

Avaliação da técnica de medição do radônio utilizando detector passivo com carvão ativado

Paulo Roberto Rocha Ferreira (M.Sc.)¹, Edmilson de Lima Lessa², Evaldo Paulo de Oliveira³

¹Divisão de Radioproteção Ambiental e Ocupacional IRD/CNEN, ²Aluno do Lato Sensu 2013 IRD/CNEN/IAEA, ³Aluno Lato Sensu 2013, IRD/CNEN/IAEA e Mestrando 2014/2015, IRD/CNEN.

epoliveira@aluno.ird.gov.br

Resumo: Este trabalho visa avaliar a eficiência da medição do gás radioativo Radônio (^{222}Rn) com detector passivo de carvão ativado. Para tal, foram utilizados vários equipamentos para compor o sistema de medição como: Alpha Guard, câmara de exposição, amostrador de ar, fonte padrão de Rádio, calibrador de fluxo, ajustador de fluxo, dutos condutores. Foi utilizada uma montagem, desses equipamentos, com sequência específica permitindo uma exposição mais eficiente dos detectores passivos ao gás Radônio. Foram confeccionadas vinte amostras que foram aquecidas para retirada de umidade e, em seguida, armazenadas em dessecador até a realização do experimento. A exposição foi realizada sendo retirados os dosímetros passivos da câmara, e uma hora após, submetidos à análise por espectrometria gama no germânio (HPGe) por uma hora. Posteriormente, foram feitas outras medições, em horários programados e sequenciais, durante uma hora. Os resultados foram apresentados em forma de relatório e em espectros, também foram extraídas as medidas e gráficos gerados pelo Alpha Guard. Finalmente calculou-se a eficiência do medidor passivo de carvão ativado.

Palavras-chave: Radônio, gás radioativo, detector passivo, carvão ativado, gás inerte.

Abstract: This study aims to evaluate the efficiency of measuring the radioactive gas Radon (^{222}Rn) with passive detector activated carbon. Alpha Guard, exposure chamber, air sampler, default font Radio, calibrator flow, flow adjuster, ducts drivers: For this, various equipment to make the measurement system as were used. An assembly of such equipment, with specific sequence was used allowing for more efficient exposure of passive detectors Radon gas. Twenty samples were heated to remove moisture and then stored in desiccator until the experiment were made. The exhibition was held passive dosimeters being removed from the chamber, and one hour after, subjected to analysis by gamma spectrometry in germanium (HPGe) for an hour. Subsequently, other measurements were made at scheduled times and sequential for one hour. The results were presented in report form and spectra, measures and graphs generated by Alpha Guard were also extracted. Finally we calculated the efficiency of the passive meter activated carbon.

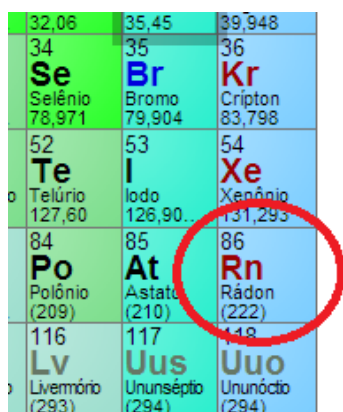
Keywords: Radon, radioactive gas, passive detector, activated carbon, inert gas.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, novas técnicas para medir o gás radioativo Radônio têm tido demanda crescente, sobretudo para operações em ambientes restritos, de convívio humano, minerações ou em áreas de beneficiamento de minérios com associação tório-uranífera, onde a dose pode ter ordens de grandeza acima da média. Portanto, faz-se necessário avaliar a eficiência de um método de detecção do Radônio, como o medidor passivo com carvão ativado devido à facilidade de uso e baixo custo operacional.

O Radônio (^{222}Rn) é um elemento químico encontrado naturalmente em forma de gás nobre; O ^{222}Rn é originado durante o processo de decaimento radioativo do Rádio (^{226}Ra), sendo este, por sua vez, oriundo da cadeia de decaimento do Urânio (^{238}U). Sua ocorrência é mais elevada em regiões em que a concentração dos elementos de série principal seja abundante.

O gás Radônio possui sua localização na tabela periódica junto à coluna dos gases nobres. É o último deles.



32,06 34 Se Selênio 78,971	35,45 35 Br Bromo 79,904	89,948 36 Kr Cripton 83,798
52 Te Telúrio 127,60	53 I Iodo 126,90	54 Xe Xenônio 131,29
84 Po Polônio (209)	85 At Astatina (210)	86 Rn Radon (222)
116 Lv Livermório (293)	117 Uus Ununséptio (294)	118 Uuo Ununóctio (294)

Figura 01 - New Guide ABC of Basic Titration by METTLER TOLEDO. <http://www.ptable.com/>. Com modificações.

Seus pontos de fusão e de ebulição são muito baixos comparando com outros compostos de massa molar similar. Apresenta ser pouco solúvel em água, porém é o mais

solúvel dentre todos os gases nobres. O ^{222}Rn tem as seguintes propriedades Físico-químicas:

Nome do elemento = Radônio

Símbolo químico = Rn

Número Atômico (Z) = 86

Massa Molar (M) = 222,02 g/mol

Estado Físico = (25 °C) gasoso

Temperatura de Fusão = - 71 °C

Temperatura de Ebulição = - 62 °C

Densidade = 9,73 g/L (1 atm e 0 °C).

Meia Vida = 3,823 dias

Segundo Afonso (2009), estima-se que a abundância do Radônio na atmosfera da Terra, em uma parte por 10^{21} (uma parte por sextilhão). Muitas águas minerais e termais contêm Radônio e, as águas subterrâneas contêm mais Radônio do que as superficiais, devido à reposição constante, principalmente pelo decaimento do rádio. O Radônio aparece também em alguns petróleos, concentrando-se especialmente nas linhas de produção do propano (pontos de ebulição próximos). Segundo a Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP, 1993), conforme a figura 5, aproximadamente 55% da radiação incidente sobre o ser humano provém do Radônio e de seus produtos de decaimento, mas a concentração desse gás no ar varia muito de lugar para lugar devido à variabilidade da composição do solo e das rochas.

A grande preocupação com o ^{222}Rn se deve à inalação desse gás radioativo. As partículas alfas provenientes do gás têm características específicas, como, pouco poder de penetração. Porém tais partículas possuem um grande poder de ionização, sendo os pulmões a principal região afetada, onde, além de liberar toda sua energia contida durante o período de desintegração provoca lesões cuja gravidade

varia conforme a quantidade inalada do gás Radônio.

Por causa do tamanho das partículas, esses produtos são facilmente inalados e podem aderir ao tecido dos pulmões. Esses produtos são constituídos de diferentes isótopos de Polônio (Po), Chumbo (Pb) e Bismuto (Bi). Diferentemente do Radônio, que é um gás, os seus descendentes radioativos são sólidos. Essas partículas, que permanecem suspensas no ar, são extremamente pequenas a ponto de não serem vistas. Depois de formadas decaem relativamente rápido. Uma vez inaladas, decairão no interior dos pulmões. (LARANA – UFRN, 2010).

Consequentemente, o gás Radônio, e os seus produtos de decaimento radioativo, representam um grande risco à saúde da população.

Os possíveis danos causados à saúde são devido à inalação dos filhos do Radônio que agregam-se a aerossóis em suspensão no ar e, posteriormente, depositam-se no aparelho respiratório e ao decaírem expõem os tecidos à radiação alfa, possibilitando o desenvolvimento de células cancerígenas (câncer de pulmão). (Khan, 1992).

Segundo a Agência Norte-Americana de Proteção ao Meio Ambiente (US EPA), calcula-se que o Radônio é a segunda causa de morte de câncer pulmonar nos Estados Unidos (21 mil mortes/ano), perdendo apenas para o cigarro. Esse gás é agente cancerígeno classe I (substância cujo efeito carcinogênico para o homem foi demonstrado através de estudos epidemiológicos de causa-efeito), segundo a Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC, 2001).

De acordo com o BSS/IAEA (2011), a autoridade reguladora deve estabelecer uma estratégia para a proteção contra a exposição ao ^{222}Rn em ambientes de trabalho, incluindo o estabelecimento de um nível de referência apropriado para o ^{222}Rn . Ainda, o nível de referência para ^{222}Rn deve ser fixado em um

valor que não exceda uma concentração de atividade média anual de 1000 Bq/m^3 .

No Brasil, as pesquisas envolvendo o ^{222}Rn são de certa forma muito recentes, mas bastante numerosas: Afonso (2009) pesquisou as concentrações desse elemento radioativo em águas subterrâneas; em cavernas do parque do Alto Ribeira (São Paulo); em materiais de construção comercializados no Paraná; em pedras ornamentais para exportação e no complexo lagunar da Região dos Lagos (Rio de Janeiro), entre outras.

A Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) e o Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD) vêm elaborando metodologias de coleta e análise do Radônio, que são aplicadas em diversas áreas como na mineração de jazidas brasileiras de urânio. O Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN/CNEN) estima que a concentração de Radônio na atmosfera no Brasil varie entre 0,6 e 28 Bq/m^3 . Não existe uma legislação específica para o Radônio, mas o Ministério da Saúde recomenda um valor limite de radiação alfa de $0,1 \text{ Bq/m}^3$ (incluindo, o isótopo ^{226}Ra , precursor do ^{222}Rn) e 1 Bq/m^3 para a radiação beta. (Afonso, 2009)

2. DESENVOLVIMENTO

As análises referentes a este estudo foram realizadas no laboratório de radônio da Divisão de Radioproteção Ambiental e Ocupacional (DIRAD) do Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD) no período de julho a setembro de 2013.

Para atingir o objetivo deste trabalho, foi feita a exposição, à uma fonte padrão de Rádio (^{226}Ra), dos detectores passivos de carvão ativado.



Figura 02 – Foto dos detectores passivos de carvão ativado acondicionados em recipientes cilíndricos de alumínio.

Os detectores de carvão ativado foram colocados individualmente dentro da câmara de exposição.

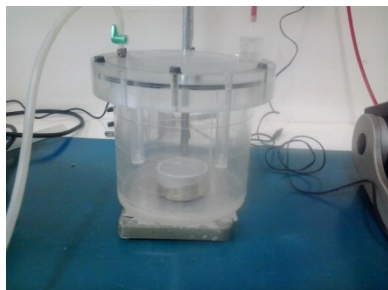


Figura 03 - Foto da câmara de Radônio onde os dosímetros passivos de carvão ativado ficaram expostos ao Rn para detecção de radiação alfa e gama (produzida pelos filhos do Radônio).

Após vários testes com todos os equipamentos, chegou-se a um arranjo mais eficiente na montagem, conforme apresentado na figura 04, desde a aspiração do

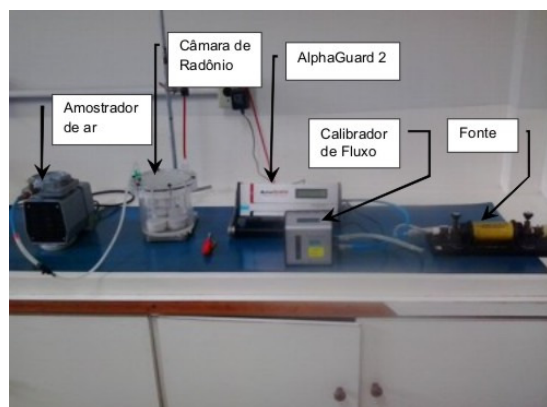


Figura 04 - Foto do experimento com os equipamentos montados em sequência lógica de amostragem.

ar através fonte de rádio (^{226}Ra) até a saída do gás pelo amostrador de ar, de modo a garantir a repetitividade do experimento. Este formato proporcionou, através da difusão do gás na câmara, a exposição dos medidores passivos de carvão ativado ao gás Radônio.

Os detectores passivos de carvão ativado foram submetidos ao gás Radônio durante períodos programados, de forma a permitir adsorção suficiente para produzir resultados representativos.

Os equipamentos utilizados foram calibrados de modo a garantir a rastreabilidade.

A exposição dos detectores selecionados foi feita durante três períodos distintos (24h, 48h e 72h). Como demonstrado nas tabelas a seguir.

Tabela 01 - Tabela de amostras com exposição de 24, 48 e 72 horas.

Amostra nº 02		
Exposição	Intervalo (h) de medição no Ge	Datas das medições
72h	1	23/set
72h	24	24/set
72h	48	25/set

Amostra nº 01		
Exposição	Intervalo (h) de medição no Ge	Datas das medições
24h	1	24/set
24h	24	25/set
24h	48	26/set

Amostra nº 03		
Exposição	Intervalo (h) de medição no Ge	Datas das medições
48h	1	26/set
48h	24	27/set

3. RESULTADOS

O background (Bg), de um dos detectores passivo de carvão ativado preparado para ser submetido ao Radônio na câmara de exposição, foi medido através do sistema de espectrometria gama utilizando o HPGe, apresentando o espectro conforme figura 05.

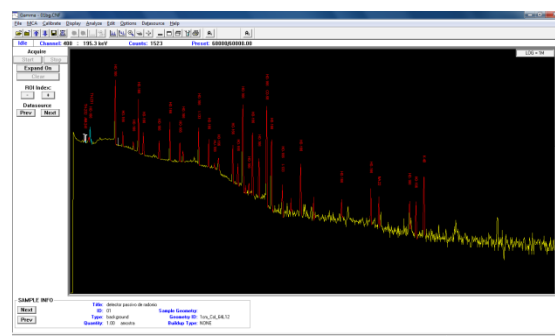


Figura 05 - Espectro gerado pela espectrometria gama, com HPGe, do *background* (Bg) de um medidor passivo de carvão ativado, depois de aquecida e mantida em dissecador. Não é observado nenhum radionuclídeo relacionados aos filhos do Radônio (^{222}Rn).

Em seguida é apresentado o *espectro* de um dos detectores passivos de carvão ativado, produzido pela medição por espectrometria gama, utilizando o HPGe, no canal 397 com energia de 198 keV, descontado o *background* (Bg), exposição por 24 h, medido por 1 h, após uma hora aguardando equilíbrio entre Radônio e filhos. Os radionuclídeos ^{214}Pb e ^{214}Bi estão destacados.

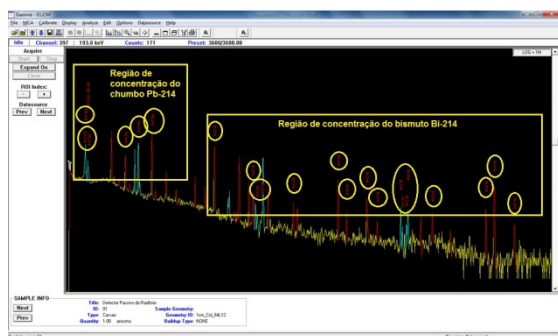


Figura 06 – Espectros gerados pela espectrometria gama com HPGe, descontado o *background* (Bg), da amostra nº 01 em exposição por 24 h, medido por 1 h, após uma hora aguardando equilíbrio entre Radônio e filhos. Os radionuclídeos ^{214}Pb e ^{214}Bi estão destacados.

Observa-se, através do espectro, figura 14, a presença do ^{214}Pb e do ^{214}Bi , filhos do Radônio, através dos picos apresentados, numa exposição de vinte e quatro horas com medição de uma hora.

Os resultados estão relacionados nas tabelas 02, 03 e 04.

Tabela 02 - Tabelas de exposições, atividades e tempo de contagem para 72 h.

Exposição	Bi-214 (Bq)	Tempo (h)	Data
72h	292,6	1	23/set
72h	203,3	24	24/set
72h	124,2	48	25/set
Exposição	Pb-214 (Bq)	Tempo (h)	Data
72h	307,8	1	23/set
72h	204,5	24	24/set
72h	129,0	48	25/set

Tabela 03 - Tabelas de exposições, atividades e tempo de contagem para 48 h.

Exposição	Bi-214 (Bq)	Tempo (h)	Data
48h	173,2	1	26/set
48h	128,0	24	27/set
Exposição	Pb-214 (Bq)	Tempo (h)	Data
48h	174,3	1	26/set
48h	135,1	24	27/set

Tabela 04 - Tabelas de exposições, atividades e tempo de contagem para 24 h.

Exposição	Bi-214 (Bq)	Tempo (h)	Data
24h	87,1	1	24/set
24h	69,0	24	25/set
24h	50,3	48	26/set
Exposição	Pb-214 (Bq)	Tempo (h)	Data
24h	85,4	1	24/set
24h	66,7	24	25/set
24h	50,9	48	26/set

A difusão do gás Radônio, nesta amostra, de 24h, foi baixa comparada com as amostras anteriores, indicando que um maior tempo de exposição do dosímetro passivo de carvão ativado ao gás melhora significativamente a concentração do mesmo.

O gráfico apresentado na figura 07 indica mais claramente esses resultados.

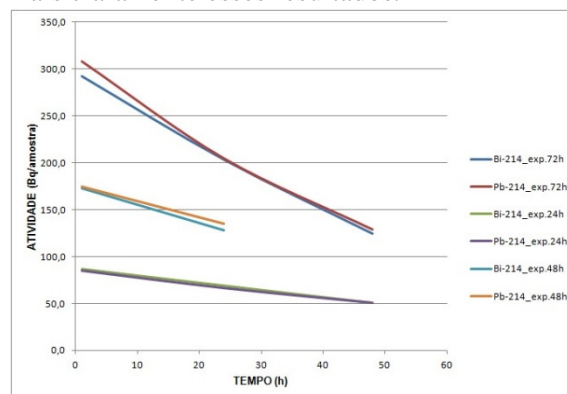


Figura 07 - Gráfico representativo das exposições de 24 h, 48 h e 72 h, do detector de carvão ativado ao gás Radônio.

O Alpha Guard forneceu dados das medidas feitas durante as exposições, para comparar com os valores obtidos na espectrometria.

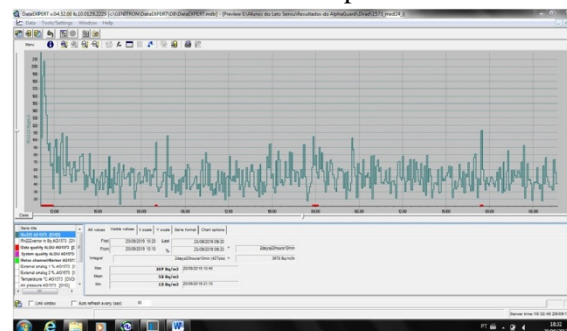


Figura 08 - Gráfico gerado pelo Alpha Guard para exposição de 72 h.

Com os dados fornecidos pelo Alpha Guard, utilizando a equação apresentada a seguir, podemos chegar à determinação da eficiência da técnica, apresentada nas tabelas 05, 06, 07, 08, 09 e 10.

A eficiência foi calculada determinando-se a razão das medições da espectrometria com as integralizações das medições do Alpha Guard.

$$Efic = \frac{\text{Medidas de Espectrometria Gama}}{\text{Integralização das medidas do Alpha Guard}} \times 100$$

Tabela 05 - Cálculo da eficiência para ^{214}Bi com exposição de 24 h.

Exposição	Bi-214 (Bq)	Tempo (h)	Data	u (incerteza)	Alpha Guard (Bq/m ³)	Eficiência	
24h	87,1	1	24/set	9,3	1140	0,0764	7,64%
24h	69,0	24	25/set	8,3	1140	0,0605	6,05%
24h	50,3	48	26/set	7,1	1140	0,0442	4,42%

Tabela 06 - Cálculo da eficiência para ^{214}Pb com exposição de 24 h.

Exposição	Pb-214 (Bq)	Tempo (h)	Data	u (incerteza)	Alpha Guard (Bq/m ³)	Eficiência	
24h	85,4	1	24/set	9,2	1140	0,0749	7,49%
24h	66,7	24	25/set	8,2	1140	0,0585	5,85%
24h	50,9	48	26/set	7,1	1140	0,0446	4,46%

Tabela 07 - Cálculo da eficiência para ^{214}Bi com exposição de 48 h.

Exposição	Bi-214 (Bq)	Tempo (h)	Data	u (incerteza)	Alpha Guard (Bq/m ³)	Eficiência	
48h	173,2	1	26/set	13,2	2304	0,0752	7,52%
48h	128,0	24	27/set	11,3	2304	0,0556	5,56%

Tabela 08 - Cálculo da eficiência para ^{214}Pb com exposição de 48 h.

Exposição	Pb-214 (Bq)	Tempo (h)	Data	u (incerteza)	Alpha Guard (Bq/m ³)	Eficiência	
48h	174,3	1	26/set	13,2	2304	0,0757	7,57%
48h	135,1	24	27/set	11,6	2304	0,0586	5,86%

Tabela 09 - Cálculo da eficiência para ^{214}Bi com exposição de 72 h.

Exposição	Bi-214 (Bq)	Tempo (h)	Data	u (incerteza)	Alpha Guard (Bq/m ³)	Eficiência	
72h	292,6	1	23/set	17,1	3678	0,0796	7,96%
72h	203,3	24	24/set	14,3	3678	0,0553	5,53%
72h	124,2	48	25/set	11,1	3678	0,0338	3,38%

Tabela 10 - Cálculo da eficiência para ^{214}Pb com exposição de 72 h.

Exposição	Pb-214 (Bq)	Tempo (h)	Data	u (incerteza)	Alpha Guard (Bq/m ³)	Eficiência	
72h	307,8	1	23/set	17,5	3678	0,0837	8,37%
72h	204,5	24	24/set	14,3	3678	0,0556	5,56%
72h	129,0	48	25/set	11,4	3678	0,0351	3,51%

4. CONCLUSÃO

A conclusão, com base nas informações apresentadas pelas medições com o Alpha Guard e por espectrometria gama com germânio (HPGe), mostra que as eficiências estão próximas, tanto para o ^{214}Bi quanto para o ^{214}Pb , mesmo para a amostra de quarenta e oito horas (tempo de exposição), que só apresentou duas medições na espectrometria.

A utilização de detector passivo com carvão ativado apresentou limitação pelo curto período de exposição ao gás Radônio, porém, a presença dos filhos indica que houve a concentração do elemento pai nos detectores passivos de carvão ativado.

5. REFERÊNCIAS

AFONSO, JULIO C. Elemento Químico Radônio. Química Nova na Escola, Vol. 32, nº 4, Novembro de 2009

ALBANO, GIZÉLIA. Radônio – um contaminante invisível presente no meio ambiente. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade regional de Blumenau – FURB. 2010

ALPHA GUARD:

<http://www.saphymo.com/radiation-measurement/environment-monitoring-systems/alphaguard/154.htm>

BSS/IAEA. Radiation protection and safety of radiation sources : international basic safety standards : general safety requirements. – Interim edition. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 2011.

COHEN, B. L.; COHEN, E. S. Theory and Practice of Radon Monitoring With Charcoal Adsorption. Helth Physics, Helth Physics Society, v.45, n.2, p.501-508, 1983.

DRAFT INTERNATIONAL STANDARD ISO/DIS 11665-1. Measurement of radioactivity in the environment — Air: radon-222 — Part 1: Origins of radon and its short-

lived decay products and associated measurement methods. 16-05-2012.

EPA. United States Environmental Protection Agency. Radon (Rn). Disponível em: <http://www.epa.gov/radon/>.

GEORGE, A. C.. Passive, Integrated Measurement of Indoor Radon Using Activated Carbon. Health Physics, Health Physics Society, v.46, n.4, p.867-872, 1984.

GEORGE, A. C.; WEBER, T. An Improved Passive Activated C Collector for Measuring Environmental Rn-222 in Indoor Air. Health Physics, Health Physics Society, v.58, n.5, p.583-589, 1990.

GERALDO, LUIZ P.; et al. Medidas dos níveis de radônio em diferentes tipos de ambientes internos na região da baixada santista. Radiol. Bras. vol.38 nº.4. São Paulo July/Aug. 2005

ICRP, 1993. Proteção contra Radônio-222 em casa e no trabalho. ICRP Publication 65. Ann. ICRP 23 (2).

Khan, A J.; Prasad, R. & Tyagi, R. K. (1992). Measurement of radon exhalation rate from some building materials. Nuclear Tracks Radiation Measurements. 20, 4, 609- 610.

LARANA – Laboratório de Radioatividade Natural do Rio Grande do Norte da UFRN. Consequências do gás radônio na saúde humana. Ed.1º - 01/2010.