



## $^{228}\text{Ra}$ em forrageiras cultivadas em solo com anomalia de tório

C. M. Silva<sup>\*a,b</sup>; C. E. O. Costa Júnior<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Universidade de Pernambuco, Campus Mata Norte, Departamento de Biologia

Rua Amaro Maltês de Farias, S/N, CEP- 55800-000, Nazaré da Mata, Pernambuco, Brasil

<sup>b</sup>Mestrado em Gestão do Desenvolvimento Local Sustentável (GDLS)-FCAP-UPE

Av. Sport Club do Recife, 252, bloco C, 4º andar – Madalena – CEP 50740-500 – Recife, Pernambuco, Brasil

<sup>c</sup>Faculdade Integrada de Pernambuco

Avenida Caxangá, 4477, CEP: 50670-000, Recife, Pernambuco, Brazil, phone: +55 (81) 3878-5100

\*Corresponding Author E-mail: [cleomacio@hotmail.com](mailto:cleomacio@hotmail.com)

---

### RESUMO

Nos municípios pernambucanos de Pedra e Venturosa, localizados na região agreste, encontra-se uma das maiores anomalias de  $^{238}\text{U}$  e  $^{232}\text{Th}$  do Brasil. A pecuária leiteira é a principal atividade econômica dos municípios de Pedra e Venturosa, sendo responsáveis por quase 50% da produção de leite do estado de Pernambuco. Por outro lado, a maior parte das fazendas produtoras de leite dos municípios de Pedra e Venturosa está localizada sobre anomalias radioativas naturais de  $^{238}\text{U}$  e  $^{232}\text{Th}$ . O  $^{228}\text{Ra}$  é um elemento radioativo natural proveniente da série radioativa do  $^{232}\text{Th}$ , e possui elevada acumulação em vegetais. Nas fazendas dos municípios de Pedra e Venturosa, diversos tipos de vegetais são cultivados e utilizados na alimentação volumosa dos bovinos leiteiros. Sendo assim, dentro deste contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a acumulação de  $^{228}\text{Ra}$  nas plantas forrageiras consumidas pelos bovinos leiteiros das fazendas dos municípios de Pedra e Venturosa. Para tanto, foram coletadas amostras de capim bufell (*Cenchrus ciliaries*), capim elefante (*Pennisetum purpureum*) e palma forrageira (*Opuntia spp.*). O  $^{228}\text{Ra}$  foi determinado através do actínio-228 ( $^{228}\text{Ac}$ ) usando a técnica radioquímica do precipitado de sulfato de bário ( $\text{BaSO}_4$ ). As amostras de vegetais analisados apresentaram concentrações de  $^{228}\text{Ra}$  variando de 609 a 98.000  $\text{mBq.kg}^{-1}$  na matéria seca. Os resultados obtidos mostraram que os vegetais consumidos pelos bovinos leiteiros apresentaram concentrações elevadas de  $^{228}\text{Ra}$ , principalmente a palma forrageira (*Opuntia spp.*).

**Keywords:** Monitoração Ambiental, Radioatividade Ambiental, Região Anômala.

---

## ABSTRACT

In the Pernambuco municipalities of Pedra and Venturosa, located in the agreste region, one of the largest anomalies of  $^{238}\text{U}$  and  $^{232}\text{Th}$  of Brazil is found. Dairy farming is the main economic activity in the municipalities of Pedra and Venturosa, accounting for almost 50% of milk production in the state of Pernambuco. On the other hand, most dairy farms in the municipalities of Pedra and Venturosa are located on natural radioactive anomalies of  $^{238}\text{U}$  and  $^{232}\text{Th}$ .  $^{228}\text{Ra}$  is a naturally occurring radioactive element from the  $^{232}\text{Th}$  radioactive series, and has high accumulation in plants. In the farms of the municipalities of Pedra and Venturosa, several types of vegetables are cultivated and used in the bulky feeding of dairy cattle. Thus, within this context, the present work had as objective to evaluate the accumulation of  $^{228}\text{Ra}$  in the forage plants consumed by the dairy cattle of the farms of the municipalities of Pedra and Venturosa. For this, we collected samples of buffel grass (*Cenchrus ciliaris*), elephant grass (*Pennisetum purpureum*) and forage palm (*Opuntia spp.*).  $^{228}\text{Ra}$  was determined by actin-228 ( $^{228}\text{Ac}$ ) using the radiochemical technique of the barium sulfate precipitate ( $\text{BaSO}_4$ ). The analyzed plant samples had concentrations of  $^{228}\text{Ra}$  varying from 609 to 98,000  $\text{mBq}\cdot\text{kg}^{-1}$  in the dry matter. The results showed that the plants consumed by dairy cattle had high concentrations of  $^{228}\text{Ra}$ , mainly the forage palm (*Opuntia spp.*).

**Keywords:** Environmental Monitoring, Environmental Radioactivity, Anomalous Region.

---

## 1. INTRODUCTION

A agropecuária leiteira é a principal atividade econômica da região agreste do estado de Pernambuco. A chamada “Bacia Leiteira” de Pernambuco compreende os municípios de Caruaru, Arcoverde, Buique, Bom Conselho, Pedra e Venturosa. Juntos, os municípios de Pedra e Venturosa representam quase 50% da produção leiteira do estado de Pernambuco. Em 1975, durante a execução do projeto Garanhuns, a antiga NUCLEBRAS (Empresas Nucleares Brasileiras) juntamente com a CPRM (Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais) realizaram uma prospecção radiogeológica numa área de 35.000 km<sup>2</sup>, compreendendo os estados de Pernambuco, Alagoas e Sergipe. O projeto Garanhuns identificou 263 anomalias radioativas, mas, após estudos de verificação, apenas uma delas apresentou teores significativos de minerais radioativos [1]. Um pouco mais tarde, em 1977, a antiga NUCLEBRAS viabilizou um novo projeto denominado de Projeto Venturosa–Avaliação de áreas. Os resultados deste projeto indicaram a necessidade de uma sondagem geológica, que resultou no Projeto Venturosa–Sondagem e Perfilagem, realizado em 1978 [1].

Durante o projeto Garanhuns, foram detectadas anomalias radioativas significativas em fazendas produtoras de leite localizadas entre os municípios de Pedra e Venturosa, nas proximidades do rio Ipanema. Neste local foram encontrados blocos rolados de rocha máfica, apresentando valor máximo de 100 mg.kg<sup>-1</sup> [2]. A mineralização radioativa se localiza em blocos rolados de anfibolito, encontrados próximos ao contato do granito pórfiro com os migmatitos, que são duas unidades aflorantes regionais [2]. A mineralização se faz presente a olho nu (afloramento), com material de coloração verde-amarelada, que preenche fraturas existentes nos blocos das rochas [3]. Em 1986, Mendonça (1987) analisou os relatórios (Avaliação de indícios e Sondagem/Perfilagem) relativos ao Projeto Venturosa e sugeriu a retomada dos trabalhos com a finalidade de avaliar as possibilidades de mineralizações economicamente viáveis na área. Dois anos mais tarde, o escritório regional da antiga NUCLEBRAS, em Fortaleza (EFOR.PM), realizou uma fotointerpretação de uma área de 100 km<sup>2</sup> no município de Venturosa, como também em suas adjacências, visando retomada dos trabalhos [4], o que resultou na delimitação de uma área de aproximadamente 20 km<sup>2</sup> que abriga as principais mineralizações primárias do município.

Pesquisas mais recentes, realizadas em fazendas produtoras de leite dos municípios de Pedra e Venturosa, determinaram concentrações de  $^{232}\text{Th}$  variando de 77 a 423  $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$  em amostras de solos usados no cultivo de plantas forrageiras [5]. O  $^{228}\text{Ra}$  é liberado pelo intemperismo das rochas ricas em  $^{232}\text{Th}$ , entrando no solo e na água de onde é transferido para as plantas, animais e seres humanos [6].

O rádio é um radionuclídeo natural bastante difundido no meio-ambiente, possuindo diferentes níveis de concentrações no solo, rocha e fontes de águas, onde é encontrado em quatro formas isotópicas:  $^{223}\text{Ra}$ ,  $^{224}\text{Ra}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  e o  $^{228}\text{Ra}$  que decai por emissão de partículas beta para o  $^{228}\text{Ac}$  [6]. O  $^{228}\text{Ra}$  é proveniente da série de decaimento natural do  $^{232}\text{Th}$ , sendo de grande interesse em estudos radioecológicos, pois a sua meia-vida ( $T_{1/2} = 5,8$  anos) é suficientemente longa para promover acumulação nas amostras ambientais que fazem parte da cadeia alimentar. A energia média de 14 keV emitida pelas partículas beta é suficiente para produzir ionização e excitação nas moléculas durante o trajeto pelo meio material. Sendo assim, o  $^{228}\text{Ra}$  constitui-se um elemento perigoso para a saúde do ser humano, quando internamente incorporado [6]. Nas fazendas dos municípios de Pedra e Venturosa, como na maioria das cidades da chamada “Bacia Leiteira” do estado de Pernambuco, a alimentação volumosa das vacas leiteiras é constituída por 67% de pastagens nativas e 33% de pastagens cultivadas [7]. A pastagem nativa é composta predominantemente de capim raiz (*Chloris orthonotum*) e pela milhã (*Brachiaria plantaginea*), ambos de ciclo vegetativo curto. Com relação às pastagens cultivadas, as mais utilizadas são a palma forrageira (*Opuntia spp.*), o capim bufell (*Cenchrus ciliares*), o capim elefante (*Pennisetum purpureum*) e o sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor*). As áreas de maiores cultivos são ocupadas pela palma forrageira (*Opuntia spp.*), principalmente durante o período seco [7]. Os vegetais são reservatórios importantes de rádio no meio ambiente. Em solos de elevada radioatividade natural, este radionuclídeo é facilmente absorvido pelos vegetais [8, 9]. O rádio é transferido da dieta das vacas para o leite [10]. Sendo assim, o  $^{228}\text{Ra}$  é significativamente transferido no processo forragem-leite.

O  $^{228}\text{Ra}$  entra no corpo humano através da ingestão de alimentos e água, incorporando-se no esqueleto [11]. Por esta razão, esse elemento é considerado muito importante do ponto de vista da proteção radiológica. A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (United States Environmental Protection Agency - USEPA) considera o rádio um agente carcinogênico devido à sua radiotoxicidade [12]. Estudos sobre a radiotoxicidade do rádio são de grande interesse não

apenas pela significância radioepidemiológica, mas por causa da sua biodistribuição no meio ambiente [13]. Neste contexto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar as concentrações de  $^{228}\text{Ra}$  nas plantas forrageiras cultivadas em solos com anomalia de  $^{232}\text{Th}$  nas fazendas produtoras de leite dos municípios de Pedra e Venturosa.

## 2. MATERIALS AND METHODS

### 2.1. Critérios de seleção das amostras

Na área estudada, foi realizado um levantamento para identificar pontos de coletas significativos para o desenvolvimento do trabalho. As amostras foram coletadas em nove fazendas produtoras de leite localizadas nos municípios de Pedra e Venturosa. Por questão de anonimato, as fazendas foram classificadas em códigos (F-1 a F-09). Os critérios utilizados foram: a proximidade das fazendas com as ocorrências de  $^{232}\text{Th}$  e a quantidade de leite produzido. As fazendas escolhidas no presente estudo são as maiores produtoras de leite da região estudada. A Figura 1 mostra a área fotointerpretada aonde foram realizadas as coletas das amostras.

### 2.2. Tratamento das amostras

Nas fazendas coletou-se 5 kg de cada tipo de vegetal, que depois foram colocados para secar a 80 °C durante 48 horas. A matéria seca obtida foi levada para calcinação a seco até atingir a temperatura de 450 °C. Após atingir esta temperatura, esperou-se um tempo médio de 48 horas, até a obtenção total das cinzas. Após estes procedimentos, retiraram-se dez gramas de cinzas para digestão com ácido nítrico concentrado, levando-se à evaporação, e em seguida, recalcinando a 450°C durante trinta minutos. Após resfriamento, adicionou-se novamente ácido nítrico concentrado e levou-se à ebulição. Depois do esfriamento, a solução obtida foi filtrada e utilizada para a determinação do  $^{228}\text{Ra}$  [14].

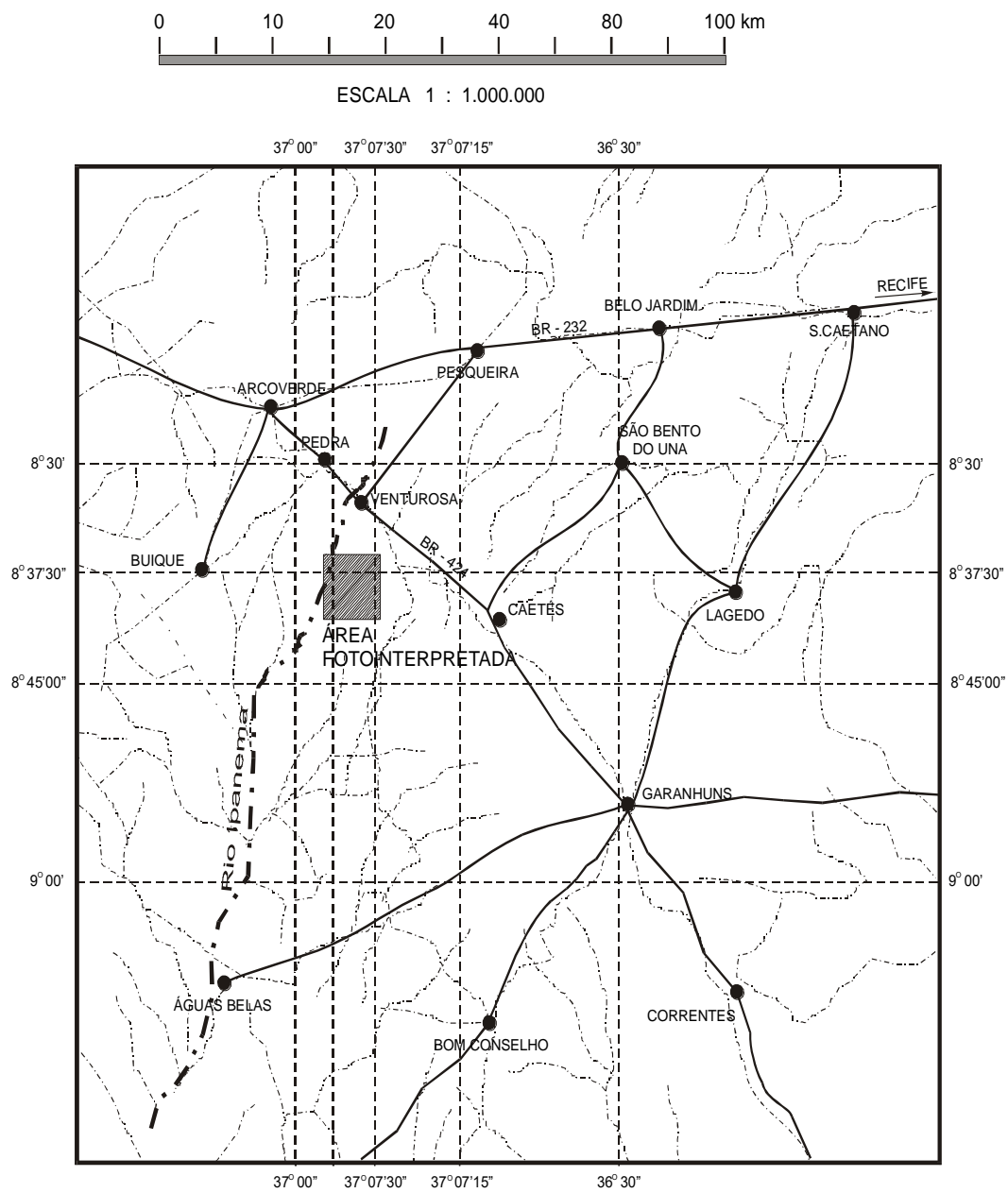


Figura 1: Local de amostragem

### 2.3. Determinação do $^{228}\text{Ra}$

O  $^{228}\text{Ra}$  foi determinado através do  $^{228}\text{Ac}$  pela técnica da quantificação do precipitado de  $\text{BaSO}_4$  [14]. Para a determinação do  $^{228}\text{Ra}$ , preparou-se 1L de solução, a partir da solução formada pela digestão das cinzas. Neste caso, transferiu-se a quantidade de 1 L para um becker de vidro com capacidade para 2 L, adicionando-se: (a) 1 mL de carreador de bário ( $20 \text{ mg Ba}^{+2}/\text{mL}$ ), (b) gotas de vermelho de metila, (c) 5 mL de ácido cítrico e (d)  $\text{NH}_4\text{OH}$ , lentamente até obter pH entre 4,5 a 5. Após esta etapa, a solução foi aquecida até a ebulição, e em seguida adicionou-se 50 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  3 M, sob agitação. O precipitado formado foi dissolvido utilizando-se EDTA e  $\text{NH}_4\text{OH}$ , e colocado para aquecer até sua total dissolução. A solução foi filtrada, e adicionou-se 1 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1,8 N e ácido acético glacial até o pH encontrar-se entre 4,5 a 5. Manteve-se a solução em banho-maria a  $60^\circ\text{C}$  até o dia seguinte. Filtrou-se a solução em papel quantitativo. Depois dessa etapa, cobriu-se o precipitado e em seguida o mesmo foi levado para o detector para determinar a contagem beta (IRD, 1983). A concentração de  $^{228}\text{Ra}$  ( $A_{\text{Ra-228}}$ ) em  $\text{mBq}\cdot\text{kg}^{-1}$  foi determinada utilizando a Equação 1 [14].

$$A_{\text{Ra-228}} = \frac{(C_A - C_B)}{R_Q \times \varepsilon} - 2(1 - e^{-\lambda_1 t_1}) \times A_{\text{Ra-226}} \quad (1)$$

Onde:

$C_A$  = Taxa de contagem beta observada na amostra (cpm);

$C_B$  = Taxa de radiação de fundo (Background) (cpm);

$R_Q$  = Rendimento químico do precipitado (%)

$\varepsilon$  = Eficiência do sistema para contagem do  $^{228}\text{Ra}$  (cpm/mBq);

$\lambda_1$  = Constante de decaimento do  $^{222}\text{Rn}$  (dias);

$t_1$  = Intervalo de tempo para o crescimento do  $^{222}\text{Rn}$  no borbulhador (dias);

$^{226}\text{Ra}$  = Concentração de  $^{226}\text{Ra}$  (mBq/kg). A eficiência de contagem ( $\varepsilon$ ) foi calculada pela Equação 2 [14].

$$\varepsilon = \frac{C_A - C_{BG}}{A_P} \quad (2)$$

Onde:

$C_A$  = taxa de contagem da amostra (cpm);

$C_{BG}$  = taxa de contagem da radiação de fundo (cpm);

$A_P$  = atividade do padrão (mBq/kg).

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

Na Tabela 1 encontram-se apresentados os valores das concentrações de  $^{228}\text{Ra}$  nas amostras de plantas forrageiras cultivadas nas fazendas produtoras de leite dos municípios de Pedra e Venturosa. No cálculo do desvio padrão das concentrações considerou-se um erro de 5% adotado na análise radioquímica das amostras, de acordo com um Programa Nacional de Intercomparação do Instituto de Radioproteção e Dosimetria [14]. Observa-se na Tabela 1, grande variabilidade nos valores das concentrações de  $^{228}\text{Ra}$ .



**Tabela 1:** Concentração de  $^{228}\text{Ra}$  nas amostras de plantas forrageiras.

<b>Código da Fazenda</b>	<b>Tipo de amostra</b>	<b><math>^{228}\text{Ra}</math> (mBq.kg<sup>-1</sup> na MS*)</b>
F-1	Capim bufell	609 ± 78
F-1	Capim elefante	2.791 ± 387
F-1	Palma	8.144 ± 1.020
F-1	Palma	1.696 ± 211
F-2	Capim bufell	7.966 ± 978
F-2	Palma	15.035 ± 3.356
F-3	Capim bufell	1.000 ± 220
F-3	Palma	53.000 ± 8.790
F-3	Palma	15.078 ± 3.987
F-4	Palma	1.803 ± 198
F-5	Palma	12.000 ± 2.458
F-5	Palma	2.731 ± 347
F-5	Capim bufell	1.152 ± 156
F-6	Palma	18.000 ± 2.451
F-6	Palma	37.630 ± 5.040
F-7	Capim bufell	17.560 ± 2.502
F-7	Palma	13.047 ± 1.678
F-7	Palma	98.000 ± 1.6734
F-8	Capim bufell	974 ± 123
F-9	Capim bufell	994 ± 156
F-9	Capim elefante	1.000 ± 169
F-9	Palma	22.100 ± 3.259

\*MS = matéria seca

A literatura apresenta diversas pesquisas para explicar a grande variabilidade nos valores das concentrações de rádio em plantas, inclusive, dentro de uma mesma espécie. Simon e Ibrahim [15] empreenderam uma revisão sobre a transferência do rádio no processo solo-planta, e demonstraram que existe grande variação nos valores das concentrações e que essas tendências são difíceis de explicar. Segundo estes pesquisadores, a elevada variabilidade, como observado na Tabela 1, é decorrente de um grande número de fatores que afetam a absorção de rádio pelas plantas. Estes incluem: (a) liberação dos íons no solo e transporte até às raízes das plantas, (b) troca dos íons nas superfícies das raízes e (c) transporte dos íons através das membranas das raízes e de sua translocação nos tecidos das plantas. Baseado neste trabalho, os autores verificaram que a absorção de rádio pelas plantas depende grandemente das condições do solo e o tipo de planta. A absorção preferencial de rádio pelas raízes foi verificada também nos estudos realizados em plantas cultivadas em locais de elevado nível de radioatividade natural [9], em solos contaminados com sais de rádio e rejeitos de minas de urânio [16], em ocorrência natural granítica [17] e solos contaminados por fosfogesso [18]. Se as raízes das plantas penetrarem diretamente em local de enriquecimento de rádio solúvel, as concentrações desse radionuclídeo serão mais elevadas nesta planta do que nas outras cultivadas em local não enriquecido. Assim, o potencial de absorção de rádio varia consideravelmente de uma planta para outra, inclusive dentro da mesma espécie [19]. Tudo isto, pode explicar a elevada variação nos valores das concentrações de  $^{228}\text{Ra}$  apresentadas na Tabela 1. Em tal situação, a elevada diferença nos valores das concentrações dentro de uma mesma espécie, pode ser explicada devido à distribuição do  $^{228}\text{Ra}$  nos solos das fazendas produtoras de leite. Os primeiros estudos realizados por Costa et al. [2,3] na área onde se encontram localizadas as fazendas F-1 a F-9, verificaram que as ocorrências de tório nos blocos rolados de rochas calciosilicáticas anfíbolíticas foram pontuais, apresentando, assim, diferentes níveis de concentração. Tal descontinuidade, certamente disponibilizou diferentes níveis de concentração de  $^{228}\text{Ra}$  para as plantas, pois, de acordo com Kozak et al. [20], a presença de rádio em solo é devido ao intemperismo da rocha que contém esses radionuclídeos.

Como se observa na Tabela 1, a palma forrageira (*Opuntia spp.*) apresentou as maiores concentrações de  $^{228}\text{Ra}$ . Os níveis elevados desses radionuclídeos na palma forrageira podem ser

explicados pela capacidade que essa planta possui em absorver água. Como geralmente, o rádio possui grande mobilidade na água, é possível que ela tenha sido o veículo principal de transporte para a palma forrageira. Segundo Shultz [21], o rádio tende a se mover diretamente no solo sob a influência da água e de soluções salinas, ficando assim, inteiramente disponível para ser absorvidos pelas raízes das plantas.

De acordo com Santos [22], esse vegetal apresenta raízes superficiais que penetram, normalmente, até oitenta centímetros de profundidade no solo e atingem vários metros de extensão formando verdadeira rede capilar, com elevada capacidade de absorção da água do solo. Sendo assim, o comportamento fisiológico da distribuição das raízes da palma forrageira (*Opuntia spp.*) cultivada nos solos das fazendas F-1 a F-9 foi um fator importante na transferência de níveis elevados de  $^{228}\text{Ra}$  nas plantas, principalmente, na fazenda F-7 como mostrado na Tabela 1. Nesta fazenda encontra-se na a maior anomalia de tório, como citado nos trabalhos de Costa et al. [2,3] e de Santos Jr. et al. [5]. Nesse caso específico, as amostras de palma forrageira (*Opuntia spp.*) e capim bufell (*Cenchrus ciliares*) coletados no centro da ocorrência anômala de tório natural apresentaram níveis elevados de  $^{228}\text{Ra}$  (Tabela 1). Entretanto, a mesma capacidade de absorção não foi verificada para as amostras de palma forrageira (*Opuntia spp.*) cultivadas nas demais fazendas. Isto pode ser explicado, levando em consideração os estudos realizados por Santos Jr. et al. [23]. De acordo com esses autores, no caso específico do  $^{232}\text{Th}$ , as concentrações que são elevadas no centro da anomalia de tório natural da região estudada, vão diminuindo à medida que se afasta do centro. Sendo assim, os valores das concentrações de  $^{228}\text{Ra}$  nas amostras de palma forrageira (*Opuntia spp.*) cultivadas distantes do centro da anomalia foram menores do que àquelas cultivadas no centro da anomalia. Assim, a palma forrageira (*Opuntia spp.*) constituiu-se um excelente bioindicador da presença de  $^{228}\text{Ra}$  em solos com anomalia de  $^{232}\text{Th}$ .

Um aspecto estratégico a ser levado em consideração na produção leiteira do estado de Pernambuco nos últimos anos, foi o intensificado plantio e a utilização da palma forrageira (*Opuntia spp.*) na alimentação de vacas leiteiras, que resultou em um mecanismo de sustentação e sobrevivência dos rebanhos após dois períodos de seca na década de 90 [7]. A palma forrageira é o único volumoso que mantém seu valor nutritivo mesmo sem parar de crescer. Mesmo que não mensurada, é grande a expansão da área cultivada com palma forrageira em toda bacia leiteira do

estado de Pernambuco [7]. Isto é muito importante, pois o leite de vaca é considerado uma das maiores fontes de ingestão de radionuclídeos pelo homem, principalmente se o leite for produzido em decorrência do consumo de forragem fresca [24]. Sansom e Garner [10] mostraram que, parte do rádio ingerido por vacas leiteiras é transferido para o leite. Uma vez incorporado no corpo humano, o rádio é metabolizado de maneira similar ao cálcio, onde aproximadamente 90% deste radionuclídeo presentes na corrente sanguínea depositam-se nos ossos [25,11]. O principal dano à saúde do homem, resultante da assimilação do rádio, é a ocorrência de câncer, onde os tipos mais comuns são sarcomas de osso (relacionado com o  $^{226}\text{Ra}$ ) e carcinoma de crânio (relacionado com o  $^{226}\text{Ra}$  e o  $^{228}\text{Ra}$ ) [26]. Tudo isto mostra a importância das concentrações de  $^{228}\text{Ra}$  apresentadas na Tabela 1.

#### 4. CONCLUSÃO

Em decorrência das elevadas concentrações de  $^{228}\text{Ra}$  nas amostras de plantas forrageiras consumidas pelos bovinos leiteiros das fazendas dos municípios de Pedra e Venturosa, é necessário realizar periodicamente monitoração deste elemento em amostras de leite, pois o mecanismo solo-forragem-leite pode ser determinante na exposição da população à níveis elevados de radiação natural.

#### REFERÊNCIA

1. FILHO, J.S.; ANDRADE, V. A. Comentários sobre a avaliação Fotogeológica da Área do Projeto Venturosa. **NUCLEBRÁS/EFOR.PM**. 1988.
2. COSTA, A. C.; PEDROSA, I. L.; MENDES, V. A. Projeto Agreste de Pernambuco. **Convênio DNPM/CPRM**. 1976.
3. COSTA, A. C.; PEDROSA, I. L.; MENDES, V. A. Projeto Agreste de Pernambuco. Convênio DNPM/CPRM. **Relatório Final**, v.1. 1977.

4. MENDONÇA, J. C. G. S. Análise dos Relatórios do Projeto Venturosa com vistas à Retomada dos Trabalhos de Avaliação. **NUCLEBRÁS/EFOR.PM** (Rel. Inédito, 8 p.). 1987.
5. SANTOS JÚNIOR; J.A. et al. Radium-228 as an Indicator of Thorium-232 Presence in a Soil in Pernambuco, Brazil. **Bull Environ Contam Toxicol**, v. 82, p. 650–652, 2009.
6. JAWOROWSKI, Z. The natural distribution of radium. **Technical Reports Series n. 310-IAEA**, v.1, p. 127-129, 1990.
7. SEBRAE (Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas de Pernambuco). **Cadeia produtiva de leite em Pernambuco**, Recife: Edição SEBRAE, 2002.
8. MCDOWELL-BOYER, L.M.; WATSON, A.P.; TRAVIS, C.C. A review of parameters describing terrestrial food-chain transport of  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{226}\text{Ra}$ . **Nuclear Safety**, p. 486-495, 1980.
9. LIMA, V.T.; PENNA-FRANCA, E. Uptake of endogenous and exogenous  $^{226}\text{Ra}$  by vegetables from soils of a highly radioactive region. **Radiat Prot Dosimetry**, v. 24 (1-4), p. 123-126, 1988.
10. SANSOM, B.F.; GARNER, R.J. The metabolism of radium in dairy cows. **Biochem J.**, v. 99, p. 677-681, 1966.
11. EISENBUD, M.; GESELL, T. **Environmental Radioactivity: from natural, industrial, and military sources**, 1<sup>st</sup> ed. New York: Academic Press, 1997.
12. YAMAMOTO, M.; HINOIDE, M.; OHKUBO, Y.; UENO, K. Concentration of  $^{226}\text{Ra}$  in human teeth. **Health Phys**, v. 67, p. 535-540, 1994.
13. MILLS, W.A. **Estimates of human cancer risks associated with internally deposited radionuclides**. In: Raabe, O.G. Internal Radiation Dosimetry. Madison: Medical Physics Publishing, 1994.
14. Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD). **Manual de procedimentos técnicos do Departamento de Proteção Radiológica Ambiental**. Rio de Janeiro, IRD/CNEN, 1983.
15. SIMON, S.L.; IBRAHIM, S. A. Biological uptake of radium by terrestrial plants. In The Environmental Behaviour of Radium. **Technical Report Series n. 310, IAEA**, Vienna, v.1, 1990.
16. BETTENCOURT, A.O. et al. Soil to plant transfer of radium-226. **J Environ Radioact**, v. 6, p. 49-60, 1988.
17. Sam, A. K.; Eriksson, A. Ra-226 uptake by vegetation grown in Western Sudan. **J Environ Radioact**, v. 29, p. 27-38, 1995.
18. BURNETT, W.C.; ELZERMAN, A.W. Nuclide migration and the environmental radiochemistry of Florida phosphogypsum. **J Environ Radioact**, v. 54, p.27-51, 2001.

19. BAKER, A.C.; TOQUE, C.A. review of the potential for radium from luminising activities to migrate in the environment. **J Environ Radioact**, v. 25, p. 127-140, 2005.
20. KOZAK, J.A.; REEVES, H.W.; LEWIS, B. A. Modelling radium and radon transport through soil and vegetation. **J Contam Hydrol**, v. 66, n. 3-4, p. 179-200, 2003.
21. Schultz R. K. Soil chemistry of radionuclides. **Health Phys**, v. 11, p. 1317-1324, 1965.
22. SANTOS, D.C. **Estimativa de parâmetros genéticos em caracteres de clones da palma forrageira. *Opuntia ficus-indica* Mill e *Nopalea cochenillifera* Salm-Dyck**. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1992. 119p. Dissertação de Mestrado.
23. SANTOS JR., J.A.; CARDOSO, J.J.R. F.; SILVA, C.M.; SILVEIRA, S.V.; AMARAL, R. S. Determination of radionuclides in environment using spectrometry. **J Radioanal Nucl Chem**, v. 269, n. 2, p 451-455, 2006.
24. JOHNSON, J.E.; WARD, G.M.; ENNIS Jr., M.E.; BOAMAH, K.N. Transfer coefficients of selected radionuclides to animal products. 1. Comparison of milk and meat from dairy cows and goats. **Health Phys**, v. 54(5), p. 161-166. 1988.
25. MUTH, H.; GLÖBEL, B. Age dependent concentration of  $^{226}\text{Ra}$  in human bone and some transfer factors from diet to human tissue. **Health Phys**, v. 44 (supplement) (1), p. 113-121, 1983.
26. MAYS, C.W.; ROWLAND, R.E.; STEHNEY, A.F. Cancer risk from the lifetime intake of Ra and U isotopes. **Health Phys**, v. 48 (5), p. 635 - 647, 1985.