

AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO RADIOLÓGICA DE UM SOLO AGRÍCOLA NAS PROXIMIDADES DE UM MINA DE URÂNIO

M.Flues, B.Mazzilli, K.Bunzl*, R.Kretner*, R.Winkler*

Comissão Nacional de Energia Nuclear-CNEN
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares-IPEN
Cidade Universitária "Armando Salles de Oliveira"
Travessa R.400 - São Paulo - SP - CEP 05508-900
e-mail : mflues@net.ipen.br

*Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit - GSF - Alemanha

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo do efeito da contaminação de um solo agrícola sob a influência de um sistema de exaustão de uma mina de urânio em descomissionamento. A determinação da atividade dos radionuclídeos (^{210}Pb , ^{238}U , ^{226}Ra e ^{228}Ra) em função da distância do sistema de exaustão permitiu verificar um aumento da concentração de todos os radionuclídeos no solo nas áreas próximas ao sistema de ventilação. Constatou-se que ^{210}Pb apresentou a maior contaminação e efeitos menores foram observados para ^{238}U e ^{226}Ra .

O processo de extração sequencial foi empregado para investigar a especiação e biodisponibilidade dos radionuclídeos e do chumbo estável nas várias camadas do solo (fração I dos íons trocáveis, fração II dos íons ligados ao carbonato e fração III dos íons ligados aos óxidos de Fe e Mn). Verificou-se, pelos resultados dessas análises que no solo próximo ao sistema de exaustão os radionuclídeos mais extraídos foram ^{210}Pb , ^{238}U e ^{226}Ra .

Portanto, o elemento mais crítico para a contaminação do meio ambiente sob influência da mina é o ^{210}Pb , não só pelo fato de ter apresentado as maiores concentrações no solo, como também, por ter sido o radionuclídeo mais extraído na fração dos íons trocáveis, que é a mais crítica para o meio ambiente.

INTRODUÇÃO

No caso dos trabalhadores responsáveis pela mineração de urânio, a via crítica de contaminação é a inalação de poeira e de aerossóis contendo radionuclídeos emissores alfa, principalmente o radônio, que é um gás inerte e seus produtos de decaimento. Para proteger esses indivíduos, ocupacionalmente expostos, empregam-se sistemas de ventilação. Nesses sistemas de ventilação o ar é introduzido na mina através das vias principais de entrada de ar fresco, circula pelos locais de trabalho e retorna à superfície. Como geralmente o sistema de exaustão de ar não é provido de filtros, os radionuclídeos liberados se depositam sobre as plantas e a superfície do solo que circunda a saída do sistema de ventilação. Como resultado, tem-se um acúmulo de vários radionuclídeos naturais da série do urânio nos solos próximos à saída do sistema de exaustão. Se esse solo é explorado na agricultura, como pasto ou para a produção de grãos, serão observados aumentos nas taxas de atividades dos radionuclídeos naturais nos alimentos produzidos.

A proposta do presente trabalho foi investigar a contaminação de um solo agrícola, sob influência do sistema de ventilação de uma mina de urânio em desativação situada na antiga Alemanha Oriental.

No caso de uma contaminação radioativa, os radionuclídeos são geralmente incorporados ao solo em considerável extensão e somente uma fração desta pode participar dos processos geoquímicos ou ser assimilada pelas plantas. Para estimar um possível dano radiológico devido aos radionuclídeos presentes no solo é importante conhecer não somente a concentração total desses radionuclídeos como também sua especiação e disponibilidade para os processos ecológicos.

O uso de métodos de extração sequencial apesar de mais demorados, fornecem informações mais detalhadas, como a força da ligação e a forma química do metal incorporado no solo e a diferenciação deste nas várias frações: fração de íons trocáveis (fração I), fração ligada ao carbonato (fração II), fração ligada ao óxido de ferro e manganês (fração III), fração oxidável ligada à matéria orgânica (fração IV) e fração residual (fração V).

Naturalmente a fase dissolvida (fração I e II) é a mais crítica para a vida vegetal e aquática.

PARTE EXPERIMENTAL

1. Local de amostragem

A mina de urânio escolhida para o presente estudo localiza-se numa zona rural em Thüringer, Alemanha, cerca de 4km ao sul de uma pequena vila de Ronneburg. O sistema de ventilação da mina teve início em janeiro de 1970, embora a operação da mina tivesse iniciada em data anterior, provavelmente 1946. Apesar da mina estar sendo descomissionada desde dezembro de 1990, parte do sistema de ventilação ainda continua funcionando, resultando em liberação de radônio (que emana das rochas do subsolo mesmo após o encerramento da mineração), como também de seus produtos de decaimento para o meio ambiente.

Foram coletadas 51 amostras de solo ao longo de um eixo longitudinal a partir de 10m do ventilador até uma distância de 200m, em intervalos regulares de 4m, na direção da saída de ar do ventilador escolhido. O primeiro ponto coletado está situado à 10m do sistema de exaustão, onde existe uma cerca. Este ponto foi considerado como característico de um solo não arado (ponto 0), para efeito de comparação com os demais pontos considerados como solo arado. Nos pontos 0, 10 e 196m foram coletadas 4 amostras (a,b,c, e d) situados nos vértices de um quadrado de 50x50cm.

Não há dados representativos da descarga anual de radionuclídeos naturais no ar liberado durante todos os anos de operação da mina.

2. Espectrometria gama do solo

Para a determinação da atividade dos radionuclídeos ^{238}U , ^{226}Ra , ^{210}Pb e ^{228}Ra foi utilizada a técnica de espectrometria gama. As amostras de solo foram hermeticamente fechadas em recipientes redondos de polietileno de 7,5cm de diâmetro por 3cm de altura. Nestes recipientes foram introduzidos 125 a 135g de solo, para manter aproximadamente a mesma geometria de contagem. O tempo de contagem estabelecido foi 1200 min e o detector utilizado para as medidas foi um detector de germânio hiperpuro de baixa energia, modelo GMX-252000-S, com resolução de 1,96keV e eficiência relativa de 33,9% para o pico de 1,33Mev do ^{60}Co .

A medida das amostras foi sempre realizada, no mínimo, duas semanas após o fechamento dos recipientes, para que o equilíbrio entre o ^{226}Ra e seus produtos filhos fosse estabelecido.

As medidas de ^{210}Pb e ^{234}Th foram corrigidas para a atenuação dos ftons de baixa energia gama pelo fator de autoabsorção (Cutshall et al., 1983). Para obter uma estimativa do erro total do processo, incluindo a variabilidade da concentração de um ponto de amostragem, foram determinados os radionuclídeos acima citados separadamente em quatro amostras coletadas num ponto do

campo amostrado (vide citação no item de amostragem). O coeficiente de variação obtido para todos radionuclídeos foi menor que 10%. O controle de qualidade foi garantido pela análise de padrões de referência (NBS Coal SRM 1632a) e por participação em análises de intercomparação.

3. Extração Sequencial do solo

A técnica de extração sequencial desenvolvida por Tessier et al. (1979) foi aplicada no solo em estudo para avaliar a biodisponibilidade dos radionuclídeos. Para tanto, a concentração dos radionuclídeos foi determinada nos pontos 0, 10 e 196m. O ponto 0 representa um solo sob influência direta da fonte poluidora (solo não arado) enquanto o ponto 196 (solo arado) situa-se à uma distância aonde o nível de atividade antropogênica não é mais detectável. Foram analisados os radionuclídeos naturais ^{238}U , ^{226}Ra , ^{210}Pb e ^{228}Ra . O chumbo estável foi analisado para efeito de comparação. Esses radionuclídeos foram analisados somente nas frações I, II e III, pois essas fases são as mais lábeis e portanto mais relevantes para a vida vegetal e aquática.

Os 500mL do lixiviado da fração I, II e III foram recolhidos num frasco Marinelli vedado com fita isolante e após 40 dias foi feita a contagem da atividade gama.

Para testar a reprodutibilidade do processo de extração foram executadas extrações sequenciais das frações I, II e III em quatro amostras de 100g do solo 0. O coeficiente de variação determinado experimentalmente para cada fração resultou pela análise do ^{210}Pb em valores inferiores a 10%.

4. Análise e discussão dos resultados

4.1 Avaliação da contaminação radioativa do solo

As atividades observadas para os radionuclídeos (^{238}U , ^{226}Ra , ^{228}Ra e ^{210}Pb) no solo em função da distância do sistema de exaustão das galerias subterrâneas da mina são apresentadas na Figura 1.

Uma avaliação visual destas curvas revela que para todos os radionuclídeos a atividade é significativamente maior nas proximidades do ventilador. O teste não paramétrico de Serman ($p < 0,05$, bicaudal) (Sachs, 1974), aplicado aos dados da concentração de ^{210}Pb , ^{238}U , ^{226}Ra e ^{228}Ra , mostram que os resultados, após 40 metros da cerca, são constantes e a variação é somente estatística. A maior variação com a distância foi observada para a atividade do ^{210}Pb . Para verificar se as concentrações do ^{228}Ra antes e depois dos 40m são estatisticamente diferentes, foi aplicado o teste de Wilcoxon ($p < 0,01$, bicaudal), provando-se assim, que os resultados são diferentes. Portanto, a concentração dos radionuclídeos (^{210}Pb , ^{238}U , ^{226}Ra e ^{228}Ra) decresce até atingir valores observados constantes a uma distância de aproximadamente 40m da cerca. Isto demonstra que o efeito do sistema de exaustão para os radionuclídeos acima citados limita-se, aproximadamente, aos primeiros 50m.

Considerando os valores observados além de 40m da cerca, como sendo a atividade natural desses radionuclídeos no solo local, pode-se calcular a atividade média correspondente para os vários radionuclídeos :

$$^{226}\text{Ra} : 0,051 \pm 0,005 \text{ Bq/g}$$

$$^{228}\text{Ra} : 0,047 \pm 0,002 \text{ Bq/g}$$

$$^{210}\text{Pb} : 0,054 \pm 0,009 \text{ Bq/g}$$

$$^{238}\text{U} : 0,073 \pm 0,007 \text{ Bq/g}$$

A frequência de distribuição dos valores mostra algum desvio da distribuição normal, mas as diferenças entre a mediana e a média correspondente são muito pequenas. Os valores acima citados são semelhantes aos observados em outros solos agrícolas naturais da Baviera, Alemanha (Bunzl et al., 1984), onde os valores para esses radionuclídeos estão entre 0,03 e 0,07 Bq/g. Se compararmos a atividade desses radionuclídeos, observada no solo imediatamente após a cerca e seu valor a partir de uma distância superior a 40m da cerca, obteremos os seguintes valores para $^{210}\text{Pb}=30$; para o $^{226}\text{Ra}=4$; para o $^{238}\text{U}=4$ e para o $^{228}\text{Ra}=1$.

Portanto o maior efeito do ar liberado da mina é observado para ^{210}Pb e efeitos menores para ^{238}U e ^{226}Ra . Isto pode ser explicado considerando que o chumbo é produto de decaimento do radônio, que é um gás inerte capaz de difundir para dentro e fora do material rochoso da mina mesmo com o término da atividade da instalação. Sua concentração no solo, portanto, provem de duas fontes distintas, o decaimento do ^{238}U presente no solo e o decaimento do radônio difundido. Os valores encontrados para o ^{228}Ra indicam que a série natural do ^{232}Th está presente na mina em baixas concentrações.

4.2 Avaliação dos resultados da extração sequencial do solo

Para facilitar a análise dos resultados obtidos na extração sequencial do solo, estes foram resumidos na TABELA 1.

TABELA 1. Resumo dos Resultados Obtidos para as Porcentagens dos Radionuclídeos das Frações Extraídas do Solo (média dos valores a,b,c e d)

Fração I				
	^{210}Pb	^{238}U	^{226}Ra	^{228}Ra
Solo 0	17±3	<4%	6±3	<2%
Solo 10	<4%	<8%	<1%	<2%
Solo 196	<18%	<13%	<2%	<2%
Fração II				
Solo 0	8±1	20±3	15±2	<2%
Solo 10	<4%	11±4	<1%	<2%
Solo 196	<18%	<13%	<2%	<2%
Fração III				
Solo 0	36±3	17±3	16±4	<2%
Solo 10	44±4	15±5	6±2	<2%
Solo 196	<30%	<12%	<4%	<2%

Analisando os resultados obtidos na extração sequencial observou-se que na fração I (íons prontamente trocáveis) as porcentagens de extração, para a maioria dos radionuclídeos, são muito baixas ou não puderam ser detectadas com precisão pela espectrometria gama.

No solo 0, entretanto, esse percentual é significativamente mais alto para ^{210}Pb e ^{226}Ra que apresentaram uma extração média de (17±3)% e (6±3)%, respectivamente. O percentual de extração do ^{238}U nesse solo foi inferior a 4%, valor que se aproxima bastante do percentual obtido para o ^{226}Ra , que foi de 6% . Esse resultado indica que talvez o ^{238}U também esteja sendo extraído pela fração dos íons trocáveis, porém, o limite de detecção do sistema de contagem, para a energia do ^{238}U , não foi suficientemente sensível para essa medida. Por outro lado, o resultado obtido para o ^{226}Ra está de acordo com o seu comportamento químico, pois esse radionuclídeo é bastante solúvel na solução solo (Frissel&Köster, 1990). Observou-se também que o ^{210}Pb apresenta uma alta porcentagem de extração na fração dos íons trocáveis, embora ele não seja considerado um íon muito solúvel na solução solo. Uma explicação para esse comportamento vem do fato dele ser um produto de decaimento do radônio e ao se precipitar juntamente com as partículas de poeira da mina, encontra-se predominantemente na forma adsorvida, que é mais lábil.

Na fração II (íons ligados ao carbonato) as porcentagens de extração da maioria dos radionuclídeos nos solos estudados são novamente muito baixas ou próximas do limite de detecção.

No entanto, para os radionuclídeos ^{210}Pb , ^{238}U e ^{226}Ra as porcentagens de extração na fração II são estatisticamente significativas no solo 0 com valores de (8±1) , (20±3) e (15±2) , respectivamente. No solo 10, onde a influência do ventilador da mina ainda é perceptível, somente o ^{238}U foi extraído, apresentando um valor médio de extração de (11±4)% .

Na fração III (íons ligados aos óxidos de Fe e Mn), que corresponde a uma extração mais agressiva (pH=2), o único solo no qual os resultados da extração não foram significativos é o solo 196, pois a espectrometria gama não apresenta sensibilidade suficiente para detectar essas concentrações.

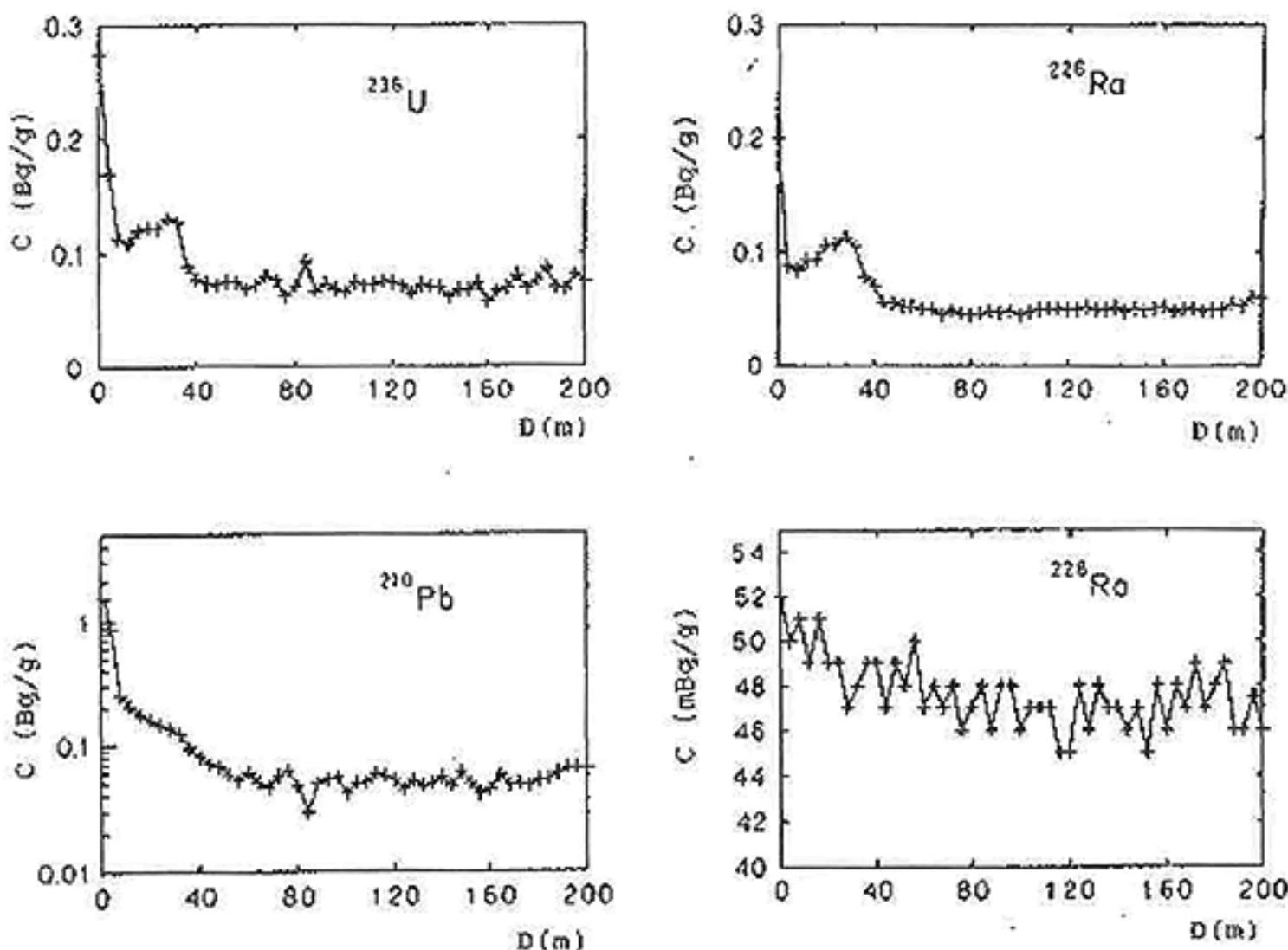
Nos solos 0 e 10, solos com maior influência da fonte poluidora, obteve-se uma extração significativamente mais alta na fração III para os radionuclídeos ^{210}Pb , ^{238}U e ^{226}Ra , com valores médios de:

	^{210}Pb	^{238}U	^{226}Ra
solo 0	36±3	17±3	16±4
solo 10	44±4	15±5	6±2

Para o radionuclídeo ^{228}Ra todas as medidas obtidas nas frações I, II e III, encontram-se muito próximas do limite de detecção e portanto é difícil uma conclusão a respeito da extração desse radionuclídeo pelas soluções extratoras.

O aumento da extratibilidade do ^{210}Pb , ^{226}Ra e ^{238}U no solo próximo à saída do sistema de exaustão, ponto 0, pode ser explicado levando-se em consideração que esses radionuclídeos estão associados a partículas muito

Figura 1 : Concentração dos radionuclídeos no solo (C) em função da distância do ventilador (D).



pequenas de poeira da mina, exibindo conseqüentemente uma área superficial muito grande que favorece o intemperismo e a desorção dos radionuclídeos do solo. Adicionalmente, também é possível que o baixo pH do solo 0 comparado com o solo 196 seja responsável pelo aumento da disponibilidade do ^{210}Pb e do ^{226}Ra .

Concluindo, nas medidas das extrações sequenciais do solo por espectrometria gama observa-se que na maioria dos casos a porcentagem de extração dos radionuclídeos aumenta com a força da solução extratora, isto é, quanto menor o pH da solução extratora maior a porcentagem de extração.

A fração dos ions trocáveis é a mais crítica para o ecossistema circundante, pois seus ions são mais lábeis e a mais disponíveis para a vida aquática e vegetal. Na extração dos radionuclídeos pela fração I, verifica-se que o ^{210}Pb apresenta a maior porcentagem de extração.

Considerando-se o comportamento de extração do ^{210}Pb nos dois solos (0 e 196) separadamente, verifica-se que no solo 0 o ^{210}Pb é mais extraído na fração I e III, enquanto que, no solo 196 o ^{210}Pb é mais extraído nas frações II e III. Esse mesmo comportamento é apresentado na extração sequencial do chumbo estável, apesar da porcentagem de extração na fração III para o chumbo estável ser bem mais elevada do que a do seu isótopo radioativo. A diferença de comportamento entre as extrações da fração I nos dois solos pode ser explicada pelos baixos valores de pH do solo 0 (pH=4,1) em relação

ao do solo 196 (pH=6,4) que aumentam a labilidade do chumbo no solo 0.

Resultados de chumbo estável:

	Fração I	Fração II	Fração III
Solo 0	12±1	7±1	80±13
Solo 196	<1	5±1	93±5

5. Conclusão

A avaliação dos resultados obtidos para a concentração dos radionuclídeos no solo revela que a atividade de todos os radionuclídeos é significativamente maior nas proximidades do sistema de exaustão da mina e decresce até atingir valores constantes a uma distância de aproximadamente 40m da cerca. Conclui-se que o efeito do sistema de exaustão para os radionuclídeos estudados limita-se aos primeiros 50 metros.

Dos radionuclídeos estudados, constatou-se que o ^{210}Pb apresentou a maior contaminação e efeitos menores foram observados para ^{238}U e ^{226}Ra . Os valores encontrados para o ^{228}Ra indicam que a série natural do ^{232}Th está presente na mina em baixas concentrações.

Pelos resultados da porcentagem da extração sequencial do solo pode-se observar que o comportamento dos radionuclídeos ^{210}Pb , ^{238}U e ^{226}Ra são diferentes. O ^{210}Pb é mais extraído na fração I e III enquanto o ^{238}U e o

²²⁶Ra são igualmente extraídos na fração II e III. Verifica-se também que o comportamento da extração sequencial do ²¹⁰Pb no solo 0 e 196 não é o mesmo, sendo mais extraído, no solo 196, na fração II e III. Portanto, o comportamento dos radionuclídeos no solo depende da composição do solo e das características químicas e físicas dos radionuclídeos no sistema considerado, que irão definir a sua labilidade para o meio ambiente. O estudo da extração sequencial do chumbo estável mostrou um comportamento semelhante ao do ²¹⁰Pb somente nas frações I e II.

O ²¹⁰Pb em particular, que é um produto de decaimento do gás radônio na mina, irá provavelmente ser adsorvido sobre a superfície das partículas de poeira de modo mais extensivo do que ser absorvido por essas partículas. Isto poderia explicar porque esse radionuclídeo é encontrado em alta porcentagem na fração dos íons prontamente trocáveis do solo 0. Adicionalmente, também é possível que o baixo pH do solo 0 comparado com o do solo 196 seja responsável pelo aumento da disponibilidade do ²¹⁰Pb, do ²²⁶Ra e do chumbo estável na fração I.

Concluindo, pode-se afirmar que o elemento mais crítico para a contaminação do meio ambiente sob influência da mina é o ²¹⁰Pb, não só pelo fato de ter apresentado as maiores concentrações no solo, como também por ter sido o radionuclídeo mais extraído na fração dos íons trocáveis, que é a mais crítica para o meio ambiente.

Conclui-se, também, que o comportamento dos radionuclídeos e metais pesados em geral, entre o sistema solo - solução solo, é fortemente dependente da composição do solo, das propriedades químicas dos radionuclídeos e da forma como estes radionuclídeos estão associados às partículas do solo. Essa conclusão pode ser reforçada pelos diferentes resultados encontrados na literatura para o comportamento do rádio e chumbo em várias localidades (Voss et al., 1983; Lima & Penna Franca, 1988; Dominik et al., 1983; Cooper et al., 1981; Zeien & Brümmer, 1991 e Cruz et al., 1986).

O órgão responsável pelos assuntos de proteção radiológica da Alemanha (SSK-Strahlenschutzkommission) baseado nas recomendações do ICRP (International Commission on Radiological Protection) e da EPA (Environmental Protection Agency) recomendou para o descomissionamento das áreas próximas à mina em questão, valores limites para a atividade específica do solo de 0,2Bq/g de solo (SSK-92). Abaixo deste valor limite não existem restrições para a liberação das áreas. A SSK estabeleceu também valores limites de até 1Bq/g de solo, para a liberação de áreas com certas restrições, desde que o critério de dose seja conservado (1mSv/ano para o indivíduo do público).

Avaliando os resultados obtidos no presente trabalho para as análises do solo, conclui-se que para os radionuclídeos ²³⁸U e ²²⁶Ra e em particular o ²¹⁰Pb, nas áreas muito próximas do ventilador (até 10m da cerca), o limite de 0,2Bq/g é ultrapassado. Se os resultados da extração sequencial forem levados em conta e considerando que na fração dos íons trocáveis, a mais crítica para o ecossistema circundante, a extração máxima obtida foi de 17% (no caso do ²¹⁰Pb), pode-se concluir que

a utilização dessa área não oferece nenhum dano para a população.

Referências Bibliográficas

- BUNZL, K.; HÖTZL, H.; ROSNER, G. e WINKLER, R. **Spatial distribution of radionuclides in the soil around a coal fired power plant: ²¹⁰Pb, ²¹⁰Po, ²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K emitted with the fly ash and ¹³⁷Cs from the worldwide weapon testing fallout.** Sci. Total Environ., 38: 15-31, 1984.
- COOPER, M.B.; STANNEY, K.A.; WILLIAMS, G.A. **An investigation of the speciation of radionuclides in sediments and soils.** Melbourne, Australian Radiation Lab., 1981. (ARL/TR-039).
- CRUZ, C.R.; RODRIGUEZ, S.J.; CALA, R.V. **Distribution of lead, cadmium, copper and chromium among different solid phases in some types of soils.** An. Edafol. Agrobiol., 45: 613-630, 1986.
- CUTSHALL, N.; LARSEN, I.; OLSEN, C. **Direct analysis of ²¹⁰Pb in sediments samples, selfabsortion corrections.** Nuclear Instrum and Methods, 206 : 309-312, 1983.
- DOMINIK, J.; RAPIN, F.; VERNET, J.P. **Sequential chemical extration of ²¹⁰Pb and ²¹⁰Po, stable Pb and other metals from marine and lacustrine sediments** In: Heavy metal in the environment : proceedings of the international conference, held in Heidelberg, Sept 1983 p.1078-1081.
- FRISSEL, H.J. & KÖSTER, H.W. **Environmental Migration : Radium in soil.** In: International Atomic Energy Agency **The environmental behaviour of radium.** Viena, 1990, V.1 cap4-1 (Technical report series, 310)
- LIMA, V.T. & PENNA-FRANCA, E. **Uptake of endogenous and exogenous ²²⁶Ra by vegetation samples from soils of highly radioactive region.** Radiat. Prot. Dos. 24:123-126, 1988.
- SACHS, L. **Angewandte Statistik 4. Auflage.** Heidelberg, Springer Verlag, Heidelberg, 1974.
- (SSK-92) BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT **Stralen- schutzgrundsätze für die Verwahrung, Nutzung oder Freigabe von kontaminierten Materialien, Gebäude, Flächen oder Halden aus den Uranerzbergbau.** Bonn 1992. Band 23.
- TESSIER, A.; CAMBELL, P.; BISSON, M. **Sequential extration procedure for the speciation of particule trace metals.** Anal. Chem. 51(7) : 844-851, 1979.
- VOSS, H.A.; WILLIAMS, G.A.; COOPER, M.B. **The speciation of radionuclides in sediments and soils. Part II. Studies with a sequential organic extration procedure.** Melbourne, Australian Radiation Lab., 1983. (ARL/TR-058)
- ZEIEN, H. & BRÜMMER, G.W. **Chemical extration in the determination of binding forms of heavy metals in soils.** Ber. Ökol. Forsch., 6:62-91, 1991.

Abstract

The contamination of a soil near an uranium mine exhaust ventilating shaft was evaluated. The activity concentration of ^{210}Pb , ^{238}U , ^{226}Ra e ^{228}Ra was measured along a transect of 200m on a field located in the exhaust air direction. The data showed that the activity increased due to the emissions from the mine. The largest effect was observed for ^{210}Pb , whereas smaller effects were observed for ^{238}U and ^{226}Ra .

A sequential extraction procedure was applied to investigate the speciation of the radionuclides and stable Pb in the soil. The following extractions were carried out: fraction I readily exchangeable, fraction II bound to carbonates and fraction III bound to Fe and Mn oxides. In the soil near the exhaust air the extraction was more effective for ^{210}Pb , ^{238}U and ^{226}Ra .

Concluding, ^{210}Pb was found to be the most critical radionuclide discharged by the exhaust ventilating shaft. Indeed this radionuclide not only presented higher concentration in the near soil but also was the more extracted in fraction I, which is most relevant for the environment.