

## MEDIDAS DOS NÍVEIS DE RADÔNIO EM DIFERENTES TIPOS DE AMBIENTES INTERNOS NA REGIÃO DA BAIXADA SANTISTA, SP\*

Luiz Paulo Geraldo<sup>1</sup>, Wladimir dos Santos<sup>2</sup>, Adilson Lima Marques<sup>3</sup>, Alexandre Botari<sup>4</sup>

**Resumo** **OBJETIVO:** Exposições a altos níveis do gás radioativo radônio podem causar câncer de pulmão e, conseqüentemente, o conhecimento da concentração deste gás em ambientes internos é importante, do ponto de vista de proteção radiológica, para a população de um modo geral. Neste trabalho realizaram-se monitorações passiva e integrada de radônio em alguns tipos de ambientes fechados na região da Baixada Santista, SP, tais como túneis, galpão de fertilizantes, "shopping center", lojas de cerâmica e residências, com o objetivo de se avaliar os níveis de concentração existentes nestes locais. **MATERIAIS E MÉTODOS:** As medidas de concentração de radônio foram realizadas utilizando a técnica do registro de traços de partículas alfa em folhas plásticas de Makrofol E, na geometria de copo fechado ("cup method"). **RESULTADOS:** Os teores de radônio encontrados nos ambientes internos estudados neste trabalho variaram entre 17 e 263 Bq/m<sup>3</sup>, em razoável acordo com os valores divulgados na literatura por outros autores para ambientes similares. **CONCLUSÃO:** De modo geral, os resultados obtidos estão abaixo dos limites máximos recomendados pela Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP), não necessitando, portanto, que sejam implementadas ações de intervenção nos locais estudados.

*Unitermos:* Radônio; Urânio; Meio ambiente; Detectores de traços nucleares.

**Abstract** *Measurements of radon levels in different indoor environments in Baixada Santista, São Paulo, Brazil.*

**OBJECTIVE:** Exposure to high levels of radioactive radon gas can cause lung cancer, therefore, it is important to measure the concentration levels of this gas in indoor environments in order to provide radiological protection for the general population. In this study, passive and time-integrated radon monitoring was performed in different types of indoor environments in Baixada Santista, São Paulo, Brazil including tunnels, fertilizer shops, shopping malls, ceramics shops and houses to evaluate the actual radon levels in these locations. **MATERIALS AND METHODS:** Radon concentration measurements were performed using the alpha particle track registration technique in plastic foils of Makrofol E, employing the closed cup method. **RESULTS:** Concentration levels of radon measured in the indoor environments studied ranged from 17 to 263 Bq/m<sup>3</sup>, which is in accordance with the values reported in the literature by other authors for similar environments. **CONCLUSION:** In general, the results obtained were below the maximum limits recommended by the International Commission on Radiological Protection (ICRP) and thus, intervention actions for these locations were not necessary.

*Key words:* Radon; Uranium; Environment; Nuclear track detectors.

### INTRODUÇÃO

Atualmente estima-se que uma dose média anual em torno de 2,4 mSv é recebida pela população humana em virtude das exposições às fontes radioativas naturais<sup>(1)</sup>. O isótopo <sup>222</sup>Rn é um gás nobre ra-

dioativo e responsável por aproximadamente metade desta dose de radiação de ocorrência natural. É formado pelo decaimento radioativo do <sup>226</sup>Ra, um descendente do urânio (<sup>238</sup>U), o qual é encontrado em quantidades variadas em solos, rochas e águas<sup>(2,3)</sup>. O <sup>222</sup>Rn se desintegra por emissão de partícula alfa ( $T_{1/2} = 3,82$  dias), originando uma cadeia de decaimento conhecida como filhos ou descendentes do radônio.

Por ser um gás, o radônio produzido no interior de rochas e solos difunde-se com facilidade através de fissuras, tubulações, buracos e lençóis freáticos até alcançar a superfície terrestre<sup>(4)</sup>. Dessa forma, altas concentrações de <sup>222</sup>Rn podem ocorrer em ambientes fechados ou pouco ventilados e, assim, representar risco potencial à saúde

da população que frequenta ou vive nesses locais. Estima-se que cerca de 19.000 mortes por ano nos Estados Unidos esteja associadas à exposição ao gás radônio dentro de residências<sup>(5)</sup>. Avaliações dos efeitos sobre a saúde, ocasionados pela exposição ao radônio, foram, em sua grande maioria, baseados em estudos epidemiológicos de populações humanas. Tais estudos têm evidenciado a existência de forte correlação entre exposição ao radônio e aumento da incidência de câncer de pulmão, de forma que, atualmente, o radônio já é classificado como um carcinógeno de classe I pela Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC)<sup>(6)</sup>.

O objetivo principal deste trabalho foi realizar a monitoração passiva e integrada desse gás em alguns locais relativamente

\* Trabalho realizado no Instituto de Pesquisas Científicas da Universidade Católica de Santos (Ipeci/Unisantos), Santos, SP

1. Doutor em Tecnologia Nuclear pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – Universidade de São Paulo (Ipen-USP), Professor do Programa de Mestrado em Saúde Coletiva da Unisantos.

2. Mestrando em Saúde Coletiva pela Unisantos.

3. Mestrando em Saúde Coletiva e Professor de Graduação da Unisantos.

4. Doutorando em Hidráulica e Saneamento pela USP.

Endereço para correspondência: Luiz Paulo Geraldo, Instituto de Pesquisas Científicas – Universidade Católica de Santos (Ipeci/Unisantos), Rua Doutor Carvalho de Mendonça, 144, Santos, SP, 11070-906. E-mail: lgerald@unisantos.br

Recebido para publicação em 28/10/2004. Aceito, após revisão, em 15/12/2004.

fechados da Baixada Santista, SP, como túneis, galpão de fertilizantes, “shopping center”, lojas de cerâmica e residências, utilizando a técnica do registro de traços nucleares (SSNTD), a fim de avaliar se os níveis de concentrações encontrados estão acima do limite máximo recomendado internacionalmente, para que ações de intervenção sejam justificadas.

## MATERIAIS E METODOS

No presente trabalho utilizou-se, para a monitoração passiva e integrada do gás radioativo radônio, a técnica do registro de traços de partículas alfa em folhas plásticas de Makrofol E (200 mm de espessura) na geometria de copo fechado (“cup method”)<sup>(7)</sup>. Em resumo, um pedaço deste plástico, com área aproximada de 9 cm<sup>2</sup>, foi fixado no fundo de um frasco de polietileno (292,3 ± 0,7 ml), contendo em sua tampa uma perfuração coberta por filtro de papel (Whatman cat. n<sup>o</sup> 1001042) para captação do gás radônio a ser monitorado, conforme é esquematizado na Figura 1. O <sup>222</sup>Rn, dentro desse dispositivo de detecção, decai por emissão de partícula alfa, com meia-vida de 3,82 dias, e esta partícula, ao incidir sobre a folha de Makrofol E, fica registrada na forma de traço ou furo.

Vários desses dispositivos detectores foram expostos ao radônio, dentro dos locais estudados, por um período de tempo em torno de 90 dias, geralmente em épocas diferentes do ano. Neste estudo foram avaliados dez túneis da Rodovia dos Imigrantes, dois túneis reservatórios da Sabesp nos municípios de Santos e São Vicente, um galpão de armazenamento de fertilizantes da Fertimix em Santos, um “shopping center” (Praia Mar) em Santos, três lojas do município de Santos que comercializam produtos de cerâmica e oito residências dos municípios de Guarujá, Santos, São Vicente, Praia Grande, Itanhaém e Peruíbe, localizadas a uma distância maior que 200 m da praia. Os dispositivos detectores foram posicionados, com o auxílio de presilhas, em tubulações elétricas ou sobre móveis existentes nos locais, a uma altura superior a 2 m e sempre com a abertura de entrada para o gás oposta à parede ou a outros obstáculos que eventualmente pudessem interferir na difusão do radônio para o interior do volume de detecção.

As folhas plásticas irradiadas com as partículas alfa provenientes do decaimento radioativo do radônio e seus descendentes foram, em seguida, reveladas em solução química apropriada PEW, 15% hidró-

xido de potássio, 45% água e 40% álcool etílico (porcentagens em peso), a 70°C por 120 minutos, para ampliação dos traços ocasionados por aquelas partículas, permitindo, assim, a visualização desses traços em um microscópio óptico comum<sup>(4)</sup>. A determinação do número de traços por unidade de área da folha de Makrofol E possibilita o cálculo da concentração de radônio no ambiente em estudo, após o conhecimento da função resposta ou eficiência do dispositivo de detecção.

A contagem dos traços nos filmes plásticos foi realizada em um aumento total de 620×, empregando microscópio óptico comum acoplado a um sistema composto por uma câmara de vídeo e um microcomputador do tipo PC, enquanto a função resposta ou eficiência do dispositivo de detecção foi determinada utilizando-se uma câmara de radônio calibrada Pylon modelo RN-150-3, pertencente à Divisão de Meio Ambiente do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – Comissão Nacional de Energia Nuclear (Ipen-CNEN/SP).

Para a determinação da eficiência empregou-se um exemplar do dispositivo detector estanque para gases, ou seja, sem a perfuração com o papel filtro, vedado na interface tampa-frasco com cola araldite e adaptado com conector especial (de apenas um caminho de percurso) para acoplamento na câmara de radônio Pylon. Esta câmara contém, em sua base, uma fonte de <sup>226</sup>Ra ( $T_{1/2} = 1.600$  anos e  $A = 3,03 \times 10^3$  Bq) e todo o gás radônio produzido por esta fonte fica armazenado no mesmo compartimento. Um sistema apropriado de válvulas permite, de forma controlada, a liberação de uma quantidade de gás <sup>222</sup>Rn em equilíbrio correspondente a uma atividade de 2,48 (± 4%) Bq ao dispositivo detector, em cada processo de calibração. O dispositivo detector é então retirado da câmara e o decaimento do radônio armazenado em seu interior é monitorado pelo filme plástico Makrofol E, por um período de tempo em torno de uma semana. Relacionando a densidade de traços obtida na folha plástica Makrofol E com a diferença entre os números de núcleos de radônio existentes no início e no final do monitoramento, pode-se determinar a função resposta ou eficiência do dispositivo de detecção.

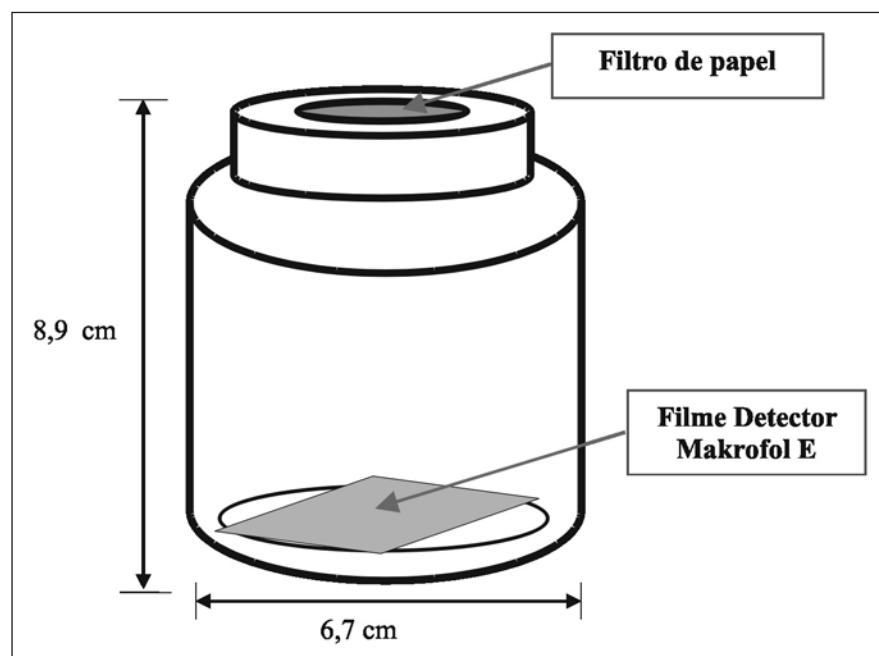


Figura 1. Esquema do dispositivo utilizado para a detecção do gás radioativo radônio em diferentes tipos de ambientes internos da Baixada Santista.

Neste trabalho foram realizadas quatro exposições do dispositivo detector na câmara de calibração e o valor final obtido pela média dos resultados foi de  $(0,158 \pm 0,007)$  traços.cm<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup> por Bq.m<sup>-3</sup>.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com exceção das lojas e residências, onde se empregou apenas um dispositivo detector, nos outros locais foram realizadas várias medidas em pontos diferentes, visando à identificação de possíveis anomalias de ocorrência do radônio e a se obter um valor mais representativo para a distribuição do teor deste gás radioativo naqueles ambientes. Na Tabela 1 são apresentados os valores médios dos resultados obtidos para as concentrações de radônio nos locais estudados da Baixada Santista. Foi adotado neste trabalho, como unidade para concentração de radônio, 1 Bq.m<sup>-3</sup>, conforme é recomendado pelo sistema de unidade internacional SI. As incertezas totais para os dados experimentais foram obtidas pela soma em quadratura<sup>(4)</sup>, levando em consideração as seguintes fontes de erros parciais: erro estatístico nas contagens dos traços (1,9% a 38%), erros sistemáticos provenientes do desconto da radiação de fundo (7,4%), calibração do detector (4,7%) e reprodutibilidade de leitura dos traços (1,2%). A Tabela 2 mostra que os presentes resultados estão em razoável acordo com valores referidos na literatura por outros autores, para ambientes internos similares aos estudados neste trabalho.

De acordo com a Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP)<sup>(8)</sup>, no que se refere à avaliação dos níveis de radônio ambiental, dois tipos de ambientes devem ser distinguidos: os residenciais e os locais de trabalho. No caso residencial, considera-se um tempo de ocupação ou permanência para a população em torno de 7.000 horas/ano e o nível recomendado para intervenção seria entre 200 Bq/m<sup>3</sup> e 600 Bq/m<sup>3</sup> para a concentração média anual de radônio ou, em termos de dose anual efetiva de radiação, entre 3 mSv/ano e 10 mSv/ano. Para os locais de trabalho, admite-se um tempo de ocupação aproximado de 2.000 horas/ano e o nível recomendado para intervenção neste caso seria entre 500 Bq/m<sup>3</sup> e 1.500 Bq/m<sup>3</sup>, que

**Tabela 1** Valores médios das concentrações de radônio determinadas neste trabalho para diferentes tipos de ambientes fechados da Baixada Santista.

Local de estudo	Concentração de radônio(Bq/m <sup>3</sup> )
Rodovia dos Imigrantes*	
Túnel (extensão)	
T 01 (250 m)	197 ± 60
T 04 (300 m)	236 ± 28
T 05 (400 m)	263 ± 15
T 06 (150 m)	105 ± 09
T 07 (300 m)	107 ± 21
T 09 (450 m)	156 ± 37
T 10-11 (1.200 m)	182 ± 70
T 12 (350 m)	156 ± 32
T 13 (500 m)	206 ± 50
T 14 (150 m)	122 ± 25
Túnel Reservatório Sabesp – Santos	120 ± 17
Túnel Reservatório Sabesp – São Vicente	122 ± 12
Galpão de fertilizantes Fertimix – Santos	63 ± 8
“Shopping center” Praia Mar – Santos	98 ± 11
Lojas de cerâmica e gesso – Santos	63 ± 44
Residências – Baixada Santista	124 ± 37

\* Interligação São Paulo–Santos (municípios de Cubatão e São Vicente).

**Tabela 2** Comparação dos valores de concentrações de radônio divulgados na literatura com os obtidos neste trabalho.

Local de estudo	País	Níveis de radônio (Bq/m <sup>3</sup> )	Referências
Caverna de Nerja	Espanha	48 a 168	Dueñas <i>et al.</i> <sup>(9)</sup>
Metrô – Caracas	Venezuela	Valor médio: 30	Liendo <i>et al.</i> <sup>(10)</sup>
Metrô – Helsinki	Finlândia	50 a 460	Annamäki e Oksanen <sup>(11)</sup>
Túneis	Brasil	105 a 263	Este trabalho
Residências	Vários países	14 a 81	Srivastava <i>et al.</i> <sup>(12)</sup>
Residências	América Latina	14,3 a 135	Canoba <i>et al.</i> <sup>(13)</sup>
Residências	Croácia	22,7 a 185,6	Planinic <i>et al.</i> <sup>(14)</sup>
Residências	Brasil	< 5 a 200	Magalhães <i>et al.</i> <sup>(1)</sup>
Residências	Brasil	56 a 168	Este trabalho

corresponderia, também, a um intervalo de dose anual efetiva entre 3 mSv/ano e 10 mSv/ano, respectivamente. É importante ressaltar que caso uma intervenção seja necessária para um determinado ambiente, a ação a ser executada neste local tem que produzir uma redução acentuada na concentração de radônio e não apenas o suficiente para atingir um nível de exposição abaixo do limite inferior do intervalo recomendado.

Com exceção das residências, para todos os outros locais estudados neste trabalho pode-se admitir um tempo de ocupação para a população em torno de 2.000 horas/ano. Dessa forma, as concentrações

médias de radônio determinadas para estes ambientes fechados na região da Baixada Santista estão abaixo do limite inferior do intervalo recomendado pela ICRP, não sendo necessária, portanto, a implementação de ações para diminuição dos níveis de radônio.

Apesar deste trabalho indicar valores de concentração de radônio abaixo do limite máximo recomendado internacionalmente, seria importante que avaliações periódicas destes níveis de radônio fossem realizadas nos mesmos locais, para verificar seu comportamento em função das variações climáticas típicas das quatro estações do ano.

REFERÊNCIAS

1. Magalhães MH, Amaral ECS, Sachett I, Rochedo ERR. Radon-222 in Brazil: an outline of indoor and outdoor measurements. *J Environ Radioact* 2003;67:131–43.
2. Yamazaki IM, Geraldo LP. Uranium content in phosphate fertilizers commercially produced in Brazil. *Appl Radiat Isot* 2003;59:133–6.
3. Camargo IMC, Mazzili B. Estimativa de risco devido à ingestão de isótopos de urânio em fontes de águas minerais. *Rev Saúde Pública* 1998;32:317–20.
4. Marques AL, Santos W, Geraldo LP. Direct measurements of radon activity in water from various natural sources using nuclear track detectors. *Appl Radiat Isot* 2004;60:801–4.
5. Hopke PK, Borak TB, Doull J, *et al.* Health risks due to radon in drinking water. *Environ Sci Technol* 2000;34:921–6.
6. Parker L, Craft AW. Radon and childhood cancers. *Eur J Cancer* 1996;32A:201–4.
7. Nikolaev VA, Iliã R. Etched track radiometers in radon measurements: a review. *Radiat Meas* 1999;30:1–13.
8. International Commission on Radiological Protection. Protection against radon-222 at home and work. ICRP publication 65, *Annals of ICRP* 23, New York, 1993.
9. Dueñas C, Fernández MC, Cañete S, Carretero J, Liger E.  $^{222}\text{Rn}$  concentrations, natural flow rate and the radiation exposure levels in the Nerja Cave. *Atmospheric Environment* 1999;33:501–10.
10. Liendo J, Sajó-Bohus L, Pálfalvi J, Greaves ED, Gomez N. Radon monitoring for health studies in the Caracas subway using SSNT detectors. *Radiat Meas* 1997;28:729–32.
11. Annanmäki M, Oksanen E. Radon in the Helsinki metro. *Radiat Prot Dosimetry* 1992;45:179–81.
12. Srivastava A, Lalramengzami R, Laldawngliana C, *et al.* Measurement of potential alpha energy exposure (PAEE) of radon and its progenies in dwellings in the north-eastern region of India. *Radiat Meas* 1996;26:291–5.
13. Canoba A, Lopez FO, Arnaud MI, *et al.* Indoor radon measurements and methodologies in Latin American countries. *Radiat Meas* 2001;34:483–6.
14. Planinic J, Faj Z, Radolic V, Smit G, Faj D. Indoor radon dose assessment for Osijek. *J Environ Radioact* 1999;44:97–106.