

# TÓRIO EM MATERIAL BIOLÓGICO I: TÓRIO NA BAHIA, BRASIL

Pereira, W.S.<sup>1 e 2</sup>, Kelecom, A.<sup>3</sup>, Espindola, C. B.<sup>1</sup> e Silva, A. X.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Laboratório de Monitoramento de Efluentes Líquidos - LAMEL, Curso de Mestrado Profissional em Ciências do Meio Ambiente, Universidade Veiga de Almeida - UVA, Rua Ibituruna, 108, Tijuca, Rio de Janeiro, CEP 20.271-020, Brasil.

<sup>2</sup> Grupo Multidisciplinar de Radioproteção - GMR, Serviço de Radioproteção - SR, Coordenação de Radioproteção, Licenciamento e Salvaguardas – CPRAL.N, Fábrica do Combustível Nuclear - FCN, Indústrias Nucleares do Brasil, Rodovia Presidente Dutra km 330 – Engenheiro Passos CEP 27.555-000, Resende – RJ – Brasil.

<sup>3</sup> 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, Brasil.

<sup>4</sup> Programa de Engenharia Nuclear/COPPE, Departamento de Engenharia Nuclear/Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Caixa Postal 68.509 - Rio de Janeiro CEP 21941-972, Brasil.

## RESUMO

A mina de urânio Cachoeira, localizada em Caetité, caracteriza uma região de *Naturally Occurring Radioactive Material* – NORM. Foi analisado o <sup>232</sup>Th em 11 materiais biológicos (MB), totalizando 181 amostras. O <sup>232</sup>Th foi analisado pelo método do arsenazo. Realizou-se uma estatística descritiva e uma análise de variância (ANOVA). Após, os MB foram agrupados pelo método de "Tukey". O número de amostras de cada material biológico variou de duas a 34 amostras. As concentrações de atividade (CA) do <sup>232</sup>Th variaram de 0,0213 a 0,2151 Bq·kg<sup>-1</sup>. A ANOVA mostrou diferença entre as CA dos MB analisados. O mesmo comportamento foi mostrado pelo teste de "Tukey". O primeiro grupo, considerado com as maiores CA foi composto pela vegetação, pasto, ração, farinha, silagem e palma. No segundo grupo, pasto, ração animal, farinha, silagem palma e peixe foram considerados com CA médias. O terceiro grupo com as menores CA foi composto: peixe, feijão, milho, mandioca e leite. O teste formou um quarto grupo com representante do grupo de concentrações de atividade mais alta e de concentração de atividade média (pasto). Formou um quinto grupo com um representante do grupo de CA média e baixa (peixe) e por fim criou o sexto grupo com representantes dos três grupos de CA (ração animal, farinha, silagem e palma). Isso torna o comportamento dos radionuclídeos nos MB avaliados complexos e de difícil interpretação. Esse comportamento radioecológico complexo necessita ser melhor estudado, apontando a necessidade de novas ferramentas de análise, provavelmente análises multivariadas, como a análise de componente principal (PCA) para auxiliar no entendimento da complexidade demonstrada pelos materiais analisados. Cabe resaltar que a avaliação das doses devida à ingestão desses materiais biológicos deve ser feita com as CA médias desses materiais, não importando o quadro radioecológico complexo que eles representam.

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui a sexta maior reserva de urânio do mundo, tendo prospectado apenas 30% do território nacional, tendo sido esta prospecção encerrada no ano de 1991[1].

Essas reservas se distribuem entre província uranífera de Lagoa Real/Caetité - BA com 100.700 T, Santa Quitéria - CE com 142.500 T e outras (Poços de Caldas - MG; Figueira - PR, Quadrilátero Ferrífero - MG, Amorinópolis - GO, Campos Belos - GO e Espinharas - PB, entre

outras anomalias) com 66.000 t, perfazendo um total de 309.200 t de  $U_3O_8$  equivalentes entre as reservas medidas e inferidas [1].

Atualmente a mina Cachoeira, anomalia 13 da província uranífera de Lagoa Real/Caetité, no Estado da Bahia, está em exploração comercial, como mina a céu aberto, tendo o início das atividades minerárias ocorridos no ano de 2000 [2].

Esta província é considerada a maior província monominerálica do Brasil e é composta de 34 anomalias uraníferas distribuídas por uma região de 1.200 km<sup>2</sup>. Das 34 anomalias, 12 possuem concentrações e quantidades de urânio que as transformam em jazidas [2].

A extração de urânio ocorre em mina a céu aberto associada a uma planta de beneficiamento físico, que realiza a cominuição do material, por britagem e processamento químico onde ocorre a extração ácida, com  $H_2SO_4$ , em pilhas estáticas e extração do lixiviado ácido por solvente orgânico e reextração em solução salina [3].

Existe o planejamento de transformar a mina Cachoeira de exploração a céu aberto em mina subterrânea e a abertura de outra mina a céu aberto, a anomalia 9, jazida do Engenho, dobrando a capacidade de produção de minério, com respectivo aumento da capacidade de processamento da unidade de beneficiamento físico e químico da Unidade de Concentrado de Urânio (URA) de 400 t·a<sup>-1</sup> para 800 t·a<sup>-1</sup>, necessitando para tanto de licenciamento ambiental e radiológico.

Na mina Cachoeira, anomalia 13, as reservas são estimadas em 20.460 t de  $U_3O_8$  equivalente, com concentrações médias de 3.500 ppm e na jazida do Engenho são estimadas em 27.630, com concentrações médias de 1.950 ppm [2].

Esta área por conter diversas anomalias uraníferas pode ser considerada uma região de *Naturally Occurring Radioactive Material* – NORM, áreas onde os radionuclídeos das series naturais se encontram com concentrações de atividades (CA) maiores que nas demais regiões da terra.

Visando contribuir para o conhecimento radioecológico e de radioproteção ambiental da região, este trabalho visa avaliar as concentrações de atividade do Tório (<sup>232</sup>Th) na farinha, feijão, leite, mandioca, milho, palma, pasto, peixe, ração, silagem e vegetação, no entorno da anomalia 13, em atividade.

## 2. MATERIAIS E METODOS

### 2.1. Área de Estudo

A mina Cachoeira está localizada na zona rural da cidade de Caetité, sudoeste do Estado da Bahia, ver Figura 01. É uma região semiárida com média de precipitação anual de 860 mm. A mina contém minério de urânio em concentrações médias de 3.500 ppm [2 e 4].

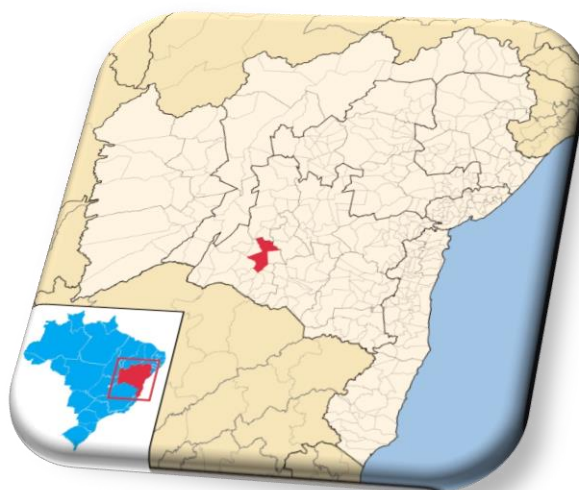
A região é ecologicamente considerada um ecótono entre cerrado e caatinga, com zonas de ocupação humana, com pequenas fazendas com plantações de subsistência [5].

## 2.2. Material Biológico Analisado

O material biológico analisado, assim como o número de amostras analisados, pode ser visto na Tabela 01.

**Tabela 01 – Material biológico e quantidade de amostras analisadas.**

Material biológico	N
Farinha	17
Feijão	15
Leite	34
Mandioca	34
Milho	21
Palma	8
Pasto	23
Peixe	8
Ração	2
Silagem	2
Vegetação	28



**Figura 01 – Localização da área de estudo no Brasil e no Estado da Bahia.**

## 2.3. Coleta e Preparação das Amostras

As amostras biológicas foram coletadas no entorno da mina Cachoeira entre os anos de 2000 e 2009, secos até peso constante em temperatura inferior a 90 °C e calcinados. Para calcinação foi usado um aumento progressivo da temperatura onde o processo foi iniciado com a temperatura de 100 °C e aumentando a temperatura em 50 °C a cada quatro horas até atingir 450 °C onde são mantidas por período não inferior a 24 h e até cinzas ficarem com coloração clara.

Após calcinação uma alíquota foi retirada e usando-se uma mistura de  $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$  proporção de 30:1 com aquecimento em placa aquecedora a temperatura inferior a  $80^\circ\text{C}$  até solubilização total do material.

Após solubilização do material uma alíquota do solubilizado do mesmo foi enviada para análise do urânio natural. E as CA do  $\text{U}_{\text{nat}}$  são reportadas em termos de peso úmido.

As amostras biológicas foram processadas no Laboratório Ambiental da Unidade de Tratamento de Minério (LA-UTM), pertencentes às Indústrias Nucleares do Brasil, no município de Caldas, Minas Gerais.

## **2.4. Análise do Tório ( $^{232}\text{Th}$ )**

O  $^{232}\text{Th}$  foi analisado usando-se o método proposto por Savvin e colaboradores [6], que consiste em uma extração por solvente orgânico e posterior espectrofotometria. As análises foram realizadas no LA-UTM.

## **2.5. Desenho Amostral e Preparação dos Dados**

Os dados foram organizados para formar uma matriz em que as colunas representam o material biológico e as linhas representam as repetições das amostragens. Os números de repetições das amostragens de cada material biológico foram variáveis.

## **2.6. Análise Estatística**

### **2.6.1. Estatística Descritiva**

Visando a caracterização radioecológica da área foi realizada uma estatística descritiva contendo dados de média, desvio padrão e número de amostras [7 - 9].

### **2.6.2. Análise de Variância Monofatorial (ANOVA)**

Após as estatísticas descritivas foi realizada uma ANOVA [7 - 9] para comparar as CA do material biológico analisado. O valor de rejeição de P ( $\alpha$ ) foi de 5% (0,05). As hipóteses testadas foram:

$H_0$  = Não existe diferenças entre as CA médias no material biológico

$H_1$  = existe pelo menos um material biológico com a CA média diferente

### **2.6.3. Teste de “Tukey” Para Comparação das Médias**

Após a ANOVA as médias foram agrupadas usando-se o teste de “Tukey” [7 - 9].

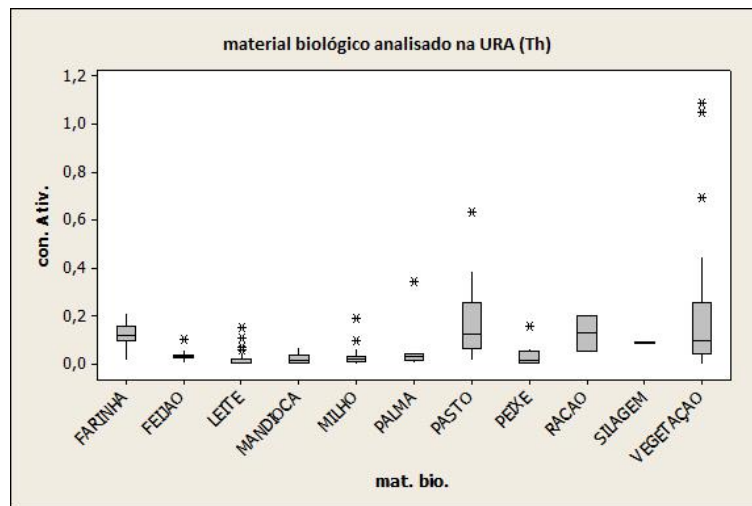
## **3. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **3.1. Sumário dos Dados**

As estatísticas descritivas do  $^{232}\text{Th}$  podem ser vistas na Tabela 02 e a representação gráfica das médias pode ser vista na Figura 02.

**Tabela 02 – Estatísticas descritivas do  $^{232}\text{Th}$  analisados na região da mina Cachoeira, Bahia.**

Material biológico	Média ( $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	Desvio padrão	N
Farinha	0,1213	0,0510	17
Feijão	0,0347	0,0230	15
Leite	0,0223	0,0011	34
Mandioca	0,0236	0,0021	34
Milho	0,0338	0,0432	21
Palma	0,0681	0,1119	8
Pasto	0,1794	0,1546	23
Peixe	0,0387	0,0520	8
Ração	0,1304	0,1034	2
Silagem	0,0884	0,0043	2
Vegetação	0,2151	0,2915	28



**Figura 02 – Média da concentração de atividade dos materiais biológicos analisados na região da mina Cachoeira, Bahia.**

### 3.2. ANOVA

A ANOVA resultou em um valor de “P” associado ao valor do teste “F” menor que 0,01 (1%), inferior ao valor de rejeição do teste ( $\alpha$ ) de 0,05 (5 %), sendo o teste “F” igual 6,36. Logo, o teste “F” aponta a aceitação de  $H_1$ , rejeitando-se  $H_0$ . Neste caso, se aceita que, estatisticamente, pelo menos uma das médias de concentrações de atividades é diferente das demais.

### 3.3. Teste de “Tukey” Para Comparação das Médias

O teste de “Tukey” corroborou a ANOVA, como pode ser visto na Tabela 03. Foram formados grupos com maiores CA (vegetação, pasto, ração, farinha, silagem e palma), CA intermediárias (pasto, ração, farinha, silagem, palma e peixe) e CA baixas (ração, farinha, silagem, palma, peixe, feijão, milho, mandioca e leite). Outros grupos foram formados por materiais que apresentaram CA pertencentes a mais de um grupo. O pasto está presente no grupo de maior CA e de CA intermediária. A ração, farinha, silagem e palma, pertencem aos três grupos. O

peixe forma um grupo com representante de CA intermediária e menor CA. A vegetação ficou isolada no grupo de maior CA e Por fim, o feijão, o milho, a mandioca e o leite formou o grupo que apresenta somente as menores CA.

**Tabela 03 – Teste de “Tukey” para comparação das médias.**

Material biológico	N	Média (Bq·kg <sup>-1</sup> )	Agrupamento <sup>1</sup>		
Vegetação	28	0,2151	A		
Pasto	23	0,1794	A	B	
Ração	2	0,1304	A	B	C
Farinha	17	0,1213	A	B	C
Silagem	17	0,1213	A	B	C
Palma	2	0,0883	A	B	C
Peixe	8	0,0681		B	C
Feijão	15	0,0347			C
Milho	21	0,0337			C
Mandioca	34	0,0236			C
Leite	34	0,0223			C

*1 – As médias sobre a mesma letra não possuem diferenças estatísticas.*

## 4. CONCLUSÕES

Com base na análise dos dados podemos concluir que a radioecologia do tório é complexa nos MB analisados na região de influência da URA.

A avaliação estatística mostrou a existência de grupos principais com CA altas, médias e baixas e grupos secundários formados por MB com CA intermediárias entre esses grupos principais, mostrando um gradiente entre os grupos principais que tornam a separação entre eles de difícil realização.

De forma geral podemos inferir que: A vegetação obteve maior CA, seguida de pasto que tem CA intermediária com tendência para alta, seguida de ração, farinha silagem e palma que pertencem aos três grupos de CA, não podendo se estabelecer uma tendência nas CA avaliadas. O peixe apresentou uma CA intermediária com tendência a CA baixa e por fim, feijão, milho, mandioca e leite com atividades consideradas baixas.

Esse quadro mostra a necessidade de se avaliar com mais profundidade os MB nessa região, aumentando o número de amostras visando tentar identificar tendências mais claras de acumulação desse radionuclídeo nos MB avaliados por esse trabalho e outros que por ventura forem considerados importantes para avaliação da dose efetiva comprometida (dose).

Outro ponto relevante é que a avaliação da dose proveniente da ingestão desse radionuclídeo, via MB deve ser feita com os valores médios de CA de cada radionuclídeo, pois podem ocorrer diferenças no uso desse recurso ambiental que podem gerar diferenças nas doses devida a <sup>232</sup>Th, que estão relacionadas as taxas de consumo.

## 5. REFERENCIAS

- 1) Silva, K.M.; Menezes, R.M.; Mezrahi, A. Comparative assessment of the licensing processes of uranium mining and milling facilities in Brazil. International Atomic Energy Agency, Vienna (Austria); 315 p; Oct 2000; p. 207-208; International symposium on the uranium production cycle and the environment; Vienna (Austria); 2-6 Oct 2000; IAEA-SM--362/52. 475-484 pp.
- 2) Matos, E. C. Uranium Concentrate Production at Caetité, BA, Brazil. Symposium on Uranium Production and Raw Materials for the Nuclear Fuel Cycle - Supply and Demand, Economics, the Environment and Energy Security (IAEA-CN-128/41). 133-137 pp
- 3) Fernandes, H. M., Gomieiro, L. A., Franklin, M, Pereira, W. S. e Lamego, F. A Comparative management performace assessment of two uranium produciton units in Brazil. Symposium on Uranium Production and Raw Materials for the Nuclear Fuel Cycle - Supply and Demand, Economics, the Environment and Energy Security (IAEA-CN-128/50). 159-162 pp
- 4) Lamego, Fernando; Santos, Robson Rodger; Silva, L. Ferreira da; Fernandes, Horst Monken. Water management of the uranium production facility in brazil (caetite, ba): potential impacts over groundwater quality. IRPA 12: 12. International congress of the International Radiation Protection Association (IRPA): Strengthening radiation protection worldwide; Buenos Aires (Argentina); 19-24 Oct 2008. 10 pp.
- 5) Pereira, W. S.; Py Júnior, Delcy de Azevedo . Monitoração ambiental da Unidade de Concentrado de Urânio(URA) em Caetité, Ba. Br. Revista Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento, Brasil, v. 4, n.3/1, p. 677-680, 2002.
- 6) Savvin, S. B., “Analytical Applications of Arsenazo III—II: Determination of Thorium, Uranium, Protactinium, Neptunium, Hafnium and Scandium,” *Talanta*, **Vol. 11**, No. 1, pp. 1-6. (1964) DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0039-9140\(64\)80003-5](http://dx.doi.org/10.1016/0039-9140(64)80003-5).
- 7) Ceteno, A. J., “Curso de Estatística Aplicada a Biologia,” Universidade Federal de Goiás, Goiânia, p. 188, (1999).
- 8) Arango, H. G., “Bioestatística: Teórica e Computacional Com Bancos de Dados Reais em Disco,” 3rd Edition, Ed. Guanabara & Koogan, pp. 438, (2009).
- 9) Ferreira, D. F., “Estatística Multivariada,” Editora da UFLA, Lavras, pp 650 (2008).