

**Evaldo Paulo de Oliveira
Edmilson de Lima Lessa**

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

Monografia apresentada como exigência para obtenção do grau de Pós-Graduação em Radioproteção e Segurança de Fontes Radioativas do Instituto de Radioproteção e Dosimetria - IRD / International Atomic Energy Agency - IAEA.

Orientador: Prof. M.Sc. Paulo Roberto Rocha Ferreira

Rio de Janeiro – Brasil
Instituto de Radioproteção e Dosimetria – Comissão Nacional de Energia Nuclear
Coordenação de Pós-Graduação

10/2013

L638

OL48

Lessa, Edmilson de Lima
Oliveira, Evaldo Paulo de

Avaliação da técnica de medição do radônio utilizando detector passivo com carvão ativado / Edmilson de Lima Lessa, Evaldo Paulo de Oliveira. – Rio de Janeiro: IRD/IAEA, 2013. v, 44f.: il.; gr.; tab.; 29cm.

Orientador: Paulo Roberto Rocha Ferreira

Trabalho de conclusão de curso(Especialização(Lato Sensu) em Radioproteção e Segurança de Fontes Radioativas)- Instituto de Radioproteção e Dosimetria. 2013.

Referências bibliográficas: f. 40

1. Radônio. 2. Gás Radioativo. 3. Detector Passivo. 4. Carvão ativado. 5. Gás Inerte. 6. Decaimento do Radônio. 7. Emissor Alfa. 8. Filhos do Radônio. I. Instituto de Radioproteção e Dosimetria. II. Título.

**Evaldo Paulo de Oliveira
Edmilson de Lima Lessa**

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

Rio de Janeiro, 2 de Outubro de 2013.

Prof. Paulo Roberto Rocha Ferreira, M.Sc. – DIRAD-IRD/CNEN

Profa. Maristela Souza Santos, D.Sc, – DIDOS-IRD/CNEN

Profa. Mônica Aquino Pires do Rio, D.Sc. – DIRAD-IRD/CNEN

10/2013

DEDICATÓRIAS

Eu, Evaldo, dedico esse trabalho à minha mãe Dulcinéa, mulher guerreira e perseverante, te amo; à minha esposa Tânia pela paciência e carinho; às minhas filhas Ana Beatriz e Ana Carolina por serem a razão da minha existência; à Andressa, minha enteada, que é minha filha de coração e a todos da minha família que, de alguma forma, me ajudaram o tempo todo.

Eu, Edmilson, dedico esse trabalho a Deus que nos momentos mais difíceis dessa jornada sempre se fez presente, me protegendo e me guiando, à minha doce Lia, esposa carinhosa, dedicada, companheira, motivadora e que no meio deste desafio me presenteou com um anjo chamado Benjamim, nosso filho amado que sem ao menos saber foi a motivação das longas noites de estudo e a alegria revigorante no meio do cansaço. Dedico também esse projeto à memória do senhor Emar, meu amado pai que ainda em vida me deixou valores imprescindíveis, à minha querida mãe e aos amigos que deram suporte e entenderam minha ausência durante esse curso.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD), instituição que me acolheu ao longo deste Curso de Pós-Graduação, pela oportunidade de execução deste trabalho e pela contribuição à complementação de nossa formação acadêmica.

Ao Prof. M.Sc. Paulo Roberto Rocha Ferreira – Chefe da Divisão de Radioproteção Ambiental e Ocupacional (DIRAD) e orientador deste trabalho, pelo interesse, disposição – mesmo no desempenho de suas intensas atividades e pela amizade (construída ao longo deste trabalho) que somados às discussões e sugestões oportunas foram de fundamental importância à realização do mesmo.

Ao Dr. Aucyone Augusto da Silva – Chefe da Divisão de Ensino e Pesquisa (DIENP), pelo interesse e motivação demonstrados em relação à didática e aos Trabalhos de Conclusão de Curso de toda esta Pós-Graduação, além de sua constante preocupação com a área de ensino. O esforço desse profissional nos motivou à busca do refino e da correção das Monografias, assim como do conhecimento e do aperfeiçoamento profissional.

Ao Dr. Almir Faria Clain – Coordenador do Curso Lato Sensu, pelo interesse e atenção dedicados desde o nosso primeiro dia neste Instituto, sendo o nosso primeiro professor; pelas oportunas orientações versando sobre a didática de apresentação deste trabalho e pela paciência no trato dos momentos de tensão.

À Dra. Mariza Franklin pelas críticas construtivas que foram de suma importância para o bom desempenho do nosso trabalho e pelo entusiasmo demonstrado ao acompanhar a evolução e dedicação na realização do trabalho com Radônio .

Ao Dr. Luiz Ernesto Santos de Carvalho Matta por sua orientação e sugestões em como realizar o trabalho e na colaboração na avaliação dos resultados obtidos.

Ao Prof. Dr. Luiz Tauhata que foi quem nos chamou a atenção para a importância e preocupação com o gás radioativo Radônio, as suas aulas foram muito importantes para nós.

Ao amigo – Rodolfo Júlio da Silva (grande amizade e parceria construída durante todo o curso), pelo esforço, pelas preocupações, dedicação, ensinamentos e pela determinação em atingir seu objetivo. O êxito do nosso trabalho se deve muito aos seus incentivos.

Aos colegas da turma que de alguma forma também nos ajudaram, com incentivos constantes, a acreditar no projeto e no seu êxito.

Aos Pesquisadores do IRD – coordenadores de Módulo de Ensino, pelo interesse e atenção que demonstraram quando do planejamento, da apresentação e avaliação das disciplinas sob sua responsabilidade, nos permitindo assimilar incontável conhecimento que, sem sombra de dúvida, dificilmente encontraria em outra única fonte.

Aos integrantes da Divisão de Radioproteção Ambiental e Ocupacional (DIRAD) por toda a colaboração recebida e pela participação efetiva na realização deste trabalho, através da realização das análises dos detectores passivos.

Aos ilustres integrantes da Banca Examinadora da Defesa de Dissertação, pelo esmero e sabedoria derramados como gotas preciosas na complementação deste trabalho.

À Ana Beatriz F. de Oliveira, Ana Carolina F. de Oliveira, Andressa Lierbermann pela grande ajuda nas traduções de vários artigos e outros documentos de fundamental importância para o desenvolvimento do trabalho e incentivo constante.

Ao recém-chegado Benjamim Mendes Lessa que nos ajudou a manter a chama do nosso ritmo acesa para produzir algo que ficará para o futuro.

O mundo é dos que não tem tempo, pois, os que tem tempo, só o tem.
Autor desconhecido.

"Sou do tamanho daquilo que vejo e não do tamanho da minha altura".
Carlos Drummond de Andrade

RESUMO

Este trabalho visa avaliar a eficiência da medição do gás radioativo Radônio (^{222}Rn) com detector passivo de carvão ativado contido em recipientes de alumínio. Para tal, foram utilizados vários equipamentos como: calibrador de fluxo, Alpha Guard, câmara de exposição, amostrador de ar, fonte padrão de Rádio, ajustador de fluxo, dutos condutores. Foi utilizada uma montagem, desses equipamentos, com sequência específica permitindo uma exposição mais eficiente dos detectores ao gás Radônio. Foram confeccionadas vinte amostras que foram aquecidas para retirada de umidade e, em seguida, armazenadas em dissecador até a exposição ao Radônio. A exposição foi feita uma a uma, retiradas da câmara, e uma hora após, submetidas à espectrometria gama no germânio (Ge) por uma hora. Posteriormente, foram feitas outras medidas, 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, decaimento do Radônio, emissor alfa, filhos do Radônio.

ABSTRACT

This study aims to evaluate the efficiency of measuring the radioactive gas radon (^{222}Rn) with passive detector activated carbon contained in aluminum containers. To this end, we used various equipment such as flow calibrator, Alpha Guard, exposure chamber, air sampler, default font Radio, adjuster flow ducts. We used an assembly of such equipment, with specific sequence allowing a more efficient gas radon detectors. Were made twenty samples were heated to remove moisture and then stored in desiccator until exposure to radon. The exposure was taken one by one, taken out of the chamber, and one hour thereafter, subjected to gamma spectrometry in germanium (Ge) for one hour. Subsequently, other measures were made at scheduled times and sequence for one hour. The results were presented in report form and spectra were also taken measures and graphs generated by Alpha Guard. Finally we calculated the efficiency meter passive activated carbon.

Keywords: Radon, radioactive gas, passive detector, activated carbon, inert gas, radon decay, emitting alpha, children of Radon.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tabela Periódica - Destaque em retângulo azul para a posição do gás nobre Radônio na tabela	16
Figura 2 - Série do ^{238}U - Fonte: DRAFT INTERNATIONAL STANDARD ISO/DIS 11665-1	17
Figura 3 - Série do ^{235}U - Fonte: DRAFT INTERNATIONAL STANDARD ISO/DIS 11665-1	18
Figura 4 - Série do ^{232}Th - Fonte: DRAFT INTERNATIONAL STANDARD ISO/DIS 11665-1	18
Figura 5 - Gráfico: Apostila de Noções básicas de Proteção Radiológica – IPEN/2002.	20
Figura 6 - Foto da fonte padrão de sal de $^{226}\text{Rádío}$ utilizada para a geração do gás radioativo Radônio no trabalho.....	22
Figura 7 - Foto do calibrador de fluxo de fluido utilizado na prática.	23
Figura 8 - Foto do medidor de dose por volume, Apha Guard 2, que indicou a produção de gás da fonte de $^{226}\text{Rádío}$	24
Figura 9 - Foto da câmara de Radônio onde as amostras de dosímetro de carvão ativado ficaram expostas ao gás para detecção de radiação alfa e gama (produzida pelos filhos do Radônio).....	25
Figura 10 – Espectrômetro de Germânio	26
Figura 11 - Foto do amostrador de ar que produz a sucção dor através da fonte até a sua saída pelo mesmo.	26
Figura 12 - Foto do experimento com os equipamentos montados em sequência lógica de amostragem.	28
Figura 13 - Espectro gerado pela espectrometria gama, com Ge, do background da amostra 01	31
Figura 14 - Espectro gerado pela espectrometria gama com Ge da amostra 01 em exposição por 24h e medição de 1h logo após a retirada da câmara.	31
Figura 15 - Espectro gerado pela espectrometria gama com Ge da amostra 01 em exposição por 24h e medição de 48h após a retirada da câmara.....	32
Figura 16 - Gráfico representativo das exposições de 24h, 48h e 72h, do detector de carvão ativado ao gás Radônio.....	34
Figura 17 - Gráfico do Alpha Guard nº 2 para exposição de 24h.....	35
Figura 18 - Gráfico do Alpha Guard nº 2 para exposição de 48h.....	35
Figura 19 - Gráfico do Alpha Guard nº 2 para exposição de 72h.....	36
Figura 20 - Certificado de calibração do Alpha Guard nº 2.	40
Figura 21 - Folha 1 - Certificado de calibração da fonte de Radio (^{226}Ra).	41
Figura 22 - Folha 2 - Certificado de calibração da fonte de Radio (^{226}Ra).	42
Figura 23 - Folha 3 - Certificado de calibração da fonte de Radio (^{226}Ra).	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Amostra nº 02 com exposição de 72 h.....	29
Tabela 2 - Tabela da amostra nº 01 com exposição de 24 h.	30
Tabela 3 - Tabela da amostra nº 03 com exposição de 48 h..	30
Tabela 4 - Tabelas de exposições, atividades e tempo de contagem para 72 h.....	33
Tabela 5 - Tabelas de exposições, atividades e tempo de contagem para 48 h.....	33
Tabela 6 - Tabelas de exposições, atividades e tempo de contagem para 24 h.....	34
Tabela 7 - Cálculo da eficiência para ^{214}Bi com exposição de 24 h.	36
Tabela 8 - Cálculo da eficiência para ^{214}Pb com exposição de 24 h..	36
Tabela 9 - Cálculo da eficiência para ^{214}Bi com exposição de 48 h.	37
Tabela 10 - Cálculo da eficiência para ^{214}Pb com exposição de 48 h..	37
Tabela 11 - Cálculo da eficiência para ^{214}Bi com exposição de 72 h... ..	37
Tabela 12 - Cálculo da eficiência para ^{214}Pb com exposição de 72 h.	37

SUMÁRIO

1. OBJETIVO.....	13
2. JUSTIFICATIVA	14
3. INTRODUÇÃO	15
3.1. Breve Histórico.....	15
3.2. Radônio e a Tabela Periódica.....	16
3.3. O Gás Radioativo Radônio e Filhos.....	17
3.4. Necessidade e Importância da Detecção do Radônio	19
4. DESENVOLVIMENTO	22
4.1. Componentes do Arranjo Experimental	22
4.2. Arranjo Experimental.....	27
4.3. Procedimento Experimental	28
4.4. Resultados e Análise	30
5. CONCLUSÃO.....	38
6. BIBLIOGRAFIA	39
7. ANEXOS	40

1 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar, por método comparativo, a eficiência da medição do gás radioativo Radônio e filhos, com detector passivo de carvão ativado, utilizando espectrometria gama, com o Ge (Germânio) e, também, com os dados obtidos com o Alpha Guard. Com esta comparação queremos confirmar que, o uso do detector passivo de carvão ativado, é apropriado para medir o gás Radônio. O trabalho foi totalmente desenvolvido no laboratório de Radônio da Divisão de Radioproteção Ambiental e Ocupacional (DIRAD), do IRD/CNEN.

2 JUSTIFICATIVA

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.

3 INTRODUÇÃO

3.1 Breve Histórico

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.

A descoberta do ^{222}Rn se deu no ano de 1900 quando o físico alemão Friedrich Ernest Dorn (1848-1916), observou que o produto químico rádio liberava algum tipo de gás, logo o denominando como “emanação de rádio”. Em 1910, o químico Willian Ransay sugeriu o nome “*niton*” (símbolo Ni) para a “emanação do rádio” (do latim *nitens* – brilhante –, relativo à propriedade de o gás exibir fosforescência quando solidificado). Essa denominação foi aceita pela Comissão Internacional para Pesos Atômicos em 1912 (Afonso, 2009), contudo ainda houve uma modificação final pela União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC), em 1923, ocasião onde adotou-se a seguinte denominação: “emanação do rádio” – Radônio (do latim *radonium*, derivado do rádio, símbolo **Rn**); como sendo a melhor definição para esse novo elemento químico. (Afonso, 2009)

Uma contribuição dada ao Radônio foi quando estabeleceram a antiga unidade Curie (Ci), onde a medida de radioatividade era relacionada a um grama do elemento químico Rádio. Tal medida como unidade o Curie, relacionava o equilíbrio e a quantidade estabelecida de Radônio com um grama de Rádio. Verificações posteriores das medições apresentavam que a quantidade de Radônio estava liberando partículas alfa em uma razão de $3,7 \times 10^{10}$ partículas por segundo. Conseqüentemente, no VI Congresso Internacional de Radiologia, realizado em Londres em 1950, a definição do Curie foi alterada para se aplicar a qualquer substância radioativa se desintegrando a uma taxa de $3,7 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$. (LNMRI/IRD, 2003).

3.2 Radônio e a Tabela Periódica

O gás Radônio possui sua localização na tabela periódica junto à coluna dos gases nobres (Figura 1).

1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18	
1 H 1.00794		2 He 4.002602																																	
3 Li 6.941		4 Be 9.012182																																	
11 Na 22.989769		12 Mg 24.3050																																	
19 K 39.0983		20 Ca 40.078		21 Sc 44.955910		22 Ti 47.867		23 V 50.9415		24 Cr 51.9961		25 Mn 54.938049		26 Fe 55.845		27 Co 58.933200		28 Ni 58.6934		29 Cu 63.546		30 Zn 65.409		31 Ga 69.723		32 Ge 72.64		33 As 74.92160		34 Se 78.96		35 Br 79.904		36 Kr 83.798	
37 Rb 85.4678		38 Sr 87.62		39 Y 88.90585		40 Zr 91.224		41 Nb 92.90638		42 Mo 95.94		43 Tc 97.9072		44 Ru 101.07		45 Rh 102.90550		46 Pd 106.42		47 Ag 107.8682		48 Cd 112.411		49 In 114.818		50 Sn 118.710		51 Sb 121.760		52 Te 127.60		53 I 126.90447		54 Xe 131.294	
55 Cs 132.90545		56 Ba 137.327		72 Hf 178.49		73 Ta 180.9479		74 W 183.84		75 Re 186.207		76 Os 190.23		77 Ir 192.227		78 Pt 195.078		79 Au 196.96655		80 Hg 200.59		81 Tl 204.3833		82 Pb 207.2		83 Bi 208.98038		84 Po 209		85 At 209		86 Rn 222.0176			
87 Fr 223.0197		88 Ra 226.0254		104 Rf 261.1083		105 Db 262.1141		106 Sg 266.1219		107 Bh 266.12		108 Hs (277)		109 Mt 268.1388		110 Ds (271)		111 Rg (272)																	
57 La 138.9055		58 Ce 140.116		59 Pr 140.90765		60 Nd 144.24		61 Pm 144.9127		62 Sm 150.36		63 Eu 151.964		64 Gd 157.25		65 Tb 158.92534		66 Dy 162.500		67 Ho 164.93032		68 Er 167.259		69 Tm 168.93421		70 Yb 173.04		71 Lu 174.967							
89 Ac 227.0277		90 Th 232.0381		91 Pa 231.0362		92 U 238.02891		93 Np 237.0482		94 Pu 244.0642		95 Am 243.0614		96 Cm 247.0764		97 Bk 247.0763		98 Cf 251.0794		99 Es 252.0830		100 Fm 257.0951		101 Md 258.10954		102 No 259.1010		103 Lr 262.1097							

Figura 01 - Tabela Periódica - Destaque em retângulo azul para a posição do gás nobre Radônio.

O gás radônio é insípido, inodoro e incolor quando encontrado à temperatura ambiente, mas quando submetido a um resfriamento brusco, abaixo do ponto de fusão, apresenta uma fosforescência brilhante em uma tonalidade avermelhada a, aproximadamente - 180 °C. 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

3.3 O Gás Radioativo Radônio e Filhos

As figuras 2, 3 e 4, apresentam, respectivamente, as sequências de decaimento do ^{238}U , ^{235}U e ^{232}Th , onde aparecem os isótopos do Radônio e seus filhos¹.

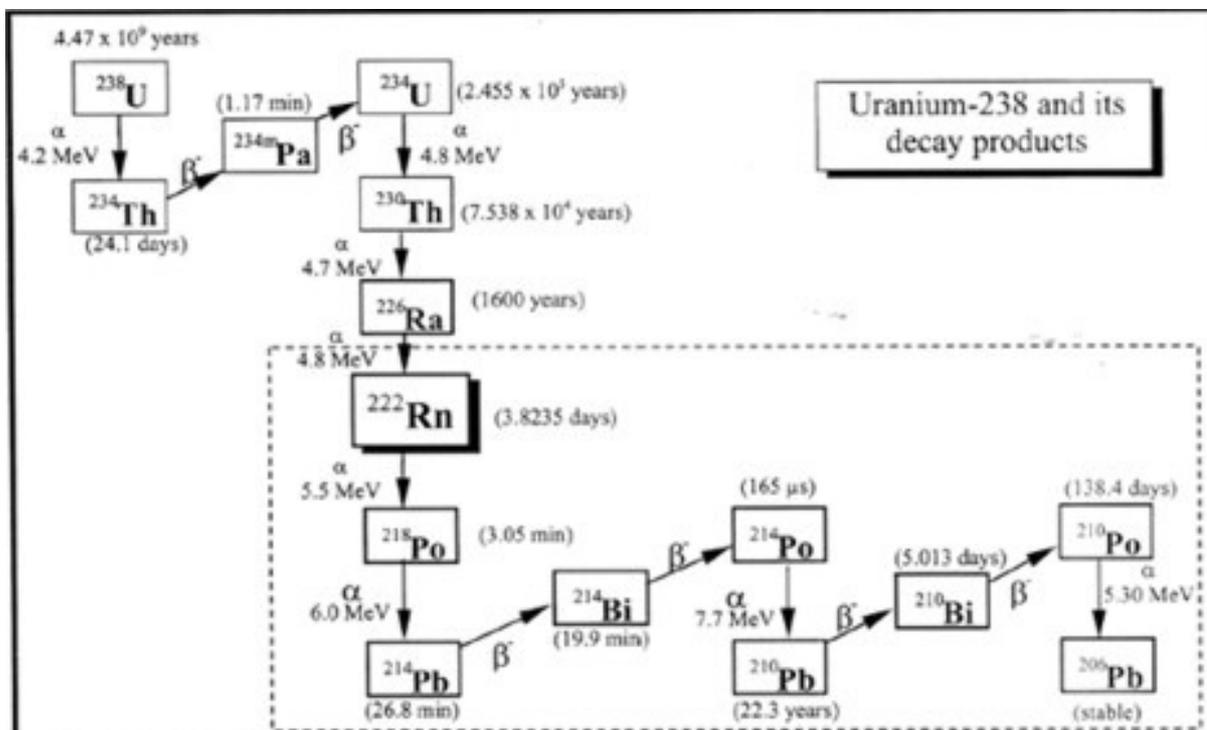


Figura 02 - Série do ^{238}U - Fonte: DRAFT INTERNATIONAL STANDARD ISO/DIS 11665-1

¹ Termo utilizado para representar os elementos que surgem da transformação do elemento principal, pelo processo de decaimento radioativo, em outros com número atômico menor.

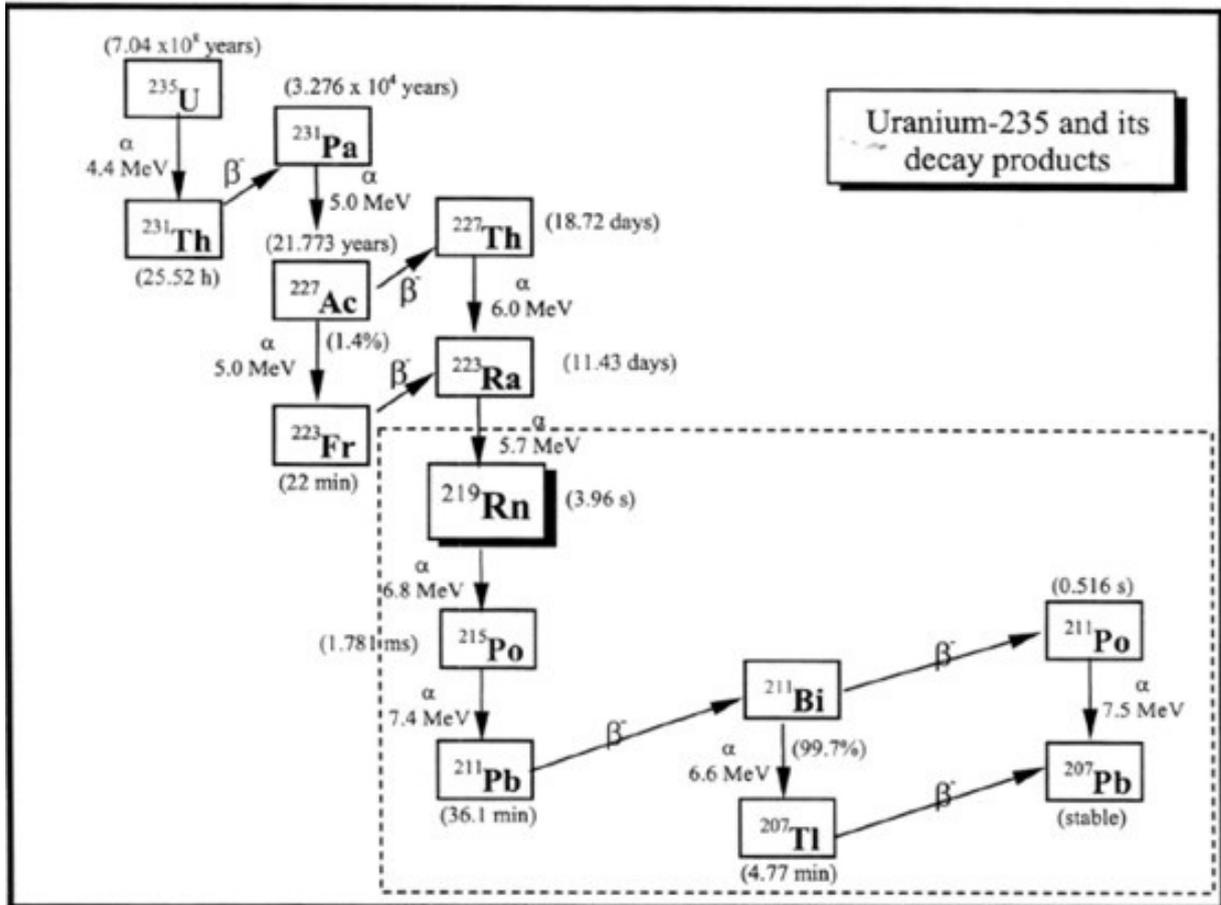


Figura 03 - Série do ^{235}U - Fonte: DRAFT INTERNATIONAL STANDARD ISO/DIS 11665-1

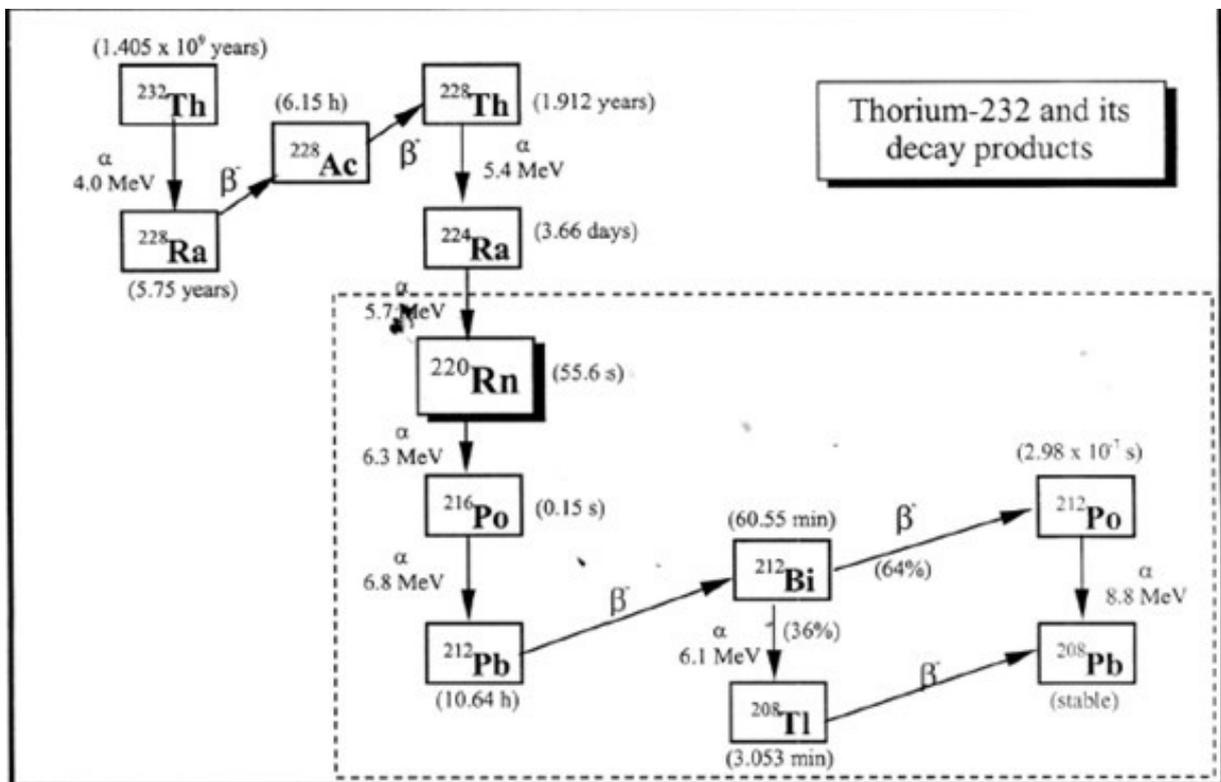


Figura 04 - Série do ^{232}Th - Fonte: DRAFT INTERNATIONAL STANDARD ISO/DIS 11665-1

A figura 2 apresenta sequência de decaimento do ^{238}U , onde o ^{222}Rn aparece, como consequência da transformação do ^{226}Ra , e outros produtos de decaimento com suas respectivas meias vidas, $T_{1/2}$ (meia vida do elemento químico), energias e os tipos de radiações que o surgem no processo de transformação.

Dentre os radionuclídeos descendentes do ^{238}U destaca-se o ^{226}Ra , que possui uma meia vida de 1600 anos, e que, por emissão alfa transforma-se no ^{222}Rn . Seus descendentes são o ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi e ^{214}Po , todos com meias-vidas muito curtas.

A figura 4 indica que na série do ^{232}Th , ocorre um processo semelhante, com o ^{220}Rn , também chamado de “torônio”, com meia-vida de 55 anos e seus descendentes, ^{216}Po , ^{212}Pb , ^{212}Bi , ^{212}Tl e ^{212}Po . (Tauhata, 2006).

O gás radioativo Radônio formado pelo decaimento radioativo do ^{226}Ra , um descendente do urânio (^{238}U), é encontrado em quantidades variadas em solos, rochas e águas. O ^{222}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.

O presente trabalho desenvolveu-se, tomando como referência, a sequência de decaimento do ^{238}U , onde aparecem o Radônio (^{222}Rn) e filhos.

3.4 Necessidade e Importância da Detecção do Radônio

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.



Figura 05 - Gráfico: Apostila de Noções básicas de Proteção Radiológica – IPEN/2002.

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).

Conseqüentemente, 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).

4 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.

4.1 Componentes do Arranjo Experimental

Para atingir o objetivo deste trabalho, foi feita a exposição do detector passivo de carvão ativado ao ^{222}Rn à uma fonte padrão de Rádio (^{226}Ra), como pode ser observado na figura 6.

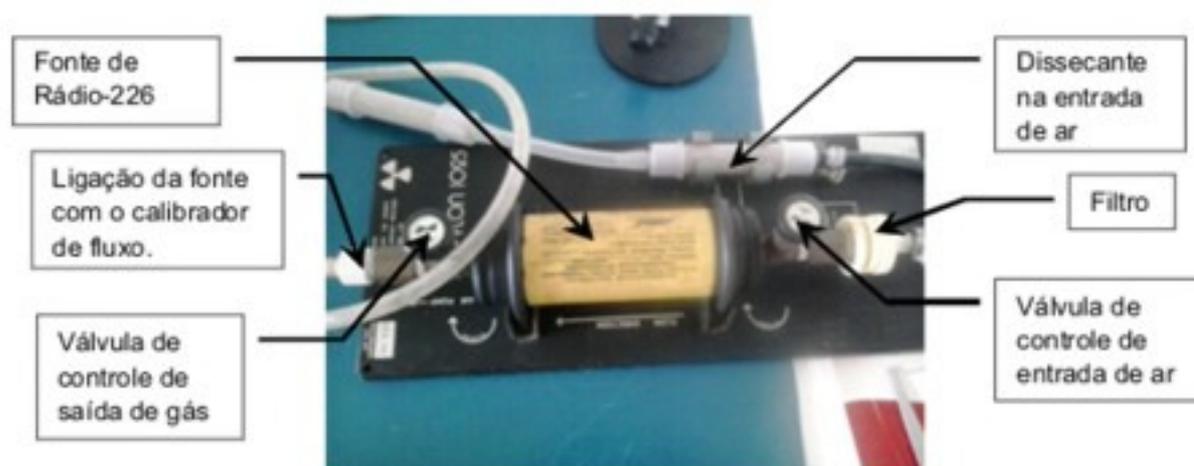


Figura 06 - Foto da fonte padrão de sal de $^{226}\text{Rádio}$ utilizada para a geração do gás radioativo Radônio no trabalho.

A fonte padrão de $^{226}\text{Rádio}$ (figura 6), possui uma entrada de ar e uma saída, ambas controladas por registros que permitem a circulação do fluido através da mesma. Na extremidade de entrada foram acrescentados reservatórios contendo sílica para reduzir a umidade oriunda do meio ambiente e outro filtro para retenção de particulados. Todo o processo necessitou de um fluxo de ar de um litro por minuto (1 l/min.). Para manter esta vazão sob controle, foi acrescentado à extremidade de saída da fonte, através de dutos condutores apropriados, um calibrador de fluxo de

fluido, Dry Cal DC-Lite² (figura 7), para medir a vazão do gás circulante e manter a concentração do mesmo de forma constante e calibrada. Esse calibrador oferece um padrão de fluxo, volume em função do tempo, que foi usado para calibração precisa da bomba de amostragem de ar ambiental, amostrador de ar. Possui uma fonte de alimentação elétrica AC / D; um cristal oscilador utilizado para o sincronismo de tempo; um cilindro de vidro de borossilicato³ com um pistão de resina em seu interior para produzir a compressão do ar, mantendo constante a relação volume/tempo; um visor LCD alfanumérico para mostrar a taxa de fluxo e média de fluxo; autoleitura de vazão volumétrica; desligamento automático e porta paralela de impressora.

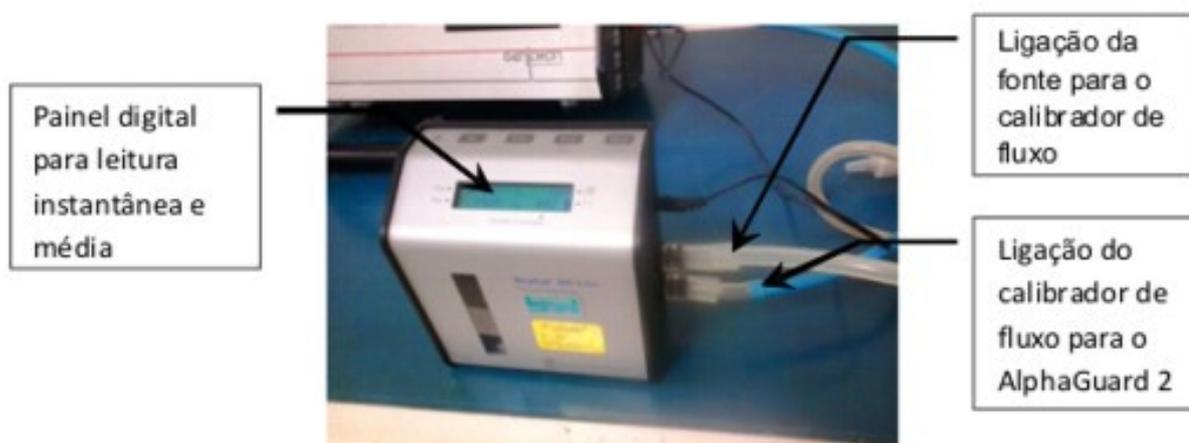


Figura 07 - Foto do calibrador de fluxo de fluido utilizado na prática.

O gás foi conduzido do calibrador de fluxo, através de dutos e foi para o Alpha Guard 2000 PRQ⁴ (nº 2) (figura 8) - foram utilizados dois equipamentos desse, um para medir o ²²²Rn diretamente da fonte padrão de ²²⁶Ra e outro para monitorar o ambiente junto ao amostrador de ar - que mediu a concentração de Radônio, em Bq/m³, durante todo o período de exposição. Este equipamento registrou a concentração de Rn e armazenou os dados que, através de interface apropriada, foram lidos e interpretados, fornecendo resultados diretos da Atividade (Bq) em função do volume (m³). Esses resultados serão apresentados no item 4.4.

² Fabricado pela BIOS International Corporation.

³ O vidro borossilicato é fabricado adicionando boro aos componentes tradicionais do vidro.

⁴ Fabricado pela Genitron Instruments



Figura 08 - Foto do medidor de dose por volume, Apha Guard 2, que indicou a produção de gás da fonte de $^{226}\text{Rádio}$. <http://www.saphymo.com/radiation-measurement/environment-monitoring-systems/alphaguard/154.htm>

O Alpha Guard (figura 8) é um equipamento portátil projetado para medição instantânea ou contínua da atividade de gás Radônio (^{222}Rn). O Alpha Guard é utilizado para a medição de Radônio no meio ambiente, minas, laboratórios e também para investigações complementares em edifícios, ar, água, solo, medições de exalação são realizadas graças a uma vasta gama de acessórios e sondas externas. Possui um software, o Dataexpert, que realiza a análise e armazenamento de dados. O modelo PQ2000 PRO é atualizado, também, para medir o Torônio (oriundo da família do Tório). Ele pode distinguir entre o Radônio e o Torônio.

Continuando com fluxo do gás Radônio, o mesmo segue do Apha Guard (nº2) para a câmara de exposição onde foram inseridos os detectores passivos de carvão ativado, como mostra a figura 9.

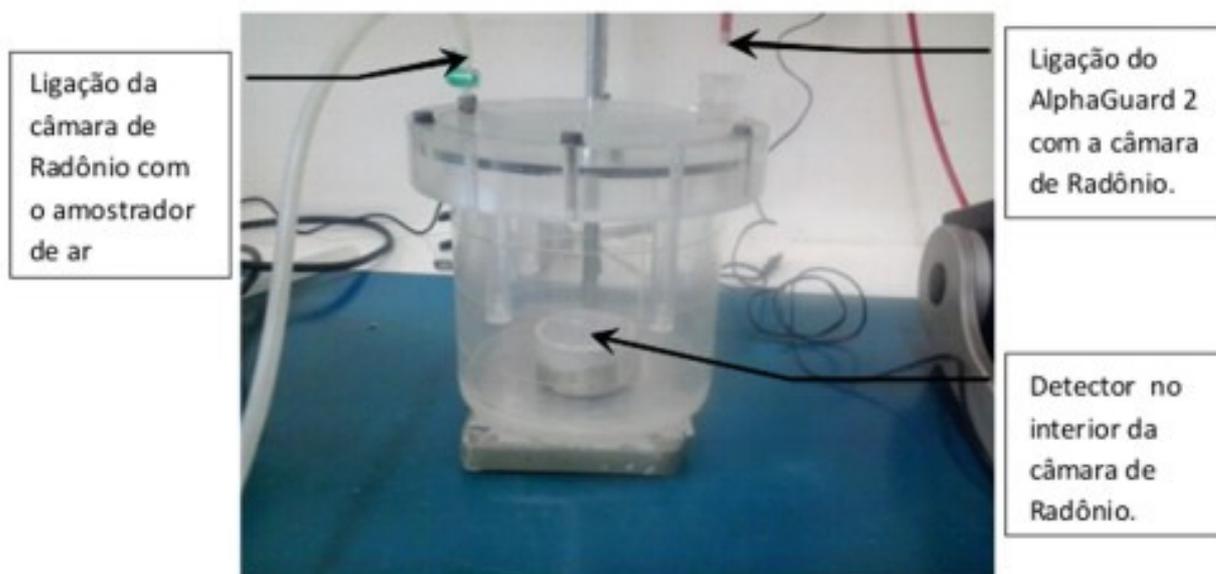


Figura 09 - Foto da câmara de Radônio onde as amostras de dosímetro de carvão ativado ficaram expostas ao gás para detecção de radiação alfa e gama (produzida pelos filhos do Radônio).

Dentro da câmara os detectores passivos de carvão ativado receberam o gás Radônio que difundiu-se no ambiente da mesma e acomodou-se por entre os grânulos de carvão contidos nos recipientes de alumínio, onde sofreu o decaimento - sua meia vida é de aproximadamente três dias e dezenove horas, ou 3,8 dias - e por consequência a produção dos filhos, o ^{214}Pb e o ^{214}Bi , que foram medidos. As amostras foram analisadas no sistema de espectrometria gama conforme figura 10, utilizando o detector de Germânio (Ge) para avaliar o espectro emitido pelos filhos do Radônio.



Figura 10 – Espectrômetro de Germânio

Para manter um fluxo calibrado o amostrador de ar (figura 11), possui um registro de ajuste grosso e outro de ajuste fino; essa calibração do fluxo é medida pelo calibrador de fluxo, já descrito anteriormente.

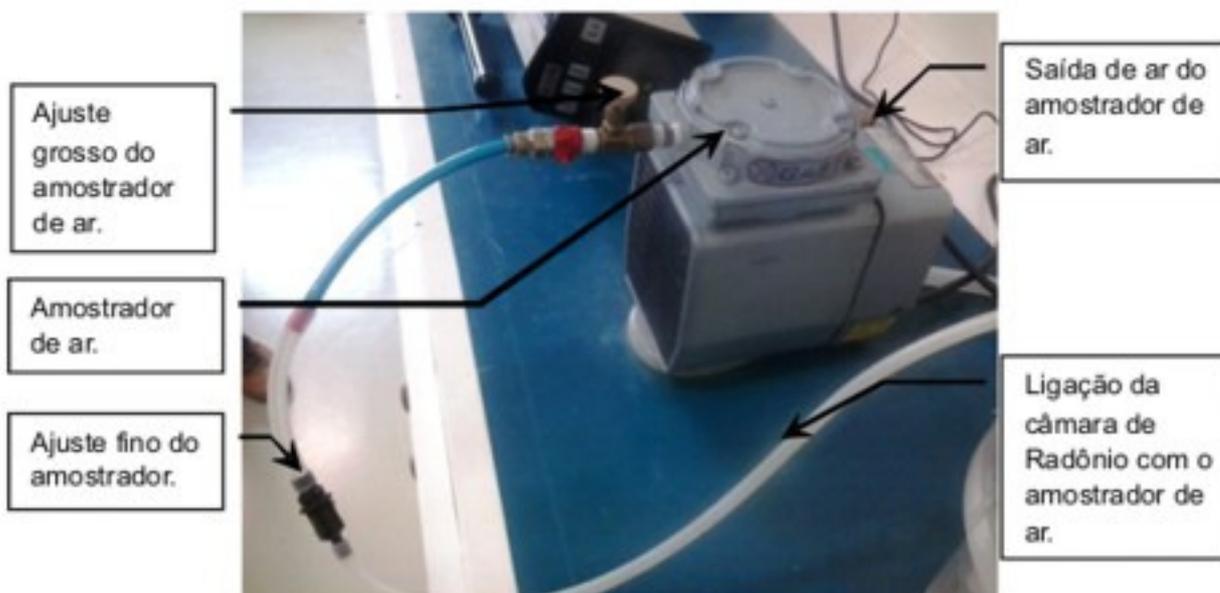


Figura 11 - Foto do amostrador de ar que produz a sucção dor através da fonte até a sua saída pelo mesmo.

O conjunto apresentado por esses equipamentos, numa sequência de montagem lógica, forma o experimento que viabiliza a avaliação de se usar um sistema de medição por detectores passivos de carvão ativado confiável.

A rastreabilidade está garantida pela calibração dos equipamentos utilizados, cujos certificados de calibração estão apresentados no anexo. A repetitividade do experimento é demonstrada no tópico seguinte.

4.2 Arranjo Experimental

Após vários testes com todos os equipamentos, chegou-se a um arranjo mais eficiente na montagem, desde a aspiração do ar através fonte de rádio (^{226}Ra) até a saída do gás pelo amostrador de ar. Este formato proporcionou, através da difusão do gás na câmara, a exposição dos medidores passivos de carvão ativado ao gás Radônio.

O detector passivo de carvão ativado foi submetido ao gás Radônio durante períodos programados, de forma a permitir adsorção suficiente para produzir resultados representativos.

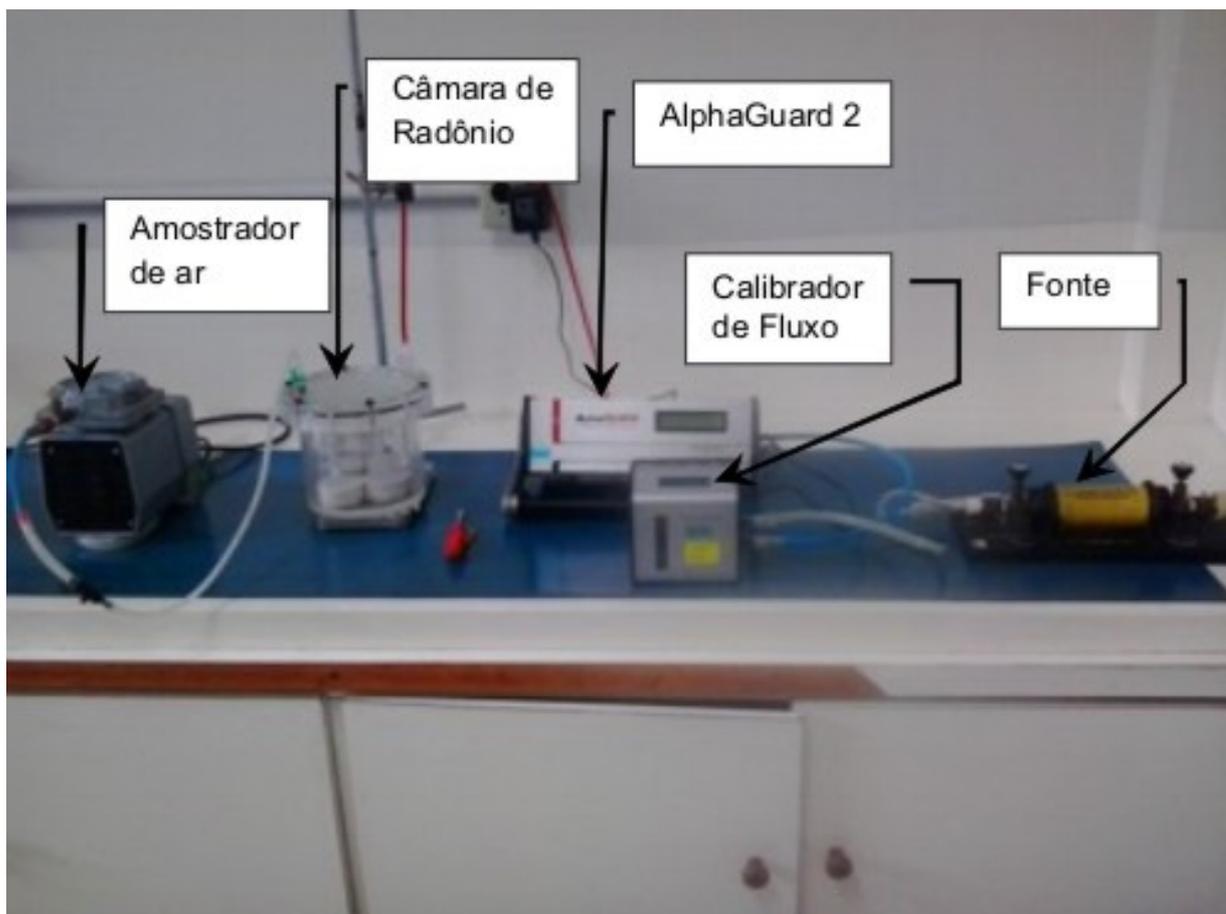


Figura 12 - Foto do experimento com os equipamentos montados em sequência lógica de amostragem.

4.3 Procedimento Experimental

O trabalho iniciou com o preenchimento de 20 recipientes de alumínio, com o carvão ativado. Os mesmos foram tampados, com discos circulares perfurados, do mesmo material e diâmetro do recipiente, para evitar o derrame do material, mantê-lo estável e permitir a circulação do gás pelo seu interior e entre o carvão ativado. Cada recipiente recebeu, aproximadamente, 40 g de carvão ativado e a partir desse momento passaram a ser denominados detectores passivos de carvão ativado ou dosímetros.

A primeira fase do trabalho para a avaliação do método de detecção do Radônio com detector passivo de carvão ativado iniciou-se com a preparação de amostras para medir o *background* (Bg) do material a ser utilizado. Os detectores passivos de carvão ativado foram etiquetados e numerados e foram selecionados cinco para

verificação do *background* (Bg).

Esses cinco selecionados foram colocados em estufa a 180 °C, para retirada de umidade e desadsorção de Radônio previamente retido no carvão, por vinte e quatro horas. Após esse tempo foram retirados e colocados, imediatamente no dissecador, onde permaneceram até o início da medição. O Bg, dos detectores selecionados, foram analisados no sistema de espectrometria gama com detector de germânio (Ge) por sessenta minutos, por unidade.

Dos cinco detectores, colocados no dissecador, foram utilizados três para exposição ao Radônio.

A exposição dos detectores selecionados foi feita durante três períodos distintos (24h, 48h e 72h).

Por uma questão de conveniência, pois a primeira exposição aconteceu durante um fim de semana, essa exposição foi com setenta e duas horas. O detector ficou exposto ao gás Radônio durante este período e ao seu término o mesmo foi retirado da câmara de exposição e permaneceu em espera durante uma hora para o Radônio entrar em equilíbrio com os filhos e, em seguida, levado para a primeira medição no germânio (Ge) durante uma hora; medida novamente, depois de vinte e quatro horas, por uma hora e, finalmente, medida depois de quarenta e oito horas, por uma hora, conforme tabela 1 apresentada abaixo:

Tabela 1 - Tabela da amostra nº 02 com exposição de 72 h.

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

A segunda exposição foi feita, novamente por questão de conveniência, com vinte e quatro horas, ao seu término o detector foi retirado da câmara de exposição, permaneceu em espera durante uma hora para o Radônio entrar em equilíbrio com os filhos e, em seguida, levado para a primeira medição no germânio (Ge) durante uma hora, medida novamente depois de vinte e quatro horas, por uma hora e finalmente medida depois de quarenta e oito horas, por uma hora, conforme tabela 2, mostrada a seguir:

Tabela 2 - Tabela da amostra nº 01 com exposição de 24 h.

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

A terceira e última exposição foi feita com quarenta e oito horas. Ao seu término, o detector foi retirado da câmara de exposição, permaneceu em espera durante uma hora para o Radônio entrar em equilíbrio com os filhos e, em seguida, levado para a primeira medição no germânio (Ge), durante uma hora; medida, novamente, depois de vinte e quatro horas, por uma hora, esta amostra não foi submetida a medição de quarenta e oito horas devido à impossibilidade de se obter o seu resultado a tempo de gerar esse trabalho, conforme tabela 3, apresentada abaixo:

Tabela 3 - Tabela da amostra nº 03 com exposição de 48 h.

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

Essas medições produziram espectros que mostram a presença dos filhos do Radônio, chumbo (^{214}Pb) e bismuto (^{214}Bi) nos detectores passivos de carvão ativado.

4.4 Resultados e Análise

A figura 13, apresenta o espectro do Background (Bg), através do sistema de espectrometria gama utilizando o Ge, de um detector passivo de carvão ativado preparado para ser submetido ao Radônio na câmara de exposição.

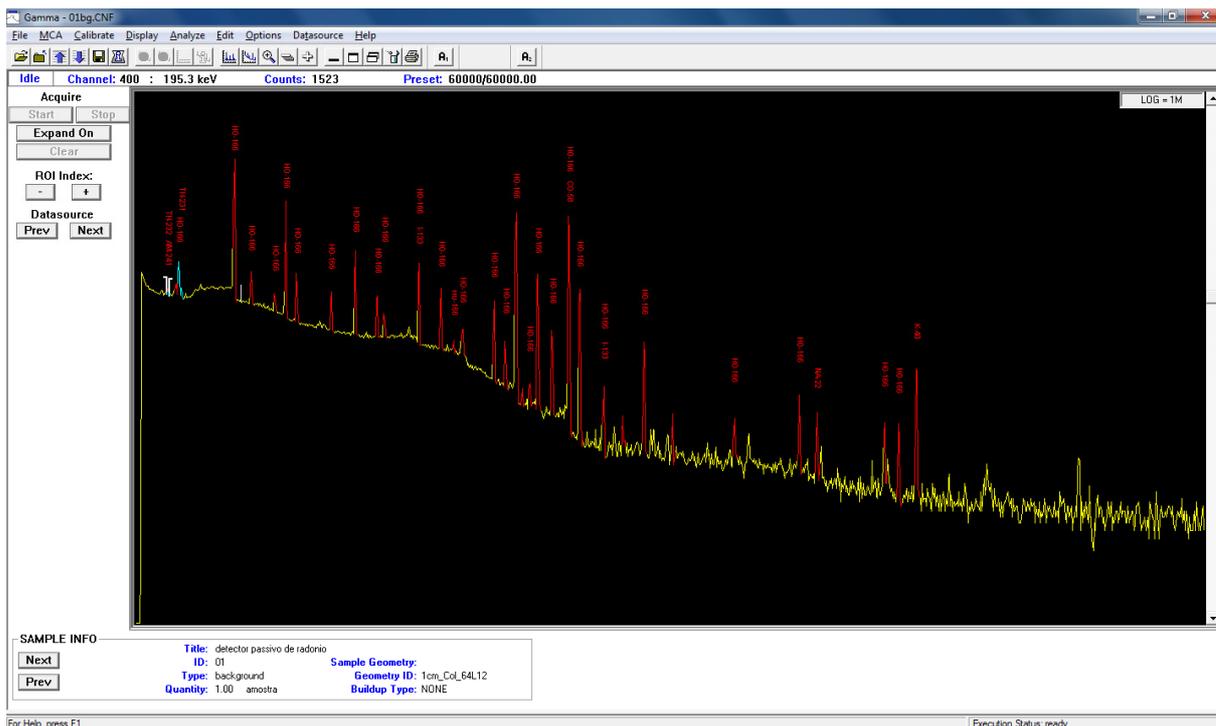


Figura 13 – Espectro gerado pela espectrometria gama com Ge do *background* (Bg) da amostra nº 01, depois de aquecida e mantida em dissecador. Não é observado nenhum radionuclídeo relacionados aos filhos do Radônio (^{222}Rn).

A figura 14 apresenta o espectro de um dos detectores passivos de carvão ativado submetido ao Radônio, produzido pela medição por espectrometria gama utilizando o Ge, no canal 397 com energia de 198 keV.

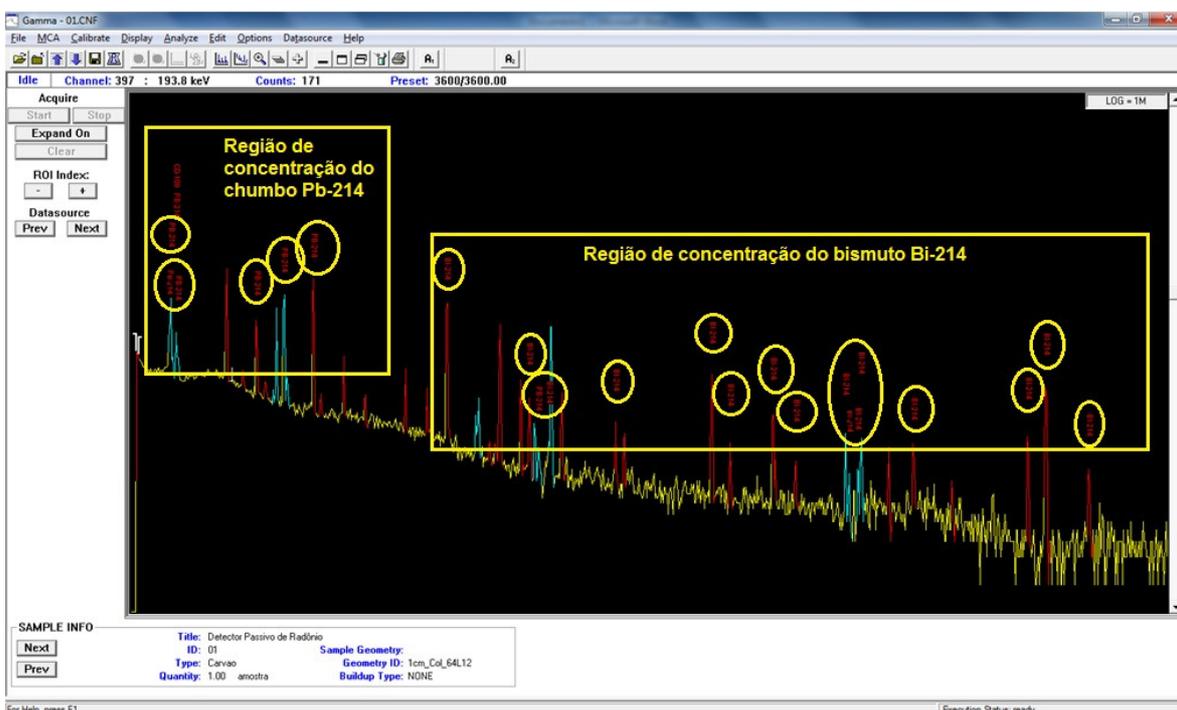


Figura 14 - Espectro gerado pela espectrometria gama com Ge, descontado o *background* (Bg), da amostra nº 01 em exposição por 24 h, medido por 1 h, após uma hora aguardando equilíbrio entre Radônio e filhos. Os radionuclídeos ^{214}Pb e ^{214}Bi estão destacados.

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.

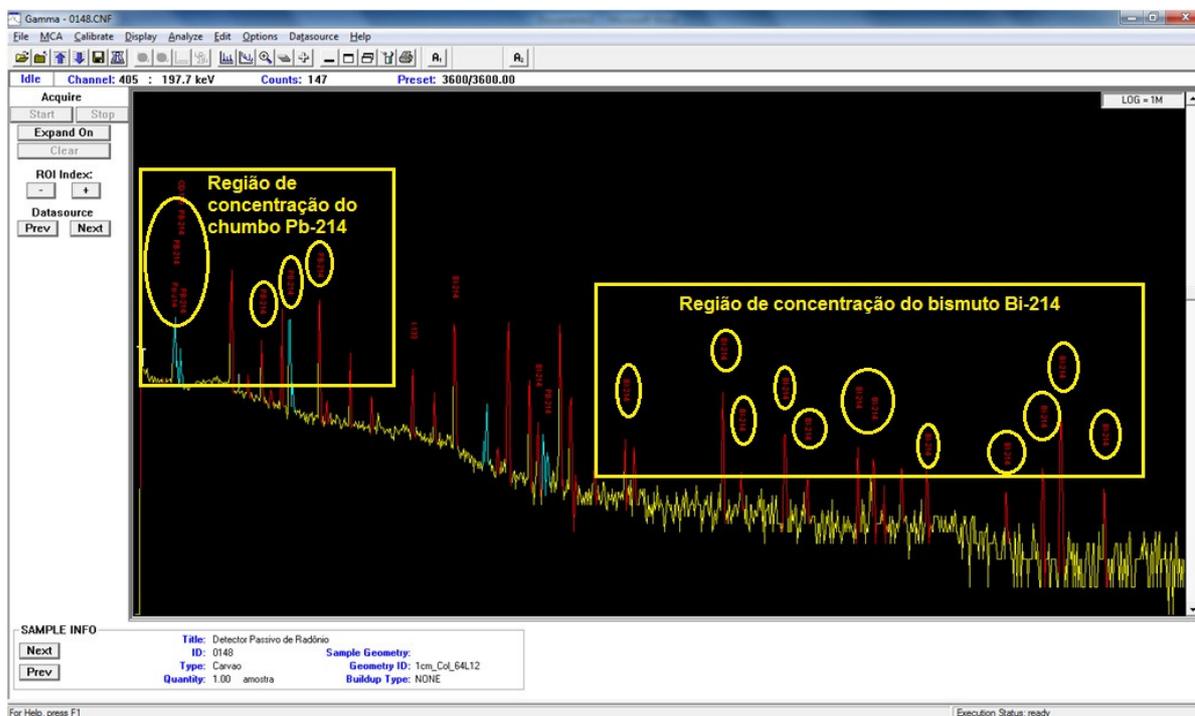


Figura 15 - Espectro gerado pela espectrometria gama com Ge, descontado o *background* (Bg), da amostra nº 01 em exposição por 24 h, medido por 1 h, quarenta e oito horas após a primeira medição. Os radionuclídeos ^{214}Pb e ^{214}Bi estão destacados em suas maiores concentrações.

No espectro feito 48h, figura 15, após a retirada da câmara em uma exposição de vinte e quatro horas, da mesma amostra, também é possível observar a presença dos filhos do Radônio, ^{214}Pb e ^{214}Bi , através dos picos, demonstrando a validade do experimento.

Os resultados estão relacionados nas tabelas 4, 5 e 6.

Tabela 4 - 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

Na tabela 4, de exposição em 72h, pode-se observar as atividades do chumbo (^{214}Pb) e do bismuto (^{214}Bi), filhos do Radônio, com suas atividades diminuindo conforme o tempo de contagem aumenta, mas com uma concentração bastante significativa na primeira contagem uma hora após a retirada da amostra da câmara de exposição de Radônio.

Tabela 5 - 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

Para exposição de 48h, tabela 5, percebe-se uma redução na atividade, quase que pela metade em relação à exposição de 72h. Conseqüentemente, a concentração de Radônio e filhos nesta amostra foi menor do que para a anterior.

Tabela 6 - 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

Finalmente, na exposição de 24h, tabela 6, a atividade foi bem menor em relação à exposição inicial de 72h.

A difusão do gás Radônio, nesta amostra, 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 16 indica mais claramente esses resultados.

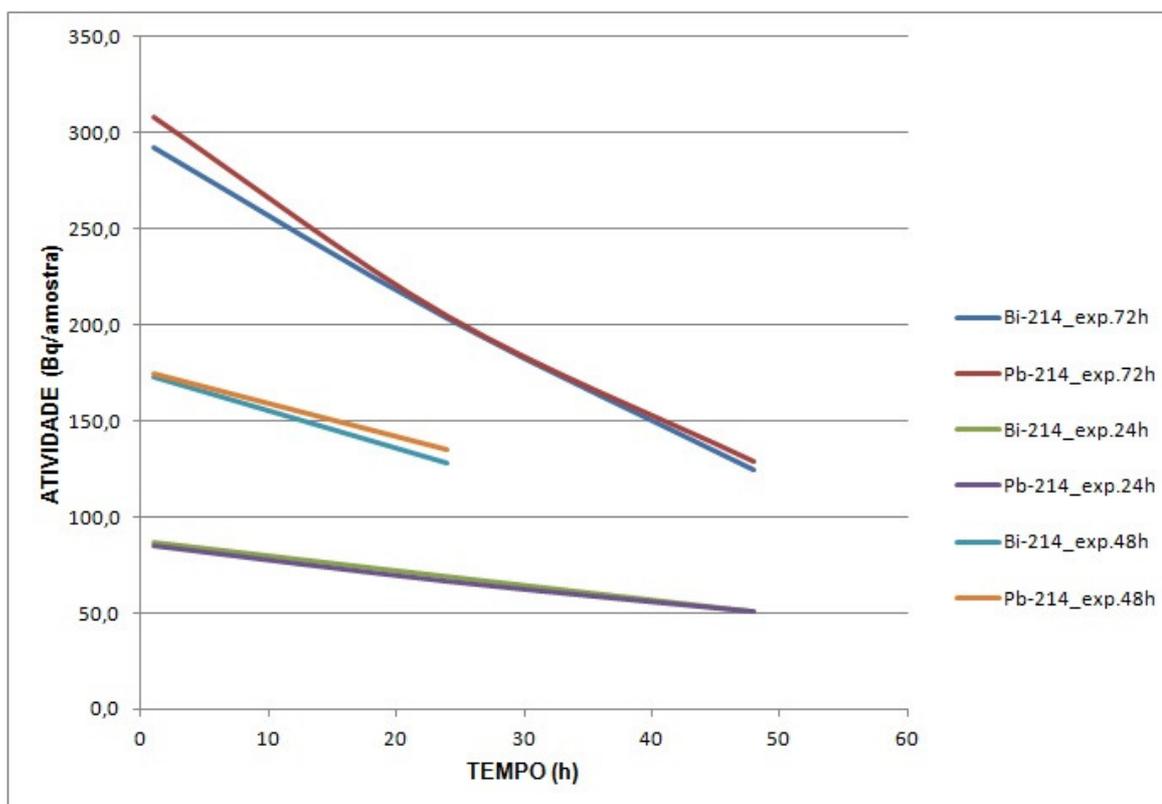


Figura 16 - Gráfico representativo das exposições de 24 h, 48 h e 72 h, do detector de carvão ativado ao gás Radônio.

O Alpha Guard (nº2) forneceu dados das medidas feitas durante as exposições, para comparar com os valores obtidos na espectrometria, conforme gráficos apresentados nas figuras 17, 18 e 19:

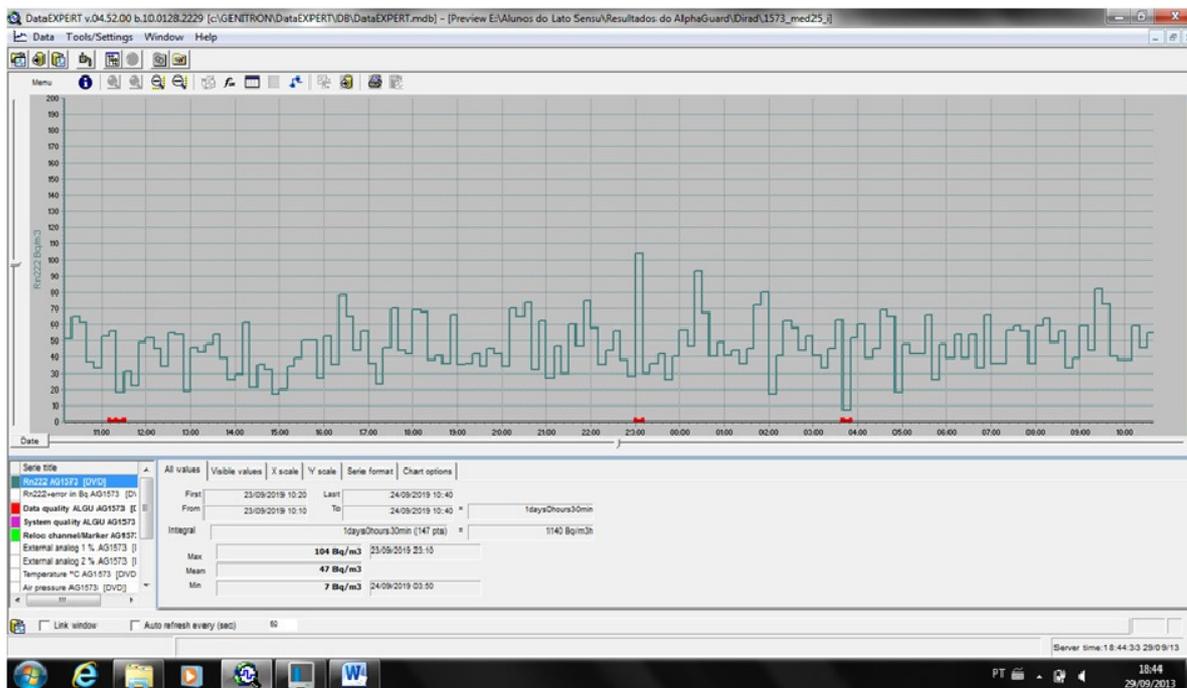


Figura 17 - Gráfico do Alpha Guard nº 2 para exposição de 24 h.

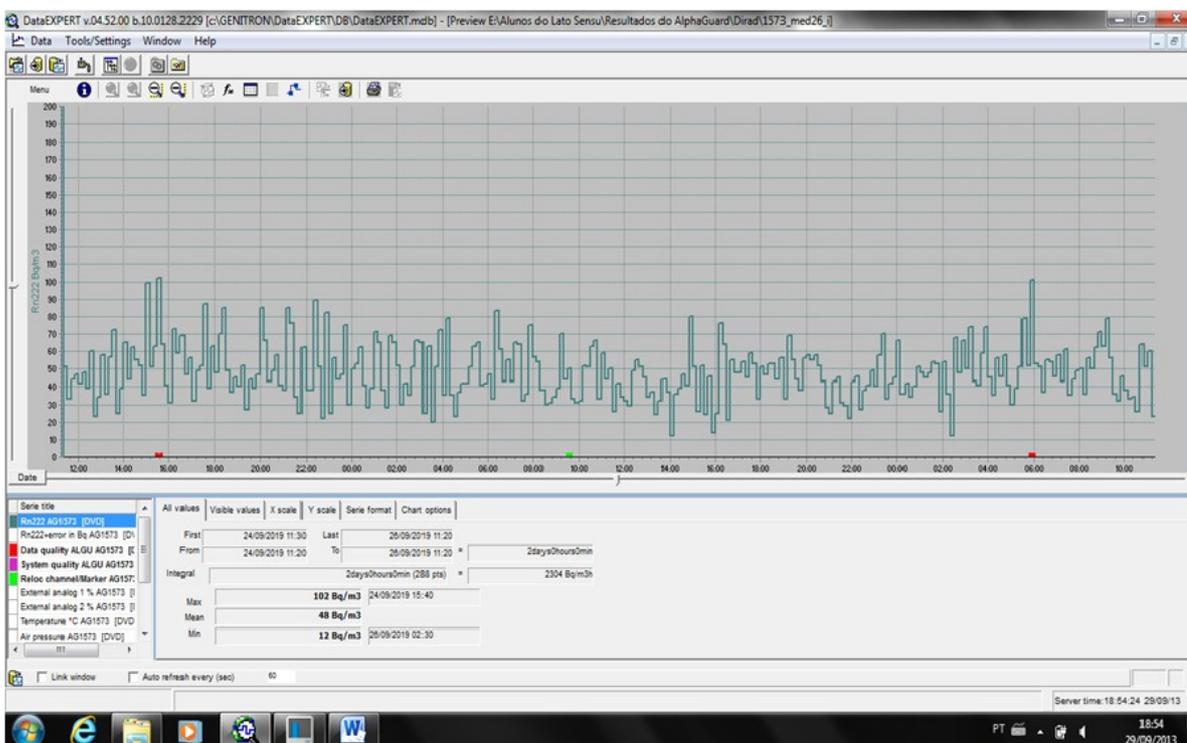


Figura 18 - Gráfico do Alpha Guard nº 2 para exposição de 48 h.

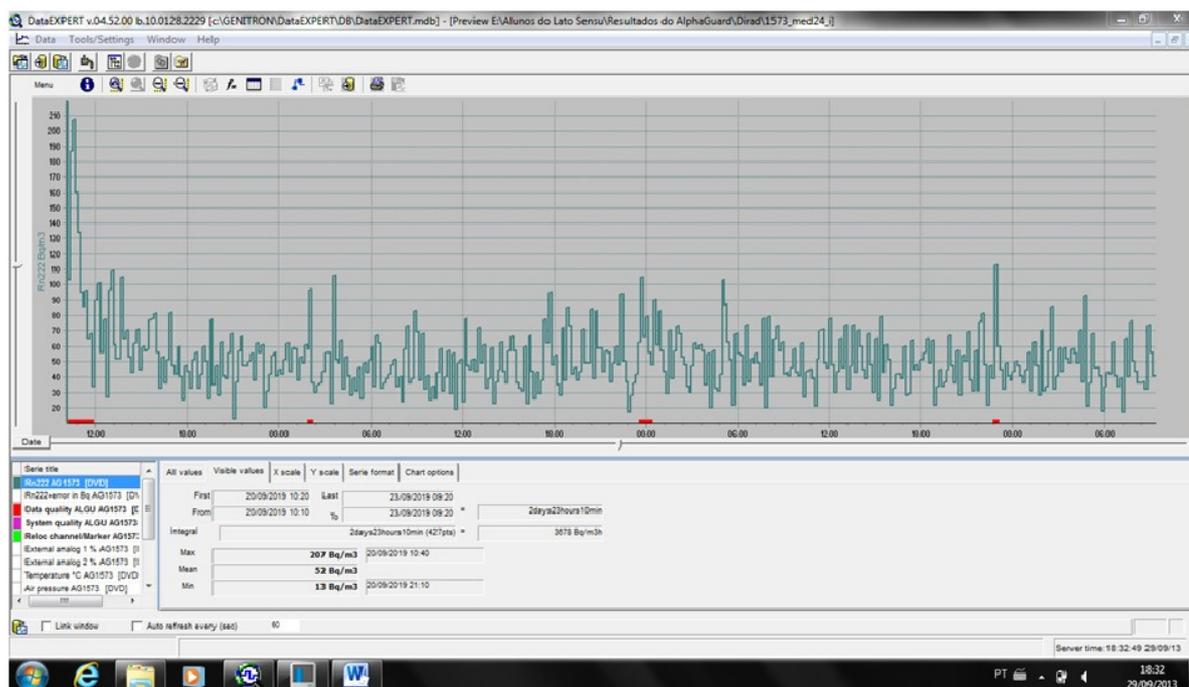


Figura 19 - Gráfico do Alpha Guard (nº 2) para exposição de 72 h.

Com os dados fornecidos pelo Alpha Guard (nº2), utilizando a equação 1, podemos chegar à determinação da eficiência da técnica apresentada nas tabelas 7, 8, 9, 10, 11 e 12.

A eficiência foi calculada determinando-se a razão das medições da espectrometria com as medições das integralizações do Alpha Guard (nº2):

$$Efic = \frac{\text{Medidas de Espectrometria Gama}}{\text{Integralização das medidas do Alpha Guard}} \times 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

Tabela 7 - Cálculo da eficiência para ^{214}Bi com exposição de 24 h.

Exposição	Bi-214 (Bq)	Tempo (h)	Data	Alpha Guard nº 2 (Bq/m ³)	Eficiência	
24h	87,1	1	24/set	1140	0,0764	7,64%
24h	69,0	24	25/set	1140	0,0605	6,05%
24h	50,3	48	26/set	1140	0,0442	4,42%

Tabela 8 - Cálculo da eficiência para ^{214}Pb com exposição de 24 h.

Exposição	Pb-214 (Bq)	Tempo (h)	Data	Alpha Guard nº 2 (Bq/m ³)	Eficiência	
24h	85,4	1	24/set	1140	0,0749	7,49%
24h	66,7	24	25/set	1140	0,0585	5,85%
24h	50,9	48	26/set	1140	0,0446	4,46%

Tabela 9 - Cálculo da eficiência para ^{214}Bi com exposição de 48 h.

Exposição	Bi-214 (Bq)	Tempo (h)	Data	Alpha Guard nº 2 (Bq/m ³)	Eficiência	
48h	173,2	1	26/set	2304	0,0752	7,52%
48h	128,0	24	27/set	2304	0,0556	5,56%

Tabela 10 - Cálculo da eficiência para ^{214}Pb com exposição de 48 h.

Exposição	Pb-214 (Bq)	Tempo (h)	Data	Alpha Guard nº 2 (Bq/m ³)	Eficiência	
48h	174,3	1	26/set	2304	0,0757	7,57%
48h	135,1	24	27/set	2304	0,0586	5,86%

Tabela 11 - Cálculo da eficiência para ^{214}Bi com exposição de 72 h.

Exposição	Bi-214 (Bq)	Tempo (h)	Data	Alpha Guard nº 2 (Bq/m ³)	Eficiência	
72h	292,6	1	23/set	3678	0,0796	7,96%
72h	203,3	24	24/set	3678	0,0553	5,53%
72h	124,2	48	25/set	3678	0,0338	3,38%

Tabela 12 - Cálculo da eficiência para ^{214}Pb com exposição de 72 h.

Exposição	Pb-214 (Bq)	Tempo (h)	Data	Alpha Guard nº 2 (Bq/m ³)	Eficiência	
72h	307,8	1	23/set	3678	0,0837	8,37%
72h	204,5	24	24/set	3678	0,0556	5,56%
72h	129,0	48	25/set	3678	0,0351	3,51%

5 CONCLUSÃO

A conclusão, com base nas informações apresentadas pelas medições com o Alpha Guard (nº2) e por espectrometria gama com germânio (Ge), 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. Faz-se necessária a continuidade do trabalho para uma melhor avaliação da eficiência, na detecção do gás Radônio e filhos por esse método.

6 BIBLIOGRAFIA

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. Health Physics, Health 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.1ª - 01/2010.

7 ANEXOS



Fine techniques
in radiation
measurement.

CERTIFICATE OF CALIBRATION

Serial Number **EF 0923**
 Calibration performed at **Genitron Instruments GmbH, Frankfurt/Main, Germany**
 Source used **NIST SRM 4973.5**

Radon Calibration Factor **1.00**
 Before Calibration **1.00**
 After Calibration

We herewith state that the calibration performed is traceable to NIST

S. N.	Unit No	Date	Time hours/minutes	Radon Bq/m ³	dRRR %	Temp C	dT/T %	Press mbar	dP/P %	Hum %RH	dH %RH
1 kBq/m ³	EF 0501	14.08.2007	12h	1174.7	-0.03	25.7	0.00	999.0	0.01	60.6	0.00
1 kBq/m ³	Reference	14.08.2007	12h	1175.0		25.7		998.9		60.6	
10 kBq/m ³	EF 0501	14.08.2007	5h	1116.3	0.37	24.9	0.00	997.6	0.00	63.2	0.00
10 kBq/m ³	Reference	14.08.2007	5h	1114.2		24.9		997.6		63.2	

Acceptable Calibration Tolerance (dRRR) is + or - 5%
 Calibration executed by Genitron Instruments GmbH, Frankfurt/Main, Germany

Frankfurt, 15.08.2007 Signature *[Handwritten Signature]*

Genitron Instruments GmbH Heerstraße 149 D-60488 Frankfurt am Main Germany
 Tel: ++49 (0)69-97 65 14-0 Fax: ++49 (0)69-76 53 27 E-Mail: sales@genitron.de

Beschaltungen: Dresdner Bank AG Frankfurter Volksbank eG Postbank Hh
 Jean-Claude Girard Meyer BLZ 503 800 00 BLZ 501 800 00 BLZ 500 100 60
 +49 22 722 Frankfurt a. M. Konto 240 177 000 Konto 959 111 Konto 400 80-602

Figura 20 - Certificado de calibração do Alpha Guard nº 2.

PYLON INSTRUMENTS
Ottawa Canada

PYLON TYPE RN-1025 FLOW THROUGH RADON GAS SOURCE

CERTIFICATE OF RADIOACTIVITY

Date: March 16, 1982 Serial Number: 338560
Active Material: Ra-226; Salt Chemical Form: Salt, Dry Powder
Stability: Long Term Source Holder: Aluminum Housing
Source Activity : 2.03×10^6 pCi
RADON Gas (Rn222) Continuously
Available: 256 pCi/minute

METHOD OF CALIBRATION

Sources were calibrated by alpha scintillation methods on a Pylon Type RM-1003 Radon Gas Detector against NBS Standards.

Notes

The error in source activity is 4% at a 99% confidence level.

Calibration is based on NBS liquid standards.

Signature: *A. Merritt*

Title: Chemical Technologist



PYLON ELECTRONIC DEVELOPMENT company, Ltd.

Figura 21 - Folha 1 - Certificado de calibração da fonte de Radio (Ra-226).

PYLON INSTRUMENTS

Ottawa Canada

LEAK TEST CERTIFICATE

Customer Comissao Nacional De Energie Nuclear P. O. IC-22-41101124
 Source Type BN-1025 Flow Through Radon Gas Source Container Type Aluminum Housing
 Serial Number 338560
 Active Source Material Ra-226; Salt Activity Gas Phase 2.03 x 10⁶ pCi

THE LEAK TESTS INDICATED BY THE CHECKED BOXES WERE APPLIED TO DETERMINE THE INTEGRITY OF THE SOURCE(S) IN THIS SHIPMENT.

- (x) 1. STANDARD WIPE TEST
 The source is swabbed over its entire surface with a moistened paper or cotton swab. After being allowed to dry, the swab is counted using a windowless scintillation counter. Activity levels exceeding .00001 microcuries will be cause for rejection.
 Measured Activity: NONE μCi alpha beta gamma
- () 2. BUBBLE TEST
 The source is immersed in ethylene glycol to a depth of 2" in a glass container and a pressure of 10 cm or less applied. A steady stream of bubbles from the window or weld detail will be cause for rejection.
- (x) 3. GAS SOURCE TEST (Radioactive Gases)
 The source is placed in a sealed chamber and left for a period of approximately 3 days. An air sample is taken and its activity determined by standard α scintillation methods. A count rate exceeding 100 cpm will be cause for rejection.
- () 4. LEAK TEST NOT APPLICABLE
 The active area of this source is uncovered or protected by a very thin coating. Although the deposit is adherent, it is not designed or certified to pass a standard leak test. The inactive portions of the source have been checked using the standard wipe test and found not to exceed .00001 μCi of removable activity at time of shipment.

Date: March 16, 1982

Signature: *H. Turcotte*

PYLON ELECTRONIC DEVELOPMENT company, Ltd.

147 Colonnade Road, Ottawa, Canada K2E 7L9 Tel.: (613)226-7920, Telex 053-4961

Figura 22 - Folha 2 - Certificado de calibração da fonte de Radio (Ra-226).

II Description Serial Number 338560

The Type RN-1025 Flow Through Radon Gas Source is used for the calibration of instrumentation where a precise quantity of radon gas must be continuously available.

The Type RN-1025 Flow Through Radon Gas Source houses a dry radiation standard which contains 1.03 μCi of Radium (Ra-226). The absolute source strength has been calibrated against NBS Standards and is accurate to $\pm 4\%$.

256 $\mu\text{Ci/minute}$ of Radon Gas (Rn-222) is continuously available.

Figura 23 - Folha 3 - Certificado de calibração da fonte de Radio (Ra-226).