

## AVALIAÇÃO DA EMANAÇÃO DO GÁS RADÔNIO EM DIFERENTES FAIXAS GRANULOMÉTRICAS DE AGREGADOS UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

EL HAJJ, T.M.<sup>1</sup>, LIMA, M.D.R.<sup>2</sup>, GOMES, W.L.<sup>3</sup>, GANDOLLA, M.<sup>4</sup>,  
DELBONI JR., H.<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Universidade de São Paulo (USP), Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Laboratório de Simulação de Controle de Processos, e-mail: thammiris.poli@usp.br

<sup>2</sup>Universidade de São Paulo (USP), Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Laboratório de Simulação de Controle de Processos, e-mail: mtdelai@gmail.com

<sup>3</sup>Universidade de São Paulo (USP), Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Laboratório de Simulação de Controle de Processos.

e-mail: wellingtonlacerdagomes@gmail.com

<sup>4</sup>Università della Svizzera italiana (USI), e-mail: mauro.gandolla@ticino.com

<sup>5</sup>Universidade de São Paulo (USP), Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Laboratório de Simulação de Controle de Processos, e-mail: hdelboni@usp.br

### RESUMO

O gás radônio (Rn) é gerado a partir de qualquer material que contenha um dos três precursores das séries radioativas naturais. Como o radônio é emissor de partículas alfa, uma vez respirado, a partícula alfa pode ser emitida de dentro do corpo humano e incidir diretamente sobre algumas das células mais sensíveis a efeitos radioativos, como as do pulmão. Um exemplo de material que gera este gás é a brita utilizada como material de construção. O objetivo deste estudo foi apresentar uma comparação entre a emanação de gás radônio em diferentes frações granulométricas de três britas diferentes. O método do trabalho consistiu em visitar pedreiras para obtenção de amostras e posterior tratamento destas. As etapas de tratamento do minério foram: britagem, homogeneização, peneiramento a seco, lavagem das alíquotas para retirada dos finos arrastados com as frações mais grossas e secagem em estufa. Após a etapa de tratamento, foram realizadas as medições da emanação de gás radônio utilizando uma Câmara de Lucas para mensurar a quantidade de raios alfa em Bq/m<sup>3</sup>. Esta medida foi realizada com o auxílio de um tubo confeccionado especialmente para acondicionar a amostra. Os resultados mostraram um aumento da emanação conforme a granulometria do material diminuiu, e mostraram que a maior parte do Radônio em duas das amostras aparece na forma do isótopo Torônio. Foi também realizada uma comparação entre a medida com Célula de Lucas e um monitor de contaminação que realiza a medição de raios alfa separadamente dos raios beta e gama nas amostras.

**PALAVRAS-CHAVE:** radônio; mineração; material de construção; tratamento de minérios.

### ABSTRACT

The radon gas (Rn) is generated from any material containing one of the three precursors of the natural radioactive series. Since radon is an alpha particle emitter, when a human being breathes it, the alpha particle can be emitted from within the human body and is directly blown onto some of the cells more sensitive to radioactive effects, such as lung. An example of this gas generating material is crushed stone

used as building material. The objective of this study was to present a comparison between the radon gas emanation in different size fractions of three different gravel. The work method was to visit quarries to obtain samples and subsequent treatment of these. Ore processing steps were: crushing, mixing, dry screening, washing rates to remove the fine dragged with the most coarse fractions and drying them in an stove. After the step of treatment, there were measurements of radon gas emanation using a Lucas camera to measure the amount of alpha rays in Bq/m<sup>3</sup>. This measurement was performed with the aid of a tube made especially for conditioning the sample. The results showed that the emanation increases when the particle size of the material decreases; and the results also showed that most part of the Radon from two samples appears in the form of thoron isotope. A comparison between the measurement using the Lucas cell and using the contamination monitor which performs the measurement of alpha rays separately from the beta and gamma in the samples was also performed.

**KEYWORDS:** radon; mining; building material; ore treatment.

## 1. INTRODUÇÃO

Radônio é um elemento químico que se apresenta na forma de gases radioativos. A exposição prolongada a níveis elevados destes gases pode implicar em um aumento significativo nas chances da pessoa exposta desenvolver câncer de pulmão. Para se estudar os principais aspectos da proteção ao radônio é necessária uma abordagem multidisciplinar: envolvendo desde conceitos químicos e físicos das radiações até aspectos geológicos e de engenharia.

Apesar de ser um problema pouco conhecido, o radônio é a segunda maior causa de câncer de pulmão no mundo, atrás apenas do cigarro (WHO, 2009). O câncer de pulmão é uma doença bastante agressiva, em média menos de 20% dos diagnosticados sobrevivem mais de cinco anos após a doença constatada (AMERICAN LUNG ASSOCIATION, 2014).

Os isótopos de urânio  $U^{235}$  e  $U^{238}$  e o isótopo de tório  $Th^{232}$  são os elementos percursores das três séries de radioativas naturais e são geradores dos três isótopos de radônio ( $Rn^{222}$ ,  $Rn^{220}$  e  $Rn^{219}$ ). Devido a estes elementos estarem naturalmente dispersos pela crosta terrestre, sendo, por exemplo, cerca de mil vezes mais comuns que o ouro (HAXEL, HENDRICK e ORRIS, 2007), faz-se necessária a avaliação de minerais utilizados na construção civil, pois estes geram emissão de radiação intrínseca à construção.

O objetivo deste estudo foi comparar a emissão de gás radônio em diferentes frações granulométricas de três tipos diferentes de britas, visando proteger a saúde tanto dos trabalhadores que operam a extração desse material quanto das pessoas que frequentam construções feitas a partir deles. Assim, a intenção deste estudo não é apenas verificar o Radônio em três diferentes amostras, mas, sim, divulgar e contribuir com a discussão sobre a proteção contra o gás Radônio que é uma discussão não só sobre matérias prima minerais, mas sim sobre saúde pública e bem estar da população.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizadas coletas de amostras em três pedreiras de granito. A coleta foi realizada em uma pilha de material grosseiro (*top size* 25 cm), pois o objetivo era realizar a cominuição controlada deste material em laboratório. A Tabela 1 mostra um sumário das amostras coletadas.

Tabela 1. Descrição das amostras.

Amostra	Empresa
A	Pedreira pertencente a uma empresa de grande porte, em Itapeverica da Serra. O material é um granito.
B	Pedreira de grande porte, com produção horária de 600m <sup>3</sup> /h, localizada em Guarulhos. O material é um granito.
C	Empresa C: Pedreira de pequeno porte, na cidade de São Sebastião. O material é um granito.

## 2.1. Preparação de amostras

A preparação das amostras foi realizada de acordo com o fluxograma apresentado na Figura 1.

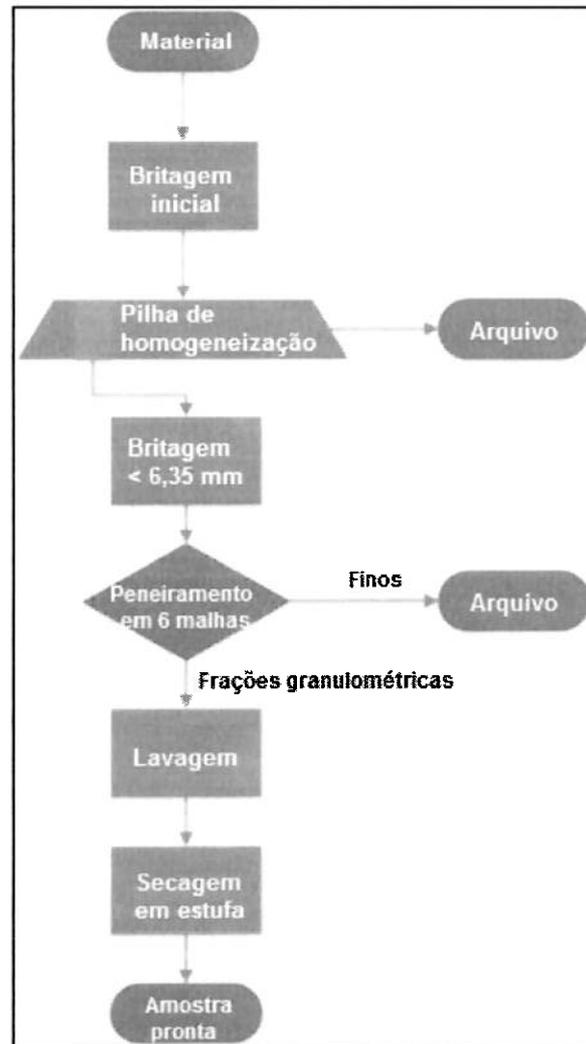


Figura 1. Fluxograma de preparo de amostras.

A cominuição de cada amostra foi realizada de forma controlada, primeiro em um britador de mandíbulas e depois em um britador de rolos. Na segunda etapa de cominuição realizada no britador de rolos, utilizou-se uma peneira para escalpe de finos e garantia de 95% do produto passantes na malha 6,35 mm. Após esta etapa, foi realizado um peneiramento em 5 malhas adicionais (4,35 mm; 2,36 mm; 1,70 mm; 1,19 mm e 0,84 mm) com peneiras de laboratório com 20 cm de diâmetro.

As frações foram lavadas após o peneiramento para evitar que materiais finos aderidos a superfície dos grãos interferissem nas medidas. Após a lavagem, todas as amostras foram secas em estufa e então quarteadas em quarteador tipo Jones para retirada de alíquotas de 200g. Assim, cada uma das três amostras (A, B, C) gerou 5 alíquotas que foram submetidas à análise de emanção de gás radônio.

## 2.2. Medição de radônio

O equipamento utilizado para medir a concentração de radônio no ar foi o RadonMapper (Figura 2), fabricado pela TECNAVIA. Seu funcionamento se baseia na Célula de Lucas, ou seja, uma célula de medição revestida internamente pela substância ZnS(Ag), que emite uma cintilação cada vez que é atingida pelo produto de um decaimento Alfa. Essas cintilações são contadas, e a partir do intervalo entre elas e do volume conhecido da célula o equipamento é capaz de fornecer a concentração desses elementos na unidade de becqueréis por metro cúbico (Bq/m<sup>3</sup>).

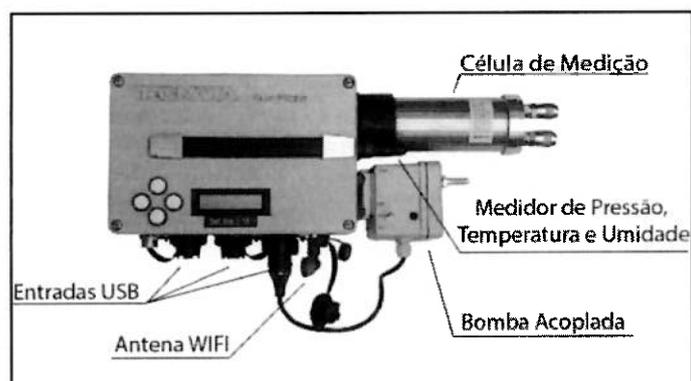


Figura 2. Equipamento RadonMapper utilizado nas medições.

Este equipamento tem diversos selos de aprovação por instituições europeias, por exemplo, o Paul Scherrer Institut do Governo Federal da Suíça, a Agência Nacional para Novas Tecnologias, Energia e Desenvolvimento Econômico Sustentável da Itália (ENEA), e foi calibrado na sede da TECNAVIA, na Suíça.

Para que houvesse uma vazão de ar passado pela amostra foi utilizada uma bomba de ar acoplável, própria do RadonMapper, responsável por manter uma vazão constante máxima de 0,75l/min durante o experimento. Toda medição realizada por este equipamento foi automaticamente enviada à internet, através da função de rede do equipamento para um servidor da TECNAVIA, de onde os dados puderam ser carregados.

Para medição na brita foi utilizado um tubo para acondicionamento da amostra. O tubo, construído especificamente para este experimento, é um cilindro de acrílico, com duas pontas de PVC rosqueáveis (projeto do tubo ilustrado na Figura 3). Tanto

na entrada como na saída de ar do tubo há filtros de material particulado, para impedir que o material mais fino seja carregado para fora pelo fluxo de ar. Uma fotografia dele está na Figura 3.

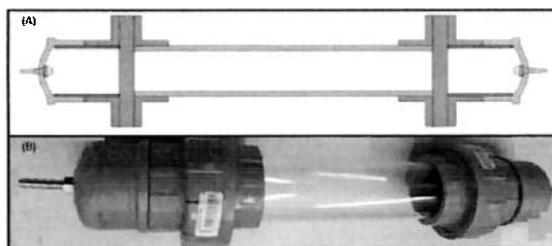


Figura 3. (A) Projeto utilizado para elaboração do tubo de acondicionamento de amostra e (B) tubo para acondicionamento da amostra.

Cada alíquota foi acondicionada no tubo de medição e conectada ao sistema (Figura 4). O sistema consistiu em três equipamentos RadonMapper ligados, uma das unidades mediu o *background* da sala e os outros dois foram conectados em série. O item vermelho na Figura 4 é um medidor fluxo utilizado para controlar a vazão da bomba acoplada ao terceiro equipamento.

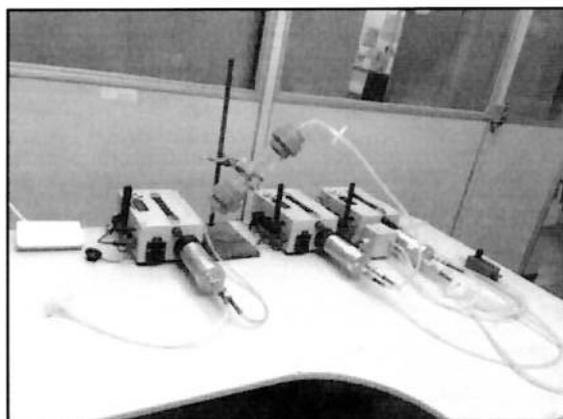


Figura 4. Arranjo dos equipamentos para medição em laboratório.

### 2.3. Medição de radiação Alfa, Beta e Gama

O medidor de radiação da marca S.E.A, de modelo CoMO170 (Contamination Monitor) é um equipamento utilizado na rotina de algumas indústrias para medir e verificar as emissões de radiação alfa, beta e gama. Este equipamento funciona através de plástico permeável a essas radiações, que dá acesso a uma câmara de cintilação usada para fazer a contagem de decaimentos.



Figura 5. Monitor de contaminação radioativa SEA CoMo170.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o experimento, a massa de amostra colocada no tubo de medição (200g) e a vazão de ar (0,2 l/min) foram mantidas constantes durante todo o experimento. As variáveis ambientais, que não puderam ser controladas, foram registradas pelos medidores do equipamento RadonMapper, e seus valores médios são: 25,7°C de temperatura, 931,4 hPa de pressão atmosférica e 46,8% de umidade relativa do ar.

#### 3.1. Medições com Radon Mapper

O equipamento RadonMapper fornece a concentração de Radônio no ar, em Becqueréis por metro cúbico, a cada minuto. Como a vazão de ar e a massa da amostra são conhecidas, torna-se possível realizar o cálculo apresentado na Equação 1.:

$$\text{Média de Radônio} \left[ \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \right] \times \text{Vazão de ar} \left[ \frac{\text{l}}{\text{min}} \right] \div \text{Massa da amostra} [\text{kg}] = \left[ \frac{\text{Bq}}{\text{g} \cdot \text{min}} \right] \quad (1)$$

As amostras A e B apresentaram o resultado esperado: a emissão de gás aumentou com a diminuição da granulometria de material. A amostra C não apresentou quantidade suficiente de gás emanado que possibilitasse a percepção deste comportamento. O sumário dos resultados das medições está apresentado nas Tabelas 2, 3 e 4 e na Figura 6.

Tabela 2. Resultados de emissão de radônio – Amostra A.

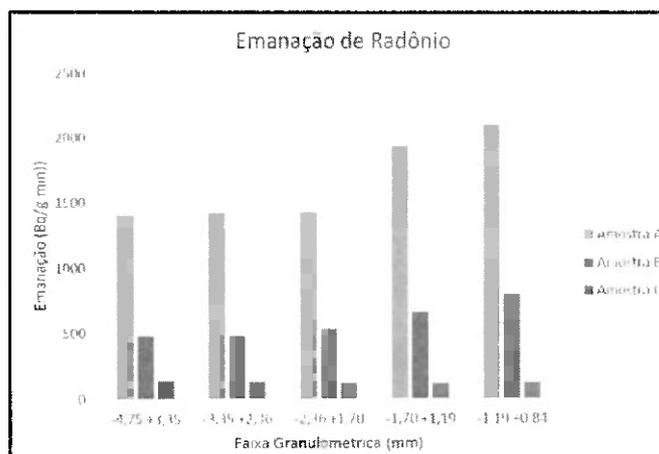
Peneiras (mm)	Amostra A [Bq g <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup> ]			
	Entrada		Saída	
	Média	Desvio	Média	Desvio
-4,75 +3,35	23,25	3,20	1424,88	35,48
-3,35 +2,36	42,91	1,72	1463,79	32,82
-2,36 +1,70	35,61	1,85	1456,77	29,87
-1,70 +1,19	69,47	1,83	2006,09	31,23
-1,19 +0,84	41,38	4,69	2143,88	34,64

Tabela 3. Resultados de emissão de radônio – Amostra B.

Peneiras (mm)	Amostra B [Bq g <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup> ]			
	Entrada		Saída	
	Média	Desvio	Média	Desvio
-4,75 +3,35	31,03	3,50	506,68	13,87
-3,35 +2,36	29,76	1,83	502,93	14,24
-2,36 +1,70	22,00	1,86	550,75	16,51
-1,70 +1,19	35,31	1,79	693,84	14,83
-1,19 +0,84	33,44	1,51	825,12	17,25

**Tabela 4. Resultados de emissão de radônio – Amostra C.**

Peneiras (mm)	Amostra C [Bq g <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup> ]			
	Entrada		Saída	
	Média	Desvio	Média	Desvio
-4,75 +3,35	42,82	2,43	175,63	9,99
-3,35 +2,36	39,09	1,63	166,58	7,58
-2,36 +1,70	41,03	1,75	159,66	6,95
-1,70 +1,19	33,99	1,89	146,99	8,14
-1,19 +0,84	34,67	1,85	155,59	7,95



**Figura 6. Gráfico comparativo entre as Amostras A, B e C das emissões gás radônio.**

### 3.2. Diferenciação entre isótopos e emissões de raios alfa, beta e gama

Como cada isótopo de radônio mais frequentes tem uma meia-vida diferente (3,8 dias e 56 segundos), é possível diferenciar os isótopos pelo tempo de decaimento disponível. Esta diferenciação foi realizada apenas para as amostras A e B, pois a C não apresentou concentração de gás suficiente para esta análise.

Após as medições, parou-se a bomba e os tubos foram desconectados, assim todo o gás na câmara decaiu e o isótopo com meia-vida mais curta (conhecido como torônio) decaiu inteiro nos primeiros 10 minutos. Após realizar este procedimento para as duas amostras, estima-se que a Amostra A contém aproximadamente 3 vezes mais torônio do que radônio e a Amostra B contém aproximadamente 7,5 vezes mais torônio do que radônio para uma determinada faixa granulométrica. A Figura 7 mostra graficamente esta diferença. A Tabela 5 mostra os resultados para as medições das emissões de raios alfa, beta e gama.

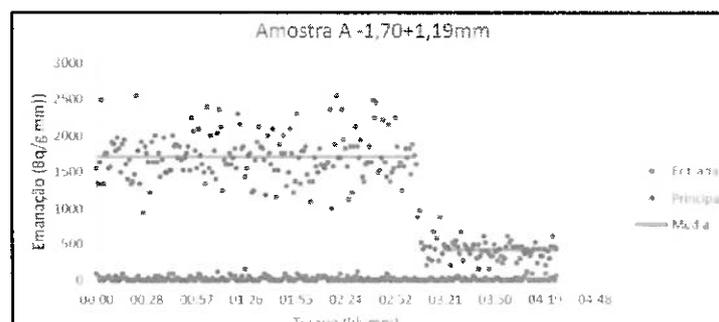


Figura 7. Diferenciação de Rn<sup>222</sup> e Rn<sup>220</sup> na fração entre 1,70mm e 1,19mm na amostra A.

Tabela 5. Medições realizadas com o detector de radiação Alfa e Beta (medidas em ips).

	Amostra A		Amostra B		Amostra C	
	$\alpha$	$\beta+\gamma$	$\alpha$	$\beta+\gamma$	$\alpha$	$\beta+\gamma$
-4,35+3,36	0,0	15,9	0,0	13,3	0,0	5,6
3,36+2,35	0,0	13,4	0,0	11,7	0,0	4,7
-2,38+1,70	0,0	12,2	0,0	9,2	0,0	3,0
-1,70+1,19	0,0	12,5	0,0	9,1	0,0	2,8
-1,19+0,84	0,0	12,4	0,1	11,0	0,0	3,1
<b>Média</b>	<b>0,0</b>	<b>13,3</b>	<b>0,0</b>	<b>10,9</b>	<b>0,0</b>	<b>3,8</b>

#### 4. CONCLUSÕES

A medição de radiação alfa, beta e gama nas amostras não foi capaz de detectar a radiação alfa, mas detectou radiação beta e gama. É possível ver apenas pela radiação beta e gama que a amostra A tem mais atividade radioativa que a amostra B, porém, enquanto em termos de emissão de raios beta e gama uma é um pouco maior que a outra, em termos de emissão de Radônio a amostra A tem o triplo da B. A medição de radiação beta e gama das amostras não cresce com a diminuição do tamanho, diferente da medição de Radônio. Percebe-se então que atividade radioativa beta e gama e emissão de radônio são grandezas ligadas, mas não diretamente.

As medidas nas amostras A e B cresceram à medida que material mais fino foi testado, o que está de acordo com o esperado pela teoria. Para que a amostra C pudesse apresentar o mesmo comportamento alguma mudança precisaria ser feita no experimento, por exemplo, o uso de mais massa de material. Nas amostras A e B pode-se notar que a grande parte do Radônio aparece na forma do isótopo Torônio.

Uma construção civil feita utilizando agregados da pedreira A pode ter problemas com Radônio, pois apenas poucas gramas de material pode emanar quantidades grandes de radônio por minuto no ambiente. A amostra B também tem valores consideráveis de Radônio, enquanto a amostra C tem uma emissão muito menos preocupante.

É possível, portanto, observar que mesmo materiais com características geológicas semelhantes, uso semelhantes, podem ser bastante diferentes quanto à emissão de Radônio, sendo alguns pouco ou nada emanadores e alguns muito. A metodologia usada para realizar estas análises se mostrou eficiente, e forneceu

resultados claros e compatíveis com as teorias, mostrando que pode ser aplicada no futuro, para prevenir que construções sejam feitas com material cancerígeno como o Radônio, melhorando a vida e saúde das pessoas.

## **5. AGRADECIMENTOS**

Os autores gostariam de agradecer ao Prof. Dr. Sergio Medici de Eston, coordenador do LACASEMIN (Laboratório de Controle Ambiental, Segurança e Higiene na Mineração), por fornecer os equipamentos necessários para este trabalho e também pelo apoio e incentivo à pesquisa deste tema.

## **6. REFERÊNCIAS**

AMERICAN LUNG ASSOCIATION. Lung Cancer Fact Sheet - American Lung Association. Lung Cancer Fact Sheet, 2014. Disponível em: <<http://www.lung.org/lung-disease/lung-cancer/resources/facts-figures/lung-cancer-fact-sheet.html>>. Acesso em: 23 Setembro 2014.

HAXEL, B. G.; HENDRICK, B. J.; ORRIS, J. G. Critical Resoures for High Technology. Unites States Geological Survey. Denver, Colorado, p. 4. 2007.

WHO. Handbook on Indoor Radon: a Public Health Pesrpective. 1ª. ed. Geneva, Suíça: World Health Organization, v. I, 2009. ISBN ISBN 978 92 4 154767 3.