

# Emissão de radônio em rochas ornamentais

*Yasmin Gavioli<sup>1</sup>, Julio Correia<sup>1</sup>, Adriano Caranassios<sup>1</sup>, Roberto Ribeiro<sup>2</sup>, Vicente Melo<sup>2</sup>*

## RESUMO

*As organizações representativas do setor de rochas ornamentais procuraram a Comissão de Energia Nuclear por meio do Centro de Tecnologia Mineral – Espírito Santo solicitando auxílio quanto a avaliação de níveis de radiação em rochas ornamentais brasileiras, exportadas para os EUA e utilizadas como material de revestimento em residências. Tais exposições indevidas estariam supostamente sendo provocadas pela exalação de radônio proveniente de granitos “exóticos” que estariam aumentando o risco de câncer de pulmão. Com base nisto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a taxa de exalação de radônio de placas de revestimento em ambientes indoor, por meio de técnicas nucleares e uso modelos de cálculo de dose consagradas internacionalmente. Para tanto, foram realizadas as caracterizações radiométrica e mineralógica de três tipos de rochas silicáticas utilizadas para revestimento, determinando as taxas de exalação e concentração de atividade do radônio nos materiais escolhidos.*

## INTRODUÇÃO

O setor industrial de rochas ornamentais do Brasil produz uma grande variedade de granitos, mármore, quartzitos etc., atingindo ao todo cerca de 500 tipos diferentes de rochas. As rochas ornamentais são normalmente classificadas da seguinte forma: por nomes comerciais, pelo estado produtor, pelas origens geológicas e composição mineralógica; entretanto, não são classificadas quanto à concentração de substâncias radioativas. O estudo das concentrações de radioelementos em rochas graníticas é importante devido a dois motivos: por se tratar de uma importante ferramenta técnica, visto que estas concentrações podem ser usadas para a classificação petrográfica de granitos, e devido a problemas radiológicos, uma vez que a presença de elementos radioativos proporciona aumento nos níveis de radiação presente na construção civil.

Nas áreas de geologia e de proteção radiológica ambiental, os granitos são exemplos importantes de rochas que apresentam em sua constituição um enriquecimento natural de urânio – 238 ( $^{238}\text{U}$ ); tório - 232 ( $^{232}\text{Th}$ ) e potássio – 40 ( $^{40}\text{K}$ ), quando comparado com outros tipos de rochas, de tal forma que as concentrações destes elementos radioativos estão intimamente correlacionadas com suas respectivas composições minerais e características petrológicas gerais (Whitfiel et al. 1959).

Em termos de mobilidade, o urânio tende a ser altamente móvel perto da superfície da rocha, enquanto o tório é um elemento inerte. Assim, o urânio pode ser facilmente oxidado na forma de solução aquosa e removido dos granitos e pegmatitos por meio do processo de lixiviação e redepositado em sedimentos longe da rocha de origem. Por outro lado, o tório, que é relativamente estável e bem menos solúvel que o urânio e o potássio, não representam uma fácil mobilidade, a não ser por meios mecânicos, como o vento ou pelo processo de erosão. Assim, estas características petrológicas de rochas graníticas associadas aos efeitos do tempo e

---

<sup>1</sup> Centro de Tecnologia Mineral - CETEM-RJ. E-mail: ygavioli@cetem.gov.br

<sup>2</sup> Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD) – RJ. E-mail: vicente@ird.gov.br

do metamorfismo produzem alterações expressivas nos diagramas de concentrações dos radionuclídeos naturais: Th, U, K, Th/U e Th/K. Consequentemente, as concentrações de tório, urânio e de potássio em diferentes amostras de granito resultam em sequências individuais de diferenciação deste tipo de rocha (Anjos *et al.* 2004).

### **Radioatividade em materiais de construção**

Pode-se afirmar que o campo de radiação gama existente no interior de uma residência, proveniente dos materiais de construção, é originado, principalmente, pelo decaimento dos radionuclídeos pertencentes às cadeias do  $^{238}\text{U}$  e do  $^{232}\text{Th}$ , além do  $^{40}\text{K}$ . Nas cadeias de  $^{238}\text{U}$  e do  $^{232}\text{Th}$  existem um número de 16 emissores de radiação gama que emitem radiações com taxa de emissão maior que  $10^{-3}$  fótons por desintegração (Rosa, 1997). A radiação gama, que decorre do decaimento dos radionuclídeos naturais que estão presentes nos materiais utilizados em construção, é gerada de forma isotrópica e, conseqüentemente, com isso, apenas uma fração das emissões originais provavelmente devem atingir o indivíduo exposto no interior da construção (Fernandes *et al.* 2004).

### **Radônio em residências**

A principal forma de entrada do radônio nas residências é por meio de alicerces: espaços entre o solo e o assoalho de porões, drenos, bombas de esgoto, solo exposto, pontos de ligação da construção (argamassa, ligação entre o chão e a parede, canos frouxos ou soltos). O Office of the Surgeon General (órgão americano correspondente ao Ministério da Saúde brasileiro), e a Environmental Protection Agency (EPA) recomendam que se façam testes em todas as casas para detectar a presença de radônio.

A ingestão de água, bem como a inalação de ar com altos níveis do gás radônio, pode representar um risco direto à saúde da população, uma vez que expõe à radiação ionizante células sensíveis dos aparelhos respiratório e gastrointestinal, possibilitando, assim, o adoecimento em virtude da ocorrência de alguns tipos de câncer nesses órgãos. Acredita-se que o radônio é um importante causador de câncer de pulmão, matando cerca de 10 mil am

Os resultados desse trabalho são de grande importância para estudos de proteção radiológica ambiental, uma vez que os granitos são largamente utilizados na ornamentação e revestimento de interiores. Esse interesse tem se tornado tão expressivo que vários países da Europa e da Ásia têm imposto barreiras para a comercialização de granitos brasileiros, uma vez que nas rochas ornamentais raramente são avaliadas com relação à radiação no Brasil. Por outro lado, a origem e os defeitos da radioatividade é um tema pouco difundido no Brasil, sendo assim, é comum surgirem boatos infundados sobre perigos de radioatividade. Infelizmente, este problema não escapa nem do meio acadêmico e científico, quando por vezes é observada a divulgação de conceitos errados sobre estimativas e cálculos de efeitos de taxas de dose de radiação natural sobre a população. Tal fato alimenta a permanência deste ciclo vicioso de inúmeras idéias falsas sobre este tema.

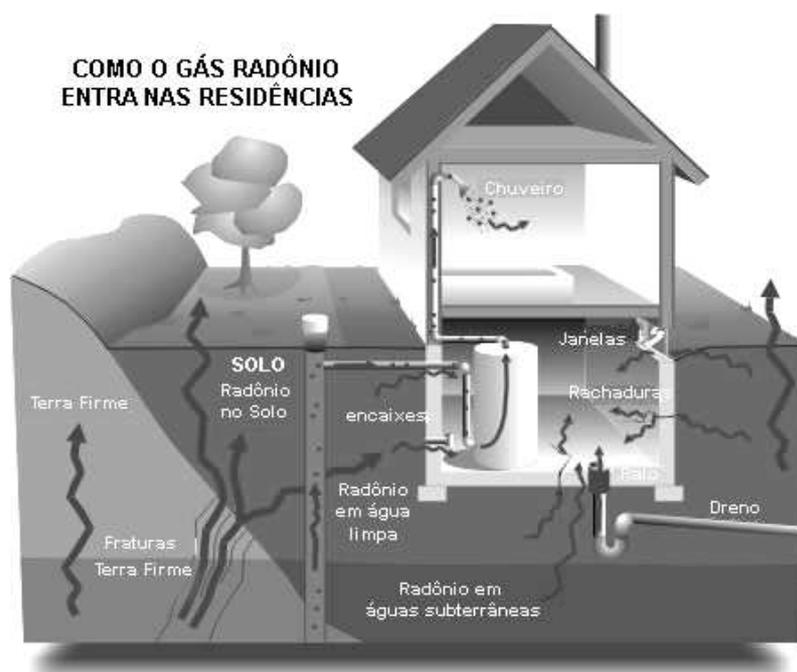


Figura 1 - Como o gás radônio entra nas residências

### Radônio

É um gás incolor, inodoro e sem sabor, além de 7,58 vezes mais pesado que o ar e mais de cem vezes mais pesado que o hidrogênio natural, origina-se do rádio, um membro das séries de decaimento do urânio e tório. Está presente em praticamente todos os lugares da crosta terrestre, e por ser um gás tem a propriedade de se acumular em ambientes fechados como residências, construções, cavernas, minas e túneis. O isótopo  $^{222}\text{Rn}$  é um emissor alfa ( $T_{1/2} = 3,82$  dias) e, juntamente com seus filhos não gasosos  $^{218}\text{Po}$  e  $^{214}\text{Po}$ , é responsável por aproximadamente 50% da dose efetiva equivalente produzida pela radiação ionizante natural. Existe também o  $^{219}\text{Rn}$  e o  $^{220}\text{Rn}$ , que são produtos da série de decaimento do  $^{235}\text{U}$  e  $^{232}\text{Th}$ , respectivamente. Eles têm o tempo de meia-vida muito pequeno quando comparado ao  $^{222}\text{Rn}$ , sendo o do  $^{219}\text{Rn}$  de 3,96 segundos e o do  $^{220}\text{Rn}$  de 55,6 segundos, assim o radônio-222 é o único capaz de migrar para dentro das casas e gerar preocupações na área da saúde (Chyi, 2008).

O gás radônio é totalmente natural e se forma durante o decaimento do urânio-238, ou seja, tudo começa com átomo de urânio-238.

A Tabela 1, a seguir, ilustra o decaimento do urânio-238 até chegar ao chumbo-206 (Craig, 2008).

ELEMENTO ORIGINAL	ELEMENTO TRANSFORMADO	TEMPO DE MEIA-VIDA	EMISSÃO
Urânio - 238	Tório - 234	4,5 bilhões de anos	Uma partícula alfa
Tório - 234	Protactínio - 234	24,5 dias	Uma partícula beta e um raio gama
Protactínio-234	Tório - 230	269 mil anos	Uma partícula beta e um raio gama
Tório - 230	Rádio - 226	83 mil anos	Uma partícula alfa e um raio gama
Rádio - 226	Radônio - 222 *	1590 anos	Uma partícula alfa e um raio gama
Radônio - 222 *	Polônio - 218	3,925 dias	Uma partícula alfa
Polônio - 218	Chumbo - 214	3,05 minutos	Uma partícula alfa
Chumbo - 214	Bismuto - 214	26,8 minutos	Uma partícula beta e um raio gama
Bismuto - 214	Tálio-210 ou Polônio-214	19,7 minutos	Uma partícula alfa ou uma beta e um raio gama
Polônio - 214	Tálio - 210	150 microssegundos	Uma partícula alfa
Tálio - 210	Chumbo - 210	1,32 minutos	Uma partícula beta
Chumbo - 210	Bismuto - 210	22 anos	Uma partícula beta e um raio gama
Bismuto - 210	Polônio - 210	5 dias	Uma partícula alfa e um raio gama
Polônio - 210	Chumbo - 206 **	138 dias	Uma partícula alfa e um raio gama

\* Radônio é um átomo que forma um gás e possui meia-vida de apenas 3,825 dias. O acúmulo de átomos de radônio resultante do decaimento espontâneo de urânio-238 é a origem do gás radônio, o que significa que as concentrações desse gás são maiores nos locais em que o urânio é mais abundante no solo.

\*\* É um isótopo estável do chumbo.

Tabela 1 - Decaimento do Urânio-238

### Limites Aceitáveis de Gás Radônio

A exposição ao gás Radônio ocorre por inalação, que causa contaminação interna pela deposição de sua energia de decaimento e dos “filhos” na massa dos tecidos e órgãos (dose). Entretanto, de acordo com os padrões básicos vigentes de proteção contra as radiações ionizantes e a segurança de fontes de radiação (SAFETY SERIES No 115), qualquer exposição cuja magnitude ou probabilidade seja essencialmente de natureza tal que o estabelecimento de controles é considerado impraticável deve ser excluída de regulação. O valor de concentração de atividade usado como limite de exclusão é, de acordo com o guia de segurança da Agência Internacional de Energia Atômica (SAFETY STANDARDS SERIES No. RS-G-1.7), de 1 Bq/g para as séries do 238U e 232Th, sendo o valor referido ao precursor (“pai”) de cada série e de 4 Bq/g para o 40K. Esse valor foi determinado com base na distribuição global das concentrações de radionuclídeos em solos.

Se esse valor de referencia for observado, não é necessária nenhuma ação adicional para reduzir exposições de matérias contendo radioisótopos em teores abaixo do mesmo. Segundo a norma citada acima, o comercio nacional e internacional de commodities contendo 238U e 232Th com concentrações inferiores a 1 Bq/g não deverá ser sujeito ao controle regulatório para propósitos ligados a radioproteção. Nessas condições não são esperadas doses que excedam o limite de isenção de 0,3 mSv.ano-1. Para atividades que excedam o valor de referência por grande diferença (e.g. até 10 vezes maior) a autoridade regulatória poderá ou não exercer controle de acordo com uma avaliação caso a caso. Se couber, a severidade das medidas que poderão ser aplicadas dependerá do nível do risco associado ao material.

No caso específico da exposição ao radônio em residências, são previstas, de acordo com o Safety Series 115, ações em relação à exposição crônica quando os níveis de concentração média anual estiverem entre 200 e 600 Bq/m<sup>3</sup> ou acima de 4 pCi/L de acordo com o guia da US EPA. Normalmente, nesses casos inicia-se uma investigação sobre a origem do mesmo, o qual

pode estar relacionado desde os diversos materiais de construção até as características do solo e histórico do sítio. Ações de remediação só são justificáveis em níveis superiores a 600 Bq/m<sup>3</sup> ou 20 p Ci/L, de acordo com uma análise de custo-benefício, onde fatores sócio-econômico devem ser considerados. Por outro lado, não existe qualquer referência ou limite adotado quanto às taxas de exalação de matérias específicas, uma vez que a exportação dependerá das condições de utilização de cada material, além de vários outros parâmetros.

### Objetivo

Este trabalho visa à avaliação da taxa de emissão do gás radônio em rochas ornamentais brasileiras, tendo em vista a grande importância desses resultados para a saúde dos seres humanos e a influência destes sobre a economia do país.

### MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foram analisados três tipos de amostras granitos, conhecidos comercialmente como *Crema Bordeaux*, *Mombassa* e *Golden*, que foram selecionados devido à alta taxa de exportação para a utilização desses granitos na construção civil internacional. As amostras encontravam-se na forma de placas (15 cm x 30 cm x 2 cm) polidas e sem resina. Foram feitos dois tipos de estudos para avaliar a taxa de emissão de gás <sup>222</sup>Rn nestas, sendo um necessário o preparo das amostras e o outro utilizando as rochas no seu estado natural.

#### Rochas no Estado Natural

O estudo em que não foi necessário qualquer tipo de preparação da amostra consistiu de uma câmara de aço inox com 20L e tampas removíveis seladas para retenção do gás. As tampas foram previamente testadas para que houvesse a constatação de nenhum vazamento. Neste trabalho, foram postas, juntamente, duas placas de rochas ornamentais, com as medidas já mencionadas anteriormente, que foram deixadas neste sistema durante sete a oito dias. O gás formado foi injetado em um analisador de gás radônio Alpha Guard 2000 PRQ (Genitron Instruments) em ciclos de uma e duas horas. Durante o período de avaliação, acionou-se um microventilador, que se encontrava dentro da câmara, para que houvesse a circulação do ar interno e assim uma melhor constatação na medida do gás pelo aparelho utilizado. O crescimento da atividade do radônio na câmara permitiu estimar o valor da atividade final para um período correspondente a sete meias-vidas do radônio.

É possível saber a taxa de emissão do gás de cada amostra dentro da câmara por meio da equação 1.

$$A_t = A_0 (1 - e^{-\lambda t}) \quad (1)$$

onde  $\lambda$  é a constante de decaimento do nuclídeo em questão e  $A_0$  é o valor final da atividade durante  $t \sim 7 T_{1/2}$ , aproximadamente 27 dias no caso do gás Rn. A unidade da atividade final  $A_0$  é Bq m<sup>-3</sup>. Esse valor multiplicado pela constante de decaimento do radônio ( $\lambda = 2,724 \times 10^1 \text{ s}^{-1}$ ) e pela razão entre o volume do recipiente ( $V = 20,0 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ ) e a área do granito,  $F$ , permite obter a taxa de exalação de radônio por unidade de área deste, que é definida como o fluxo de radônio liberado da superfície do material analisado,  $E$ , em Bq m<sup>-2</sup>. s<sup>-1</sup>, ou seja, Becquerel por metro quadrado por segundo, representado na equação 2.

$$E = A_0 \lambda (V / F) \quad (2)$$

Tendo em vista a comparação da emissão de gás radônio com a quantidade de rádio nas amostras foi calculada a “taxa final de emissão de Rn por unidade de massa” com unidade em Bq Kg<sup>-1</sup>, usando a equação 3.

$$C_{Rn} = (A_0 V) / m \quad (3)$$

onde  $m$  é a massa da amostra e  $A_0$  e  $V$  já foram definidos nas Eqs. (1) e (2), respectivamente.

### 3.2 Rochas Moídas

Para o estudo em que foi necessário o preparo das amostras utilizou-se uma análise de espectro- gama. Para tal, foi feita a britagem, moagem e peneiramento a seco.

Neste trabalho, as placas das amostras foram britadas e levadas para a moagem, tendo a conversão a pó ou a pulverização com o auxílio de um pulverizador (Fritsch). O pulverizador foi utilizado com cautela, pois as amostras deveriam, na sua maioria, ficar entre 0,177 mm e 0,149 mm após o peneiramento para se obter um melhor rendimento na análise espectro gama. Logo, foram postas pequenas quantidades de amostra no recipiente do pulverizador (feito de titânio para evitar qualquer tipo de contaminação das amostras), em 400 r.p.m. durante 2 minutos. Depois de retiradas, as amostras moídas eram postas numa pilha de peneiras de 2,360 mm (para retirar as bolas de titânio do pulverizador), 0,177 mm e 0,149 mm, respectivamente, e levadas para o Ro-tap, aparelho de agitação, onde ficaram por cerca de 10 minutos, para que houvesse a total separação da amostra nas peneiras. Apesar da preferência de amostras entre 0,177 mm e 0,149 mm, também foram utilizadas outras amostras que se encontravam abaixo de 0,149 mm. Antes de misturar e homogeneizar estas, foi feita a análise granulométrica, em que se calculou a porcentagem de quanto estava acima ou abaixo de 0,149 mm. Após o peneiramento, as amostras estavam prontas para a análise espectro-gama. Estas foram acondicionadas em recipientes, onde permaneceram em repouso por 30 dias antes de serem medidas no detector (necessário para atingir o equilíbrio secular). Foram empregados detectores de espectrometria gama de alta pureza (Germânio HPGe), que permitiu a identificação da emissão gama do  $^{40}\text{K}$  e dos filhos das séries do U e Th. O tempo de contagem para determinação da concentração de atividade desses núclídeos, em Bq/g, varia de oito a 16 horas, de acordo com a atividade do material. Assim, foi possível comparar os resultados obtidos com o limite de exclusão preconizado pela Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Análise Granulométrica

A Tabela 2 indica os resultados da análise granulométrica feita nas amostras de *Crema Bordeaux*, *Mombassa* e *Golden*.

Tabela 2 - Análise Granulométrica das Amostras

Fração Granulométrica (mm)	Crema Bordeaux Massa (%)	Mombassa Massa (%)	Golden Massa (%)
+ 0,177	0	0	0
- 0,177 + 0,149	10,29	16,52	10,59
-0,149	89,71	83,48	89,41
Total	100	100	100

### Taxa de Emissão de Gás $^{222}\text{Rn}$

A Figura 2 representa os resultados do teste de avaliação da taxa de emissão de gás radônio nas amostras em seu estado natural, podendo-se observar que as taxas para as amostras

*Crema Bordeaux, Mombassa e Golden* foram muito baixas,  $3,10 \times 10^{-3}$  (Bq/m<sup>2</sup>/s),  $1,60 \times 10^{-3}$  (Bq/m<sup>2</sup>/s),  $6,84 \times 10^{-4}$  (Bq/m<sup>2</sup>/s), respectivamente.

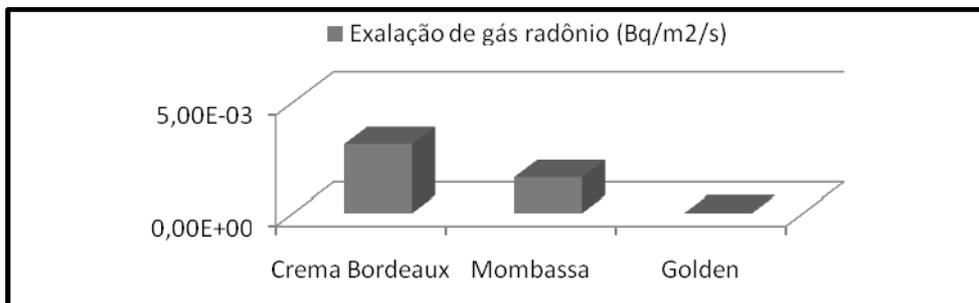


Figura 2 - Taxa de emissão de radônio em cada amostra no seu estado natural

### Análise Radiométrica/Radioquímica

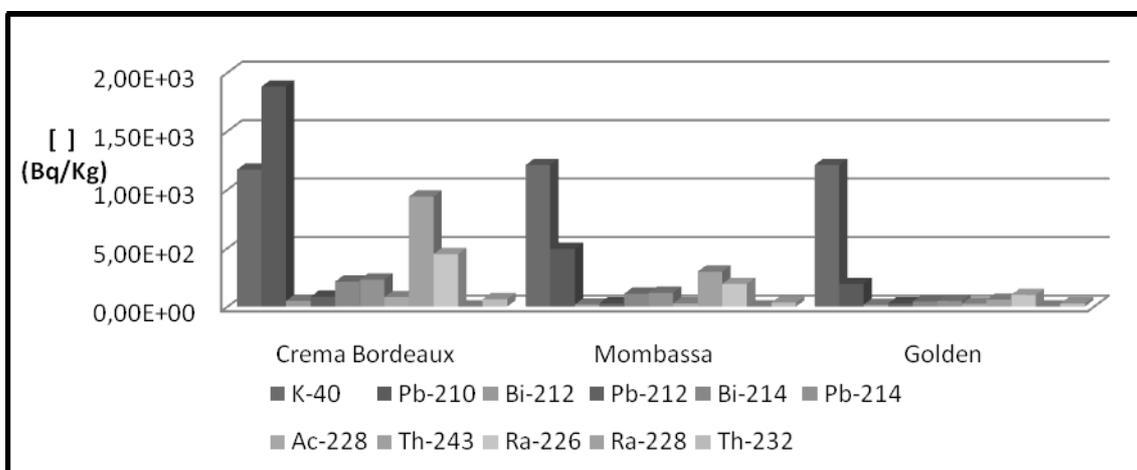


Figura 3 - Distribuição dos Radionuclídeos nas Amostras

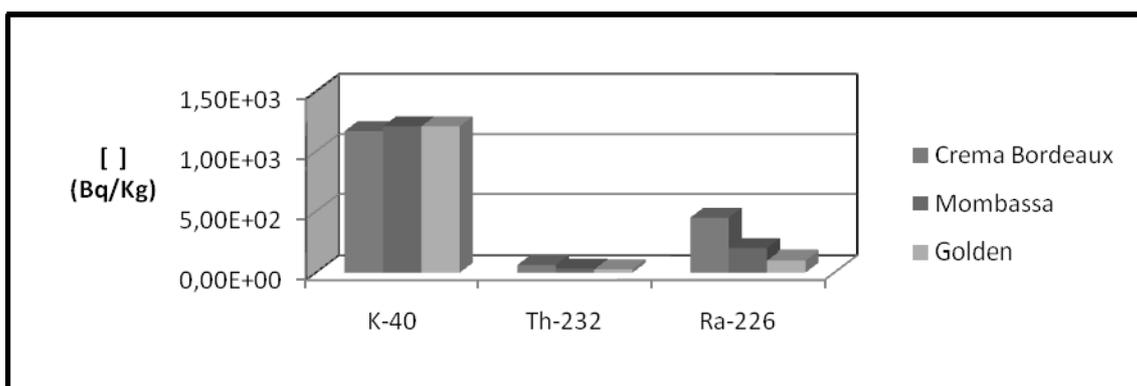


Figura 4 - Principais Radionuclídeos

A Figura 3 apresenta os resultados das análises realizadas em três amostras. As determinações de Ra, K, Th e Gama foram realizadas após o equilíbrio dos radionuclídeos (30 dias) e com um detector de germânio, conforme dito anteriormente na metodologia. As determinações foram feitas por contagens alfa e beta, em um detector proporcional de baixo background, após separações químicas e as medidas de Tório por espectrometria com arsenazo III.

A exposição à radiação se deve, principalmente, aos radionuclídeos expostos determinados na Figura 4. Em que, os elementos  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$  e  $^{226}\text{Ra}$  são formados, por suas séries de decaimento, os gases radioativos  $^{219}\text{Rn}$ ,  $^{220}\text{Rn}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ , respectivamente.

## CONCLUSÃO

De acordo com os resultados desse trabalho, observou-se que a taxa de exalação de gás radônio nas amostras analisadas foi muito inferior as taxas de emanações permitidas pelos órgãos internacionais. Tendo o  $^{222}\text{Rn}$ , radionuclídeo mais perigoso para a saúde humana, apresentado uma das menores taxas de exalação de todos os tipos de radônio. Assim, pode se concluir que os granitos analisados nesse estudo não apresentaram índices preocupantes no que tange a exalação de gás radônio.

## REFERÊNCIAS

- Anjos, R. M., Veiga, R. T. Soares, A.M.A. Santos, J.G. Aguiar, M.H.B.O., Frascá, J.A.P.** et al. Natural Radionuclide Distribution in Brazilian Commercial Granites, Radiation Measurements, 2004.
- Brodsky, A.** Handbook of Radiation Measurement and Protection. CRP Press disponível em: [www.physics.isu/radiumf/natural.html](http://www.physics.isu/radiumf/natural.html), 1978.
- Chyi, L. L.** Radon Testing of Varius Countertop Materials Final Report, 2008.
- Craig Freudenrich, Ph.D., Marshall Brain.** Disponível em: <http://ciencia.hsw.uol.com.br/radonio1.htm>. Acessado em 12 de dezembro de 2008.
- Fernandes, H.M.; Rio, M. A. P.; Franklin, M.R.** Impactos Radiológicos da Indústria do Fosfato. Série Estudos & Documentos, n. 56, ISSN 0103-6319, CETEM, 2004.
- HyperPhysics.** Disponível em: <http://hyperphysics.phy-astr.gu.edu/hbase/nuclear/radon.html>. Acessado em: 20 de janeiro de 2009.
- IARC - Agência Internacional de Pesquisa em Câncer.**
- Office of the Surgeon General – OSG.** Disponível em: [www.surgeongeneral.gov/](http://www.surgeongeneral.gov/). Acessado em: 25 de fevereiro de 2009.
- Rosa, R.** Exposição Potencial a Radiação Natural no Interior de Residências Devido ao Uso do Fosfogesso na Indústria da Construção Civil. [Tese de Mestrado]. Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Universidade de Federal do Rio de Janeiro. 122p., 1997.
- US EPA - United States Environmental Protection Agency.** Disponível em: [www.epa.gov/](http://www.epa.gov/). Acessado em 21 de janeiro de 2009.
- Whitfiel J. M. ; Rogers, J. J. W.; Adams J. A. S.** The relationship between the petrology and the thorium and uranium contents of some granitic rocks. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 1959:17: 248-271.