ígneas e metamórficas, a circulação de água se dá ao longo de fraturas abertas ou lineamentos tectônicos. A capacidade de produção nestes aquíferos é limitada e depende exclusivamente do grau de abertura e da intercomunicação das

<sup>1-2</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS. E-mails: ([paulohenriquestefano@hotmail.com](mailto:paulohenriquestefano@hotmail.com), [ari.roisenberg@ufrgs.br](mailto:ari.roisenberg@ufrgs.br))

<sup>3</sup> Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, SP. E-mail: ([jgallas@usp.br](mailto:jgallas@usp.br))

<sup>4</sup> Comissão Nacional de Energia Nuclear. Belo Horizonte, MG. E-mail: ([zildete@cdtn.br](mailto:zildete@cdtn.br))

fraturas. Neste caso, a adequada locação dos furos de sondagem é fundamental para o sucesso dos trabalhos, pois deve interceptar as fraturas através das quais se dá a circulação de água no meio rígido.

A situação é ainda mais crítica em centros urbanos, onde a cobertura por asfalto e cimento pode apagar as linhas tectônicas observadas em imagens aéreas, dificultando sobremaneira a locação e perfuração dos poços de água subterrânea. Nestes casos, outros métodos alternativos devem ser buscados e dentre estes, os métodos geofísicos como eletrorresistividade e métodos eletromagnéticos tem mostrado relativa eficiência. Em áreas com urbanização intensa, entretanto, os métodos geofísicos sofrem diversos tipos de interferência, o que, em alguns casos, impossibilita seu uso na prospecção de água subterrânea. Esta situação constitui um desafio e é a principal motivação do presente estudo, visando a perspectiva de atingir um nível maior de sucesso em aquíferos fraturados.

O radônio ( $^{222}\text{Rn}$ ) é um gás nobre oriundo do decaimento radioativo da série do urânio ( $^{238}\text{U}$ ) e as rochas que possuem este elemento emitem radioatividade contínua para o ambiente. Devido às propriedades geoquímicas, rochas graníticas com afinidades alcalinas e rochas feldspatoidicas são as mais propícias a registrarem elevados teores de radônio, pois são as que possuem maior concentração de urânio, contido em minerais acessórios, como zircão, apatita, monazita, titanita, entre outros (DUARTE, 2002; APPLETON, 2005). A liberação de radônio se faz pela interação desses minerais com a água, promovendo a ascensão do gás através de um sistema de bolhas.

A presença de fraturas em profundidade aumenta a mobilidade do radônio através dos perfis de solos, promovendo o aumento de fluxo deste radioisótopo. Áreas com maior densidade de fraturamentos coincidem com o aumento das concentrações de radônio nos solos.

(LOANNIDES *et al.*, 2003; INCEOZ *et al.*, 2005; PEREIRA, 2009), independente do tipo de rocha. Em regiões milonitizadas os teores de radônio são mais elevados, se comparados com rochas menos afetadas pela tectônica rúptil (GUNDERSEN, 2005).

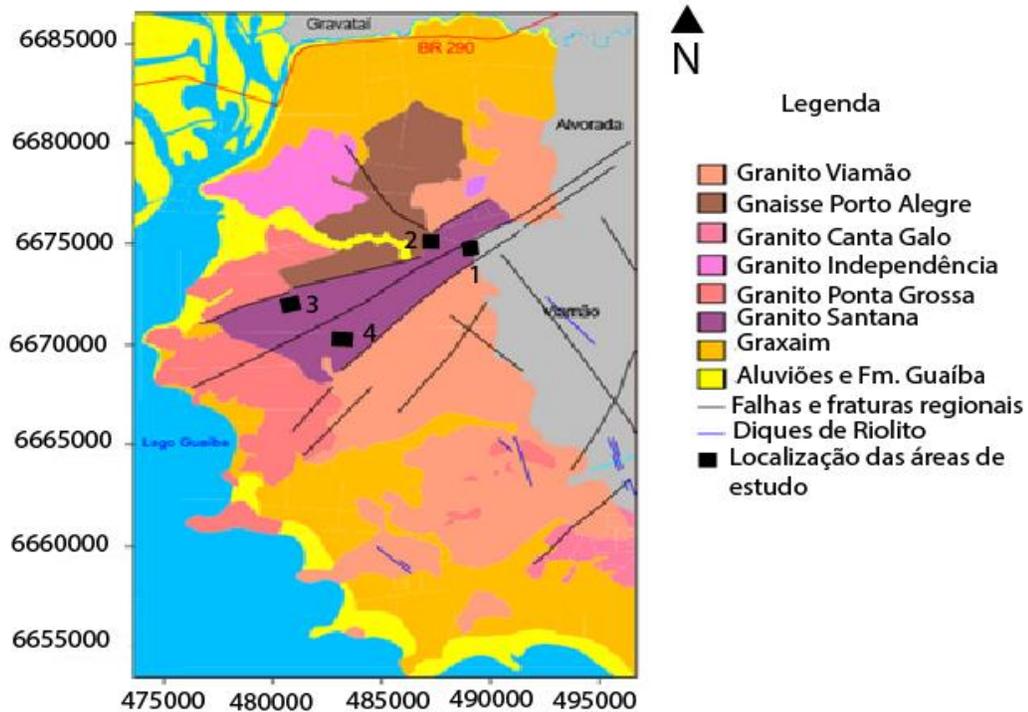
Pereira (2009) utilizou o radônio contido nos solos com o objetivo de testar o método para prospecção de águas em aquíferos fraturados e concluiu que a metodologia é bastante eficiente, tendo uma ótima correlação com os dados de vazão dos poços da região do estudo.

## 2 OBJETIVOS

O objetivo principal desta pesquisa é testar a análise de radônio nos solos como método alternativo para a adequada locação de poços tubulares em regiões de aquíferos fraturados, aumentando o nível de sucesso na busca por uma maior produtividade. Para isto selecionou-se a região do Granito Santana e adjacências, no Município de Porto Alegre, RS.

## 3 GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO

A cidade de Porto Alegre ocupa cerca de 480 Km<sup>2</sup>, localizando-se sobre o chamado Batólito de Pelotas, que consiste em múltiplas injeções magmáticas (FRAGOSO *et al.*, 1986). As unidades mais antigas são o Granito Viamão e o Granito Independência, que são cortados por unidades mais tardias, representadas pelo Granito Canta Galo, Granito Santana e Granito Ponta Grossa (PHILIPP *et al.*, 2002). Dois sistemas de lineamentos tectônicos recortam o complexo magmático e geram fraturas abertas com direções NW e NE (Figura 1). Cobrindo o embasamento cristalino, ocorrem depósitos sedimentares terciários e quaternários, representados por sedimentos aluviais, depósitos e lagunas e barreiras e depósitos aluvionares atuais (TOMAZELLI, 1987).



**Figura 1** – Geologia da região de Porto Alegre, RS. Modificado de Fianco et. al. (2012)

**Figure 1** – Geology of the Porto Alegre region, RS. Modified from Fianco et al. (2012)

O Granito Santana corresponde à unidade intrusiva mais jovem na área, possuindo forma alongada e posicionamento controlado por uma zona de cisalhamento dúctil-rúptil com direção N45E. É classificado como um feldspato alcalino granito, com textura granular média a grossa, constituído por K-feldspato, quartzo, plagioclásio e biotita, em ordem decrescente de abundância. Os minerais acessórios presentes são zircão, apatita, titanita e alanita, responsáveis pela radioatividade do corpo. Nas extremidades da intrusão granítica ocorrem regiões com intensa deformação (PHILLIP, 2008).

O Granito Viamão constitui a mais extensa unidade plutônica aflorante na região de Porto Alegre, possuindo estrutura orientada pelo fluxo magmático, evidenciada pelo subparalelismo dos fenocristais de feldspato potássico. A composição é monzogranítica e a mineralogia essencial compreende além de feldspato potássico, plagioclásio, quartzo e biotita, nesta ordem de abundância. Os minerais

acessórios são representados por zircão, apatita, alanita, titanita e opacos. Ocorrem ainda zonas de cisalhamento no Granito Viamão, principalmente próximas ao contato com o Granito Santana, sendo caracterizadas por pequenas faixas de protomilonitos, com espessuras variáveis entre 30cm e 5m (PHILLIP, 2008).

### 3.1 Hidrogeologia

No Município de Porto Alegre são reconhecidos dois sistemas aquíferos principais, o Sistema Aquífero Fraturado Pré-Cambriano (SAFP) e o Sistema Aquífero Poroso Cenozóico (SAPC).

O Sistema Aquífero Fraturado Pré-Cambriano é representado pelo complexo granitoide e possui recarga meteórica direta através do solo, atingindo as fraturas. Capas de alteração intempérica e saibrosas, por vezes espessas, recobrem o terreno e podem fornecer água de qualidade em poços escavados. As

águas deste sistema possuem caráter bicarbonatado cálcico-sódico a sódico, passando a tipos intermediários de composição cloretada-bicarbonatada-cálcico-sódica em decorrência da mistura com águas do SAPC. A profundidade média dos poços é da ordem de 93 metros, variando entre 30 e 202 metros, enquanto o nível estático localiza-se entre 0,1 e 29,9 metros com média de 7,2 metros. A vazão dos poços profundos é em geral baixa, oscilando entre 0,1 e 35,5 m<sup>3</sup>/h, com média de 3,8 m<sup>3</sup>/h (ROISENBERG, 2001).

O Sistema Aquífero Poroso Cenozóico está sotoposto ao SAFFP, sendo constituído por sedimentos resultantes de eventos transgressivos e regressivos dos oceanos, o que confere à água altos teores de sais. Este sistema comporta-se como um aquífero livre, com recarga meteórica direta, contendo nas águas elevados teores de cloreto, sulfato, sódio, cálcio e magnésio. A porosidade deste aquífero varia

substancialmente, em razão da diversidade dos materiais. Assim, os poços construídos sobre depósitos de leques aluviais possuem vazão média de 5 m<sup>3</sup>/h, estando o nível estático médio a 4,9 metros de profundidade, variando entre 0,8 a 6,3 metros. Por outro lado, poços construídos em estratos inconsolidados de areias e areias siltosas possuem vazões médias menores, da ordem de 3 m<sup>3</sup>/h e nível estático da ordem de 1,5 metros (RAMAGE *et al.*, 2005).

### 3.2 Formação e movimento do radônio no subsolo

O principal isótopo de radônio (<sup>222</sup>Rn) é originado pelo decaimento do <sup>238</sup>U (Figura 2). Dos radionuclídeos oriundos deste decaimento, somente o Rn é gasoso e, deste modo, passa a ocupar o ar presente nas fraturas das rochas e poros dos solos.

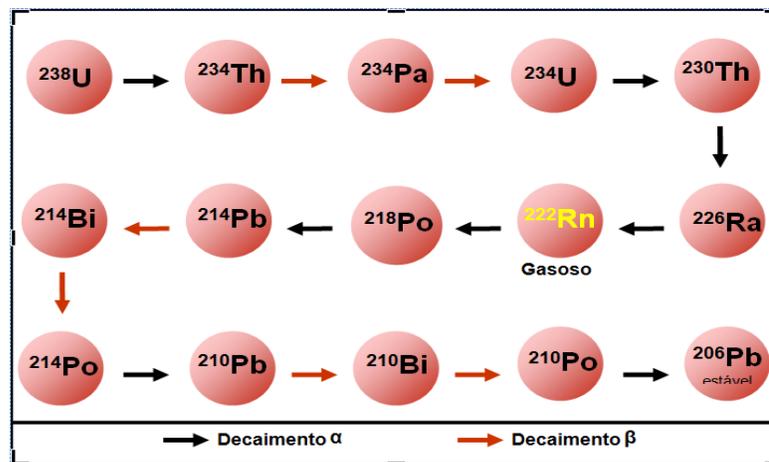


Figura 2 - Série de decaimento radioativo do <sup>238</sup>U (Original de Pereira, 2009).

Figure 2 - Radioactive decay serie of <sup>238</sup>U (Original from Pereira, 2009)

O <sup>226</sup>Ra ao decair para formar o <sup>222</sup>Rn perde dois prótons e dois nêutrons. Estes prótons e nêutrons são chamados de partículas α. O próprio radônio decai pela emissão de uma partícula α produzindo o polônio.

Como é um gás nobre, o Rn é muito mais móvel do que os outros elementos formados na série radioativa e pode permear pelas fraturas das rochas e através dos poros do solo.

Quando os átomos de Ra decaem pela emissão de partículas os novos átomos de Rn são emitidos em direção oposta àquela da emissão das partículas alfa (alpha recoil, TANNER, 1980 apud GUNDERSEN, 1992). Disto resulta que os novos átomos de Rn saiam do grão mineral em que os átomos de Ra estavam.

A localização do Ra na superfície ou na

zona interna do grão mineral, assim como a direção de lançamento do Rn neoformado irão definir se o novo átomo de Rn irá para o espaço intergranular ou não. Se estas condições – posição e direção da emissão do Rn – não forem satisfeitas, o átomo de Rn permanecerá no interior do cristal. Normalmente o Rn é emitido em direção à superfície do grão e poderá alojar-se nos poros. No entanto, como esta emissão é muito forte, o Rn sai do grão onde se formou, atravessa os poros entre os grãos e se insere em outro mineral.

Por outro lado, havendo água nos poros dos solos ou no preenchimento de fraturas, o Rn fica retido nestes locais, uma vez que a água absorve a energia cinética do átomo neoformado, (TANNER, 1980 apud SIGRID *et al.*, 1991).

É de suma importância ressaltar que o escape do Rn para a superfície pode ter influência de vários fatores como oscilações de pressão barométrica e umidade do solo, temperatura do ar e do solo (SIGRID *et al.*, 1991) e, principalmente, pela porosidade, permeabilidade e umidade do solo, (REIMER, 1995).

Em terrenos de rochas cristalinas, os principais fatores que favorecem o escape do Rn para a superfície são a pequena espessura e permeabilidade elevada do solo, bem como a presença de fraturas na rocha (OTTON *et al.*, 1995).

Em meio saturado, o fluxo de radônio é predominantemente lateral e é controlado pelo fluxo de água subterrânea. Se o meio não for saturado, irão prevalecer a difusão gasosa associada a processos de difusão de vapor e capilaridade (REBELO *et al.*, 2003).

#### 4 METODOLOGIA

Foram realizados perfis aproximadamente ortogonais a quatro lineamentos tectônicos, identificados através da interpretação de imagens de satélite (Figuras 1 e 3). Em cada perfil foram locados pontos distantes 20m entre si nos quais realizaram-se análises das concentrações de radônio e ensaios de eletroresistividade.



**Figura 3** – Imagem Google Earth das quatro áreas de estudo. Linha vermelha – Projeção dos lineamentos tectônicos. Linha branca – Linha de perfil onde os dados foram coletados

**Figure 3** – Google Earth Image from the study area. Red line- geological lineament. White Line - Profile line where data were collected

#### 4.1 Análises de radônio em solos com equipamento SARAD RTM 1688-2

O equipamento SARAD RTM 1688-2 (Figura 4) promove desgaseificação da amostra de solo em ciclo fechado, o que possibilita a análise da concentração de radônio presente nos gases dos poros. Para realizar a análise em solos, o equipamento contém uma unidade auxiliar que consiste em uma vara de perfuração de aço com ponta intercambiável e

uma sonda capilar, que atinge a profundidade de 1 metro no solo. A sonda capilar conectada ao equipamento realiza o bombeamento do gás até a câmara de ionização, onde a concentração total de radônio presente no solo é determinada. A coleta de dados foi realizada com condições similares de temperatura e umidade do solo em todos os pontos. Deve-se ressaltar que foram selecionados solos com mesmas características de permeabilidade e porosidade.



**Figura 4** - Sarad 1688-2 para coleta de dados em solos  
**Figure 4** – Sarad 1688-2 equipment to collect data in soils

#### 4.2 Ensaios de eletrorresistividade

Os ensaios de eletrorresistividade foram executados com arranjo dipolo–dipolo e abertura dos eletrodos de 20m ( $AB=MN=20m$ ) em cinco profundidades teóricas de investigação. Os resultados obtidos com o caminhamento elétrico são representados sob a forma de pseudo-seções de resistividade aparente e seções modeladas de resistividade. Os processos de inversão utilizados no processamento dos dados foram realizados com o software RES2DINV (2001), que é fundamentado no algoritmo de Loke & Barker (1996a, 1996b).

A presença de zonas fraturadas nas rochas pode ser indicada como áreas com baixa resistividade, pois se apresentam como eletrólito com íons dissolvidos e material particulado, o que acarreta em diminuição da

resistividade, quando comparado com a rocha sã (Gallas & Giardin, 2016).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Área 1

Nesta área foram realizados perfis de eletrorresistividade e de concentração de radônio no solo, totalizando 220 metros. O perfil de eletrorresistividade, a partir da zona de contato dos Granitos Santana e Viamão permite observar significativa mudança nos valores de resistividade elétrica, padrão que ocorre na pseudo-seção e também na seção modelada, sendo o parâmetro em questão maior na área do Granito Santana, à leste do lineamento (Figura 5).

Na área de contato entre as duas litologias foi registrado o maior valor de

concentração de radônio nos solos do perfil (16.146 Bq/m<sup>3</sup>), que é aproximadamente cinco vezes mais elevado que o background da região (~2.500 Bq/m<sup>3</sup>). Esta zona é definida como cisalhante, sob o ponto de vista estrutural, propiciando a desagregação dos minerais, o que promove o escape do gás.

## 5.2 Área 2

Os resultados obtidos nesta área mostram forte correlação entre as concentrações de radônio nos solos e a anomalia de eletrorresistividade entre as posições 200 e 240 metros no perfil. A anomalia de resistividade pode ser identificada tanto na pseudo-seção de resistividade aparente como também na seção modelada de resistividade (Figura 6).

O valor do background de radônio é de aproximadamente 3.000 Bq/m<sup>3</sup>, sendo o pico de radônio registrado na posição 220 metros do perfil (22.187 Bq/m<sup>3</sup>), que corresponde a um valor aproximadamente sete vezes maior que o background da área.

A posição onde foram encontrados os maiores teores de radônio, bem como as menores resistividades do perfil, coincide com um lineamento tectônico de orientação N-S. Esta zona de fraturas favorece o escape do gás, o que explica as elevadas concentrações de radônio.

## 5.3 Área 3

Os resultados obtidos na Área 3 mostram uma moderada correlação entre os resultados do caminhamento elétrico e os dados de radônio. O valor do background de

radônio no perfil é de aproximadamente 2.500 Bq/m<sup>3</sup>, e a concentração máxima registrada é de 4.118 Bq/m<sup>3</sup> (Figura 7).

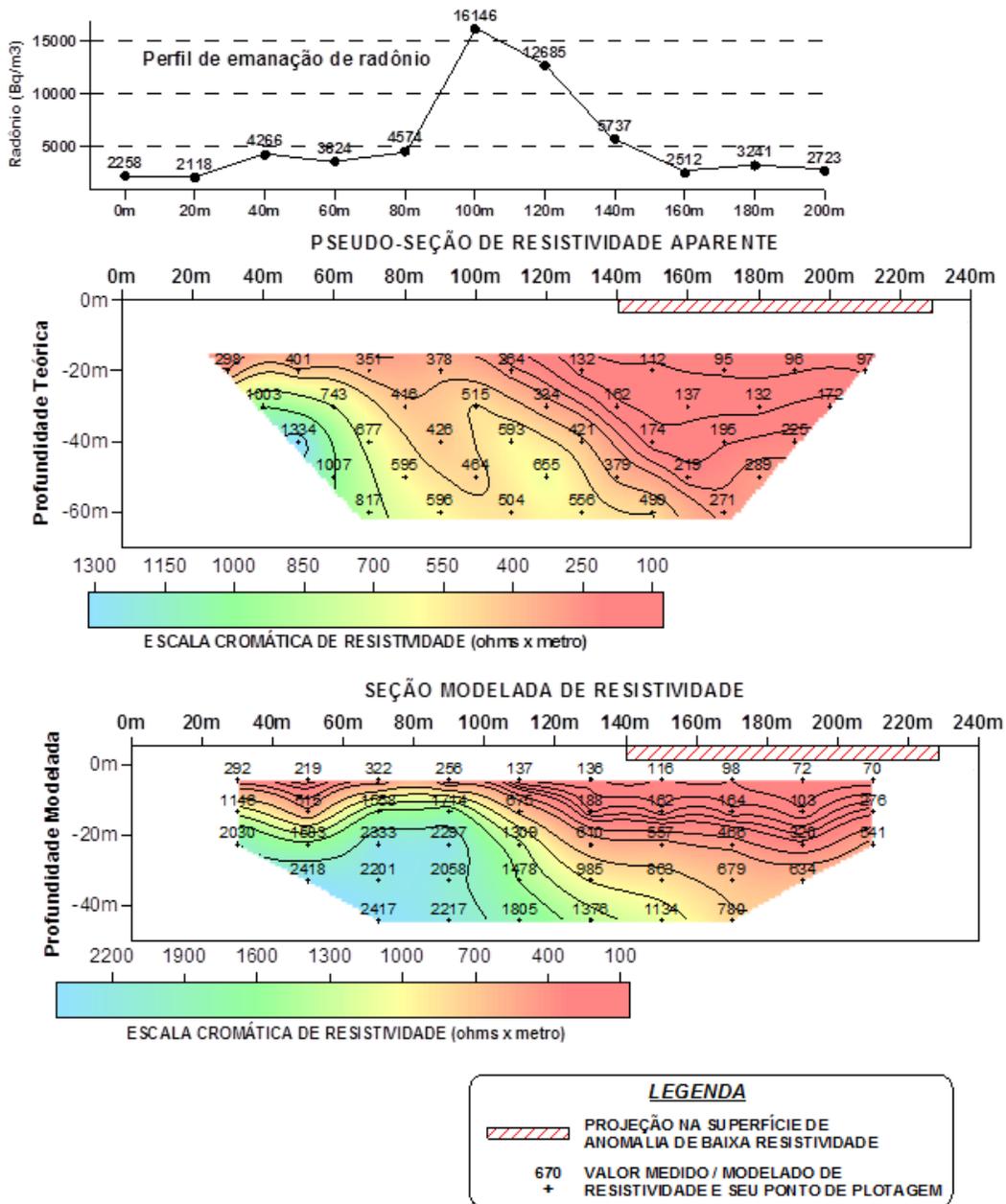
É importante notar que o valor máximo de radônio obtido no perfil ocorre em região com baixa resistividade (posição 220 metros nos perfis), local onde é encontrado o início um lineamento tectônico de orientação NW-SE.

Os valores de radônio, não muito superiores ao background da região, condizem com a falta de uma anomalia geoeletrica significativa. No entanto, estima-se que pode ocorrer uma zona de baixa resistividade a partir da posição 190 metros, onde os valores de radônio apresentam valores razoavelmente mais elevados do que o background da região.

## 5.4 Área 4

Os resultados obtidos na área 4 apresentam uma excelente correlação entre os dados de resistividade e as concentrações de radônio. É possível observar uma zona de baixa resistividade entre as posições 160 e 240 metros tanto na pseudo-seção, quanto na seção modelada. Essa zona de baixa resistividade pode ser correlacionada com a região de maior concentração de radônio no perfil, que ocorre na posição 220 metros (16.820 Bq/m<sup>3</sup>) e é aproximadamente quatro vezes maior que o background do perfil (Figura 8).

Além disso, é possível observar em foto aérea um lineamento de orientação NW-SE que coincide com as anomalias de resistividade e de radônio. Essa zona de fraturas é, provavelmente, o local no qual o radônio escapa para a atmosfera.



**Figura 5** – Perfil de concentração de radônio nos gases dos solos, pseudo-seção e seção modelada de resistividade da Área 1

**Figure 5** – Radon profile, pseudo-section and modeled resistivity section of Area 1

Análise de radônio no solo para prospecção de água em aquíferos fraturados

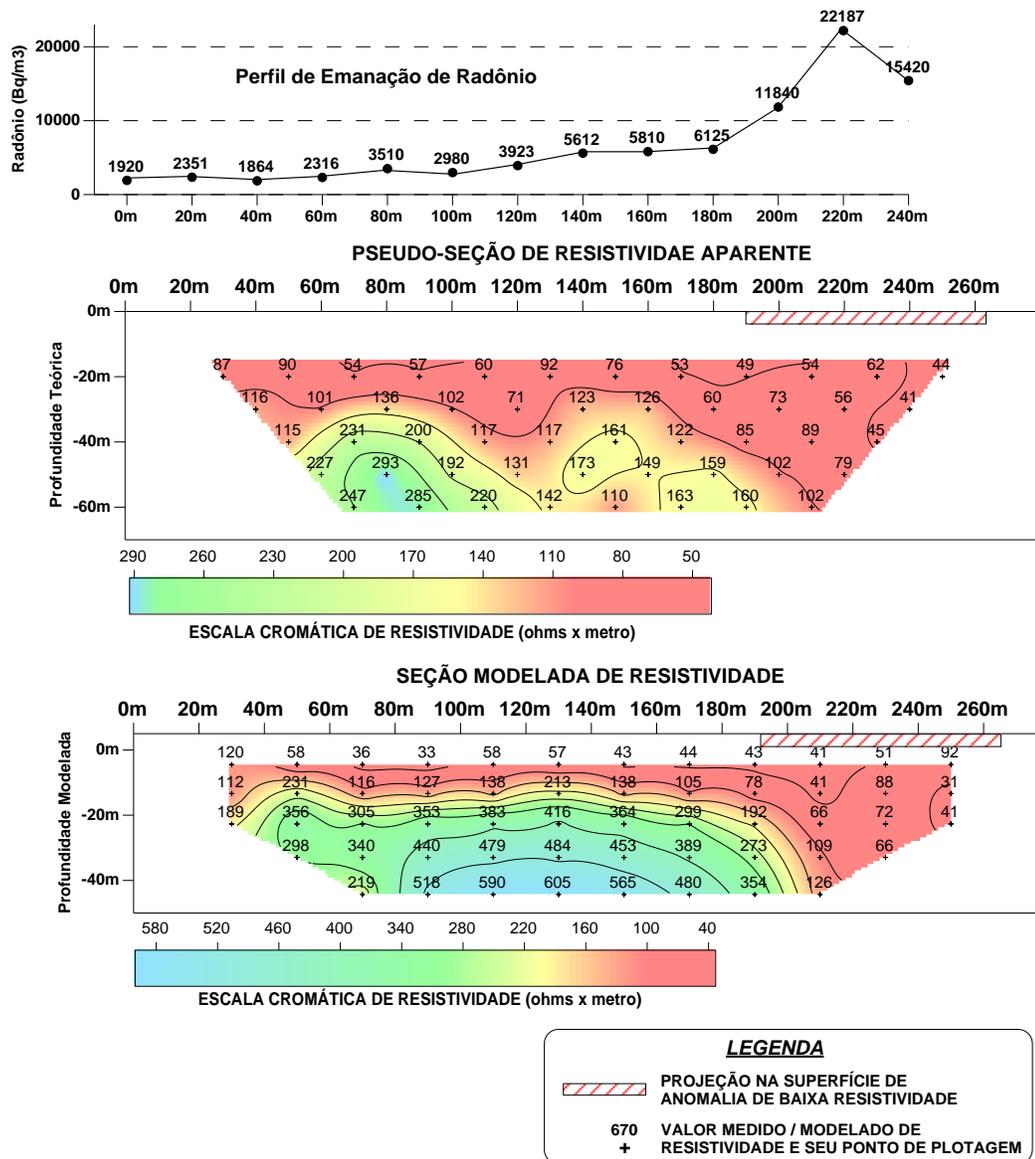
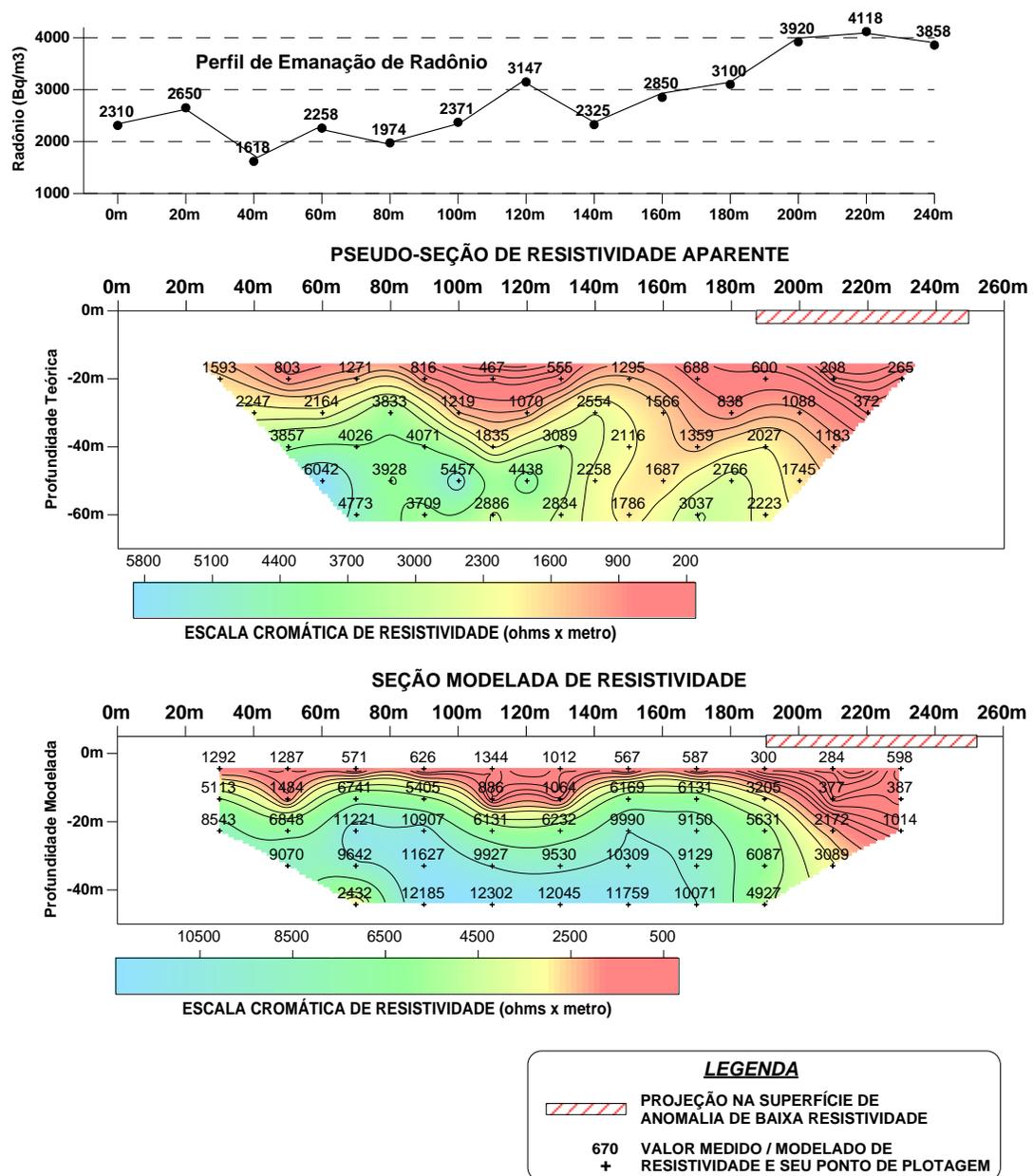


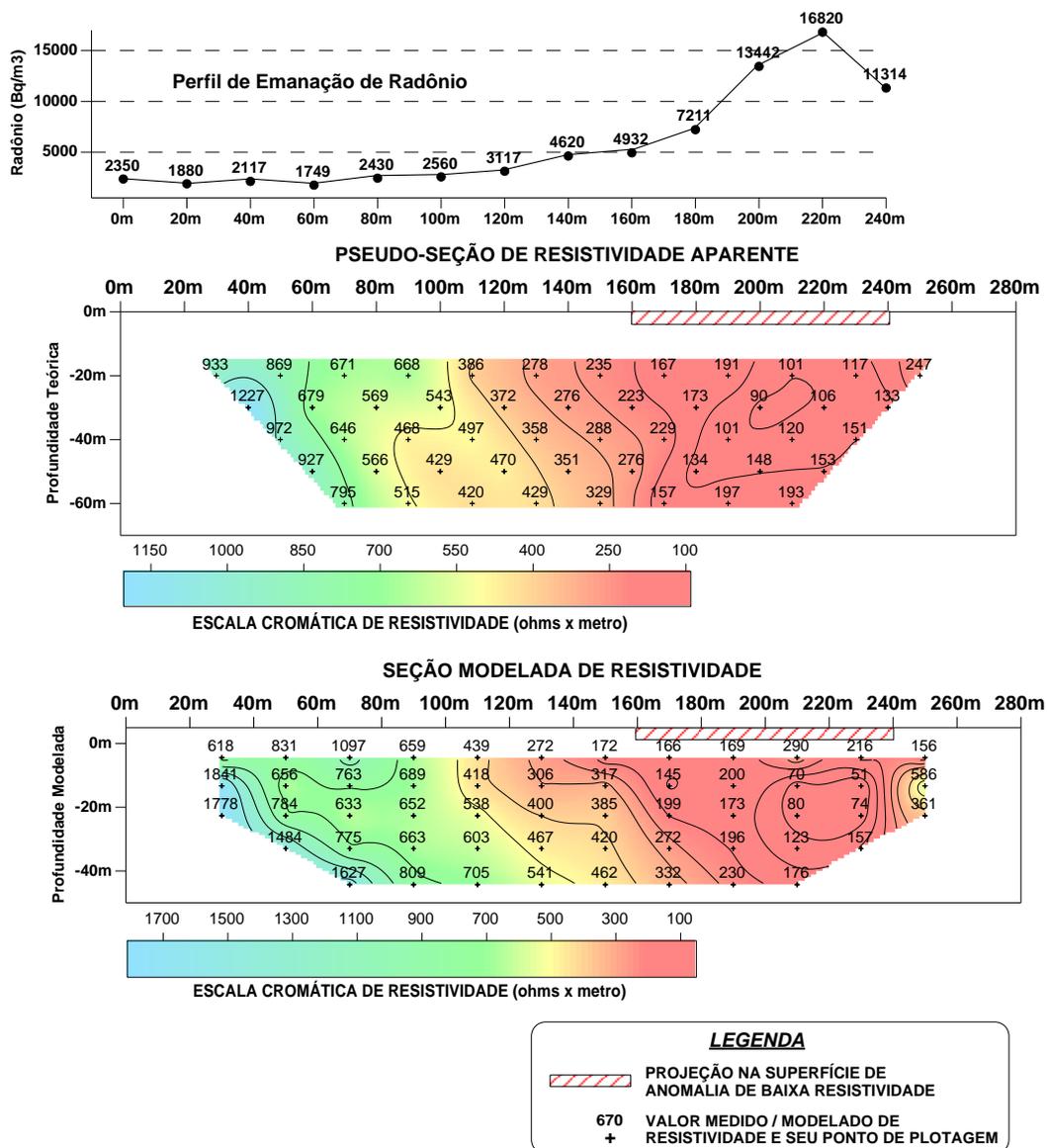
Figura 6 – Perfil de concentração de radônio nos gases dos solos, pseudo-seção e seção modelada de resistividade da Área 2

Figure 6 – Radon profile, pseudo-section and modeled resistivity section of Area 2



**Figura 7** – Perfil de concentração de radônio nos gases dos solos, pseudo-seção e seção modelada de resistividade da Área 3

**Figure 7** – Radon profile, pseudo-section and modeled resistivity section of Area 3



**Figura 8** – Perfil de concentração de radônio nos gases dos solos, pseudo-seção e seção modelada de resistividade da Área 4

**Figure 8** – Radon profile, pseudo-section and modeled resistivity section of Area 4

## 6 CONCLUSÕES

A concentração de radônio nos solos mostrou-se como ferramenta eficaz de prospecção indireta de aquíferos fraturados, principalmente quando em associação com a eletroresistividade.

Os dois métodos são eficazes na detecção de fraturas em subsuperfície. Contrariamente aos aquíferos sedimentares, porosos e permeáveis, os aquíferos cristalinos

só poderão abrigar água em zonas fraturadas.

Estas fraturas, via de regra, irão comportar-se como zonas de resistividade mais baixa e também como locais em que o gás Rn irá permear com maior facilidade sendo que estas regiões poderão ser detectadas na superfície de forma anômala às vizinhanças. Desta forma, estes métodos irão indicar a presença das zonas fraturadas, que são mais propícias à acumulação de água.

Particularmente, a concentração de ra-

dônio está sujeita a interferências, como variações de porosidade, permeabilidade e umidade do solo. Também devem ser considerados como “ruídos” as oscilações de pressão atmosférica, umidade e temperatura tanto do ar como do solo.

Assim, em terrenos cristalinos, os principais fatores que favorecem o escape do Rn para a superfície são as poucas espessuras e as permeabilidades elevadas do solo de alteração bem como a presença de fraturas na rocha subsuperficial.

Sintetizando, locais com concentrações anômalas de Rn em solos e zonas com baixa eletrorresistividade em áreas cristalinas são indicativas de zonas fraturadas que são mais favoráveis à prospecção de água em subsuperfície.

## REFERÊNCIAS

- APPLETON, J.D. Radon in air and water. In: SELINUS, O. & SMEDLEY, P. (Eds). **Essentials of medical geology: impacts of the natural environment on public health**. Londres, British Geological Survey. NERC, p. 227 – 262, 2005.
- DUARTE, C.R. **Radioelementos naturais na área do projeto Rio Preto (GO)**. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade de São Paulo, Rio Claro, 2002. 169p.
- GALLAS, J. D. F., & GIARDIN, A. Eletrorresistividade na prospecção de aquíferos fraturados. **Águas Subterrâneas**, v. 30, n. 1, p. 119-138, 2016.
- GUNDERSEN, L.C.S. **Radon in sheared metamorphic and igneous rock**. In field studies of radon in rocks, soil and water. U.S Geological Survey Bulletin, 10p, 39-49, 1995.
- İNCEÖZ, M., BAYKARA, O., AKSOY, E., & DOĞRU, M. Measurements of soil gas radon in active fault systems: a case study along the North and East Anatolian fault systems in Turkey. **Radiation Measurements**, 41p, 349-353, 2006.
- IOANNIDES, K., PAPACHRISTODOULOU, C., STAMOULIS, K., KARAMANIS, D., PAVLIDES, S., CHATZIPETROS, A., & KARAKALA, E. Soil gas radon: a tool for exploring active fault zones. **Applied Radiation and Isotopes**, v. 59, n. 2, p. 205-213, 2003.
- LOKE, M.H. & BARKER; R.D. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by aquasi-Newton method. **Geophysical Prospecting**, 44, p. 131-152, 1996.
- PEREIRA, C.M.A.. **Mapeamento de aquíferos fraturados empregando métodos geoeletricos e emanção natural de radônio**. Dissertação (Mestrado), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.72p.
- PHILIPP, R.P., MACHADO, R., NARDI, L.V.S. & LAFON, J.M.. O magmatismo granítico neoproterozóico do Batólito Pelotas no sul do Brasil: Novos dados e Revisão da geocronologia regional. **Revista Brasileira de Geociências**, 32p, 277 – 290, 2002.
- PHILIPP, R. P. **Geologia de Porto Alegre**. Diagnóstico ambiental de Porto Alegre: geologia, solos, drenagem, vegetação/ocupação e paisagem. Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 2008.
- RAMAGE, L., ROISENBERG, A., VIERO, A.P.. Caracterização hidrogeoquímica do Sistema Aquífero Granular Cenozóico de Porto Alegre RS. **Revista Latino-Americana de Hidrogeologia**, v. 5, p. 1-9, 2005.
- REBELO, A. M. A., BITTENCOURT, A. V. L., MANTOVANI, L. E. Modelos de exalação de radônio em paisagens tropicais úmidas sobre granitos. **Boletim Paranaense de Geologia**, n. 52, p. 61-76, 2003.
- REIMER, G. M. Simple Techniques For Soil-Gas and Water Sampling For Radon Analysis. In Field Studies of Radon in Rocks, Soil, and Water. U.S. **Geological Survey Bulletin**, 19-22 p, 1995.
- ROISENBERG, C., **Hidroquímica do Sistema Aquífero Fraturado Pré Cambriano e qualidade das águas subterrâneas do Município de Porto**

**Alegre, RS.** Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências. UFRGS, 2001. 174 p.

SIGRID, A. B.; OWEN, D. E.; SCHUMANN, R. R. A Preliminary Evaluation of Environmental Factors Influencing Day-to-Day and Seasonal Soil-Gas Radon Concentrations. In: **Field Studies of Radon in Rocks, Soil, and Water.** U.S. Geological Survey Bulletin, 1991. 23-31 p.

TOMAZELLI, L.J., VILLWOCK, J.A., LOSSE, E.L. Aspectos de geomorfologia costeira de região de Osório-Tramandaí, Rio Grande do Sul. In: **Iº Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário.** Publicação Especial nº 2. Porto Alegre, 1987. 21p.