



Amostragem de ar de alto fluxo para determinação de alfa emissores de meia vida longa: Monitoração de área em um depósito de material radioativo

W. S. Pereira^{1 e 2} e A. Kelecom³

1 – Laboratório de Monitoramento de Efluentes Líquidos - LAMEL, Curso de Pós-Graduação em Ciências do Meio Ambiente, Universidade Veiga de Almeida (UVA), Rua Ibituruna, 108, Tijuca, Rio de Janeiro, Cep 20.271-020, Br.

2 – Grupo Multidisciplinar de Radioproteção (GMR), Serviço de Radioproteção (SR), Fabrica do Combustível Nuclear (FCN), Indústrias Nucleares do Brasil (INB), Caixa Postal: 83632, CEP: 25580-970 – Itatiaia – RJ

3 – Laboratório de Radiobiologia e Radiometria Pedro Lopes dos Santos (LARARA-PLS), Grupo de Estudos em Temas Ambientais (GETA), Universidade Federal Fluminense – UFF, C.P. 100436, CEP 24.001-970, Niterói, RJ, Brazil.

RESUMO

A Unidade de Tratamento de Minério (UTM) é uma mina e usina de urânio fechada, situada em Caldas, Minas Gerais, Brasil. Ela possui um depósito de material radioativo composto basicamente de torta II e mesotório. Esse material está estocado em seis galpões designados C-01, C-02, C-05, C-06, C-07 e C-09. O presente trabalho visa apresentar o programa de monitoração de área de alto fluxo e os resultados obtidos no ano de 2009. O limite derivado de concentração no ar foi de $0,25 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$. As médias das concentrações de atividade no ano de 2009 foram: para C-01 $1,17 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$; C-02 $0,006 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$; C-05 $1,98 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$; C-06 $2,14 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$; C-07 $0,34 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ e C-09 $0,025 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$. Tais valores indicam que o controle de permanência é um fator importante no controle ocupacional dos trabalhadores, assim como o uso de EPI's e os cuidados comportamentais, além do treinamento em radioproteção para permitir o acesso às áreas. Nenhum trabalhador, fiscal ou visitante atingiu o limite de investigação.

Palavras-chave: Radiação ionizante (12273), proteção radiológica (12276) e monitoramento de radiação (27784).

1. INTRODUÇÃO

A Unidade de Tratamento de Minérios (UTM) pertence às Indústrias Nucleares do Brasil (INB) sendo a sucessora do Complexo Minerio-Industrial do Planalto de Poços de Caldas (CIPC), à época operada pela empresa estatal NUCLEBRAS. Recebeu a partir da década de 1980, material radioativo de instalações nucleares de tratamento de areias monazitas para a extração de terras raras [1].

O processamento de terras raras começou no Brasil, por iniciativa privada, na década de 50 do século passado. Na década seguinte duas empresas privadas realizavam essas atividades a Mybra e a Orquima, que foram encampadas pela empresa pública Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), a qual reuniu as empresas sob o nome de “Administração da Produção da Monazita”. Na década seguinte (1974) as operações saíram da alçada da CNEN e passaram para a NUCLEBRAS, através de sua subsidiária NUCLEBRAS Monazita e Associados (NUCLEMON) [1-2].

Em 1981, os rejeitos gerados no processamento da monazita, antes sob a responsabilidade das empresas particulares, depois da CNEN, começaram a ser encaminhados ao então CIPC, hoje UTM e a sua guarda ficou sob a responsabilidade da então NUCLEBRAS, hoje INB. Esse material é composto basicamente de torta II e mesotório, materiais rico em tório e rádio [2]. Os materiais estão estocados em aproximadamente 20.000 tambores metálicos de 200 l e 20.000 bombonas plásticas de 100 l em seis galpões denominados C-01, C-02, C-05, C-06, C-07 e C-09.

Do ponto de vista radiológico esses galpões são considerados áreas controladas e possuem controle de acesso e são monitorados para verificar a exposição externa e incorporação interna de indivíduos ocupacionalmente expostos (IOE) ou de visitantes e fiscais que necessitam entrar nesses galpões. Para tanto, realiza-se um programa de monitoração radiológica ocupacional que prevê a monitoração de área dos alfa-emissores de meia vida longa presentes no material particulado no ar dos galpões [3]. O presente trabalho visa avaliar a concentração (em $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$) desses alfa-emissores nos seis galpões da UTM.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Modelo dosimétrico

O modelo adotado propõe que a dose efetiva comprometida é proporcional à concentração de atividade dos alfa-emissores de meia vida longa no ar, taxa de respiração e taxa de ocupação e uma constante de proporcionalidade que é o fator de conversão de dose da mistura de radionuclídeos presentes no ar, conforme a equação 1.

$$D = C \cdot Tr \cdot To \cdot e_{(g)1\mu\text{m}} \quad (1)$$

onde:

- D é a dose efetiva comprometida, em ($\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$);
- C é a concentração de atividade, em ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$);
- Tr é a taxa de respiração, em ($\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$);

- To é a taxa de ocupação, calculada como o produto do número de dias trabalhados por ano, Dt ($d \cdot a^{-1}$) pelo número de horas trabalhadas por dia, Ht ($h \cdot d^{-1}$), em ($h \cdot a^{-1}$); e
- $e_{(g)1\mu m}$ é o fator de conversão de dose da mistura, em ($Sv \cdot Bq^{-1}$).

Foram considerados 250 dias de trabalho por ano com 8 horas por dia. A taxa de respiração considerada foi estimada em $1,2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}$ [4].

2.2. Amostragem de ar de alto fluxo

O equipamento utilizado para amostragem de ar nos galpões é um amostrador de aerossol portátil, composto por um motor com alimentação de corrente alternada de 110 V, um rotâmetro e um suporte para um filtro de fibra de vidro, de alta eficiência de retenção. A vazão de amostragem é de, aproximadamente, $600 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$. Estes amostradores são aferidos por um equipamento de calibração secundária, o qual é calibrado por laboratórios credenciados. As calibrações têm validade estipulada pelo laboratório de calibração sendo preciso verificar se o equipamento está dentro do prazo de validade da calibração [4]. O preparo para uso do amostrador de aerossol consiste em acoplar o filtro de fibra de vidro ao suporte.

O tempo de amostragem é determinado, em cada local de monitoração, através da análise de medidas obtidas anteriormente, visando otimizar o programa de monitoração [4]. O critério utilizado é a obtenção de uma atividade na amostra igual à atividade medida com incerteza relativa de 20%. A relação entre o tempo de amostragem e a concentração no ar medida com incerteza relativa igual a 20% é dada pela equação (2), abaixo:

$$C = \frac{F}{2 \cdot Vz \cdot Ta^2} \cdot \left(\frac{1,96}{0,20}\right)^2 \cdot \left(1 + \sqrt{\left(1 + \left(\frac{0,20}{1,96}\right)^2 \cdot 8 \cdot Rb \cdot Ta\right)}\right) \quad (2)$$

onde:

- C é a concentração no ar, em $Bq \cdot \text{m}^{-3}$;
- F é um fator de correção adimensional dado por: $\frac{Ef \cdot Ab \cdot Er}{60 \cdot Fs}$;
 - Ef : eficiência de contagem do sistema de radiometria;
 - Ab : fator de auto-absorção;
 - Er : eficiência de retenção;
 - 60 : fator de conversão entre minutos e segundos;
 - Fs : $\frac{\text{área amostrada do filtro}}{\text{área contada do filtro}}$;
- Vz : vazão do amostrador de aerossol, em $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$;

- Ta : tempo de amostragem, em minutos;
- Rb : contagem do background, em cpm;

O tempo de amostragem é operacionalmente analisado; esse tempo, otimizado para os galpões, é de 15 minutos. O filtro contendo a amostra coletada de aerossol é analisado em um contador alfa total.

2.3. Concentração alfa total de meia vida longa

A concentração alfa total de meia vida longa é calculada utilizando-se os resultados das amostragens de aerossol pela fórmula (3), abaixo [5].

$$C = \frac{1000}{60} \cdot \frac{Fs}{Ef \cdot Ab \cdot Er \cdot Vz} \cdot Ta \cdot \frac{N}{T} \cdot Rb \quad (3)$$

onde:

- C : concentração alfa total de meia vida longa, em Bq·m⁻³;
- 1000 : fator de conversão entre metro cúbico e litros;
- 60 : fator de conversão entre minutos e segundos;
- Fs : fator de área útil (adimensional), dado por:
 - $Fs : \frac{\text{área amostrada do filtro}}{\text{área contada do filtro}}$;
- Ef : eficiência de contagem
- Ab : fator de auto-absorção
- Er : eficiência de retenção
- Vz : vazão do amostrador, em l·min⁻¹
- Ta : tempo de amostragem, em minutos
- N : número de contagens alfa total
- T : tempo de contagem alfa total, em minutos
- Rb : contagem do background, em cpm.

A contagem alfa de meia vida longa é realizada após 96 horas de intervalo entre o término da amostragem e o início da contagem, para que os alfas emissores de meia vida curta (de frações de segundo a poucas horas) decaiam e não interfiram na contagem.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O material considerado como fornecedor de material particulado contendo alfa-emissores de meia vida longa foi à torta II. A tabela 1 apresenta os radionuclídeos presentes na torta II, suas proporções, conforme documento da INB [6], suas solubilidades e os fatores de conversão de dose, conforme a posição regulatória PR-003 [7]. Observa-se uma relação entre urânio e tório de 1:20.

O fator de conversão de dose da mistura [$e_{(g)1\mu m}$] obtido na tabela 1 permite o cálculo do nível de registro derivado de concentração dos alfa-emissores no ar (C) pela equação (1), usando os dados constantes no modelo dosimétrico (item 2.1).

Tabela 1. Radionuclídeos alfa emissores constantes na torta II, suas proporções na mistura, solubilidades e fatores de conversão de dose [5].

Radionuclídeo	Proporção na torta II, em %	Solubilidade	$e_{(g)1\mu m}$
^{232}Th	20	M	$4,2 \cdot 10^{-5}$
^{232}Th	20	M	$4,2 \cdot 10^{-5}$
^{228}Th	20	M	$3,1 \cdot 10^{-5}$
^{238}U	1	R	$4,9 \cdot 10^{-7}$
^{234}U	1	R	$4,0 \cdot 10^{-5}$
^{230}Th	1	M	$3,2 \cdot 10^{-6}$
^{226}Ra	1	M	$8,9 \cdot 10^{-7}$
$e_{(g)1\mu m}$ da mistura			$3,34 \cdot 10^{-5}$

M = moderado; R = rápido

$$0,02 \left(\frac{\text{Sv}}{\text{a}} \right) = C \left(\frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \right) \cdot 1,2 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) \cdot 250 \left(\frac{\text{d}}{\text{a}} \right) \cdot 8 \left(\frac{\text{h}}{\text{d}} \right) \cdot 3,34 \cdot 10^{-5} \left(\frac{\text{Sv}}{\text{Bq}} \right)$$

Sendo $0,02 \text{ Sv} \cdot \text{a}^{-1}$ o limite anual de dose efetiva do trabalhador

Logo, $C = 0,25 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$.

Os valores das concentrações de atividades dos alfa-emissores medidos nas amostras de ar dos seis galpões constam da tabela 2. O limite derivado anual ($LD = 0,25 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$) foi superado em 4 galpões (C-06, C-05, C-01 e C-07). A maior média anual de concentração de atividade foi encontrada no galpão C-06 com 8,5 vezes o LD, seguido dos galpões C-05, com 7,9 vezes o LD, C-01 com 4,7 vezes o LD e por fim C-07 com 1,4 vezes o LD. Em um deles (C-09) o valor foi igual ao nível de registro e no galpão C-02 o valor ficou abaixo do nível de registro. A comparação entre as concentrações de atividade média e os limites derivados pode ser visualizada na figura 1.

Tabela 2. Valores das concentrações de atividade de alfa emissores de meia-vida longa nos galpões de materiais radioativos no ano de 2009, em $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$.

Data de coleta	Concentrações de atividades, em $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$, nos galpões					
	C-01	C-02	C-05	C-06	C-07	C-09
22/6/09	0,77	0,01	1,7	2,12	0,20	0,02
21/9/09	1,56	0,002	2,25	2,15	0,48	0,03
Média anual	1,17	0,006	1,98	2,14	0,34	0,025
Limite derivado	0,25					

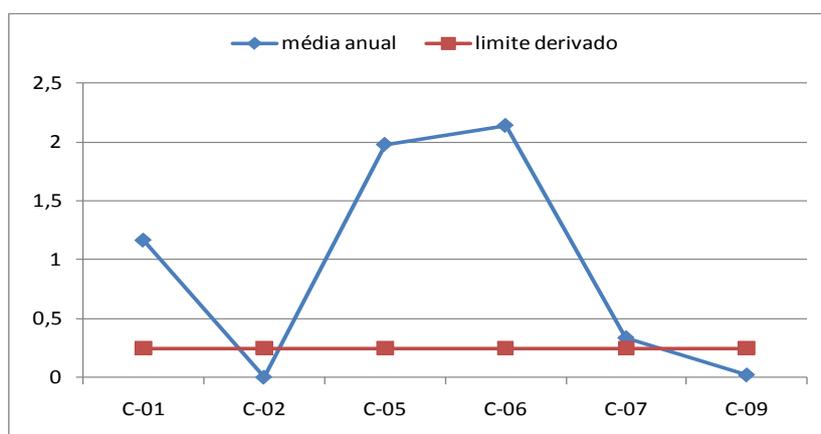


Figura 1. Comparação entre a média anual de concentração de atividade (\diamond) e o limite derivado (\blacksquare), nos galpões estudados ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$)

A maioria dos galpões (C-06, C-05, C-01 e C-07) apresenta concentrações de atividade média superior ao LD, fazendo-se necessário o controle de acesso e do tempo de permanência, pelo critério concentração de atividade de alfa-emissores de meia vida longa. No galpão C-06, considerando somente o aspecto inalação de alfa-emissores de meia vida longa, o tempo máximo de permanência para se atingir o limite de dose é estimado em $235 \text{ h}\cdot\text{a}^{-1}$. Para o galpão C-05 esse tempo sobe para $253 \text{ h}\cdot\text{a}^{-1}$; para C-01, são $425 \text{ h}\cdot\text{a}^{-1}$; já o C-07 apresentou um tempo de permanência de $1.429 \text{ h}\cdot\text{a}^{-1}$. O galpão C-09 permite uma jornada de IOE ($2.000 \text{ h}\cdot\text{a}^{-1}$). Por fim, em relação ao quesito inalação de alfa-emissores, o galpão C-02, é considerado área livre. Cabe ressaltar, no entanto, que o controle de acesso e o tempo de permanência devem ser avaliados também por outros critérios como, por exemplo, a exposição externa, contaminação de superfície e possibilidade de contaminação.

O treinamento é peça fundamental na manutenção da segurança das operações nos galpões, tanto da equipe do serviço de radioproteção como dos IOE's e outros indivíduos que necessitem ter acesso a esses galpões. Nesse sentido, o controle de permanência é um fator importante no controle ocupacional dos trabalhadores, assim como o uso de EPI's e cuidados comportamentais.

O uso de licença de trabalho assinada pelo supervisor de radioproteção garante a justificção da prática. O estabelecimento de ponto de controle de acesso garante a distribuição de EPI's e controle do tempo de permanência. O planejamento das atividades é realizado, objetivando a otimização das doses dos trabalhadores. Análise dos registros de acesso aos galpões (dados não relatados aqui) mostra que nenhum IOE, fiscal ou visitante atingiu o limite de investigação nos acessos aos galpões naquele ano.

4. CONCLUSÕES

Os galpões C-06, C-05, C-01 e C-07 possuem concentrações de atividade superiores aos limites derivados para alfa emissores de meia vida longa no ar. A magnitude das doses estimadas aponta a necessidade de cuidados de radioproteção para o acesso a esses galpões.

Seguindo o princípio da otimização, o uso de EPI's, principalmente máscaras com filtros do tipo P-3 (específicos para retenção de radionuclídeos) é imperativo em todos os galpões.

A presença de material particulado contendo alfa-emissores de meia vida longa aponta a necessidade do controle de contaminação removível nos objetos, pisos, maçanetas e outros objetos que podem ter contato com os indivíduos no galpão.

Finalmente, a manutenção dos procedimentos de radioproteção, assim com das monitorações são procedimentos imperativos para o gerenciamento das doses dos indivíduos que necessitem ter acesso aos galpões e são ferramentas que podem ser utilizadas para otimizar as doses efetivas.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a Fundação Nacional de Desenvolvimento do Ensino Superior Particular – FUNADESP, pela bolsa de pesquisa concedida ao Prof. Dr. Wagner de Souza Pereira para a realização desse trabalho.

REFERÊNCIAS

1. MARTINS, L. A. M. **Estado e Exploração Mineral no Brasil. Um Levantamento Básico.** Tese de Doutorado em Ciências de Engenharia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), 1989.
2. CIPRIANI, M. **Mitigação dos Impactos Sociais e Ambientais Decorrentes do Fechamento Definitivo de Minas de Urânio.** Tese de Doutorado em Ciências na Área de Administração e Política de Recursos Minerais. Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), 2002.
3. INB - Indústrias Nucleares do Brasil. **Programa de proteção radiológica ambiental da Unidade de Tratamento de Minério, condição de área parada,** 2002, 23 pp.
4. INB - Indústrias Nucleares do Brasil. **Monitoração de área por meio de amostragem de aerossol. Instrução Operacional da UTM. IO-UTM-PO-54,** 2010, 16 pp.
5. INB - Indústrias Nucleares do Brasil. **Programa de proteção radiológica ambiental da Usina de Interlagos,** 2010, 45 pp.
6. CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear. **Posição regulatória 3.01 / 003 - Coeficientes de dose para indivíduos ocupacionalmente expostos,** 2005, 52 pp.
7. INB - Indústrias Nucleares do Brasil. **Análise radiométrica de amostras. Instrução operacional da USIN. IO-COSAP-PO-12.** 2010, 12 pp.