

Transferência do urânio no sistema água-solo-plantas (*Lactuca sativa* L.) na área mineira da Cunha Baixa

Uranium transfer in the water-soil-plant (*Lactuca sativa* L.) system at Cunha Baixa mine site

ORQUÍDIA NEVES – orquidia.neves@ist.utl.pt (Centro de Petrologia e Geoquímica, Universidade Técnica de Lisboa (TULisbon), Av. Rovisco Pais 1049-001 Lisboa, Portugal)

MARIA MANUELA ABREU – manuelaabreu@isa.utl.pt (Departamento de Ciências do Ambiente, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa (TULisbon), Tapada da Ajuda, 1349-017, Lisboa, Portugal)

ELSA M. VICENTE – elsavicente@gmail.com (same address as O. Neves)

RESUMO: A água de poços privados localizados nas proximidades da área mineira da Cunha Baixa (Portugal, Mangualde) são usados, desde as últimas duas décadas, para rega de vários produtos hortícolas. A concentração elevada de urânio nas águas gerou preocupações relacionadas com a saúde, especialmente por parte dos donos dos poços mais afectados. Nestas condições o urânio pode acumular-se no solo ou na parte comestível das plantas, podendo colocar em risco a saúde humana.

Neste trabalho apresentam-se os resultados de um estudo realizado para avaliar o teor de urânio e a sua distribuição na alface (*Lactuca sativa* L.), cultivada em dois solos situados em zona agrícola, na envolvente da antiga mina de urânio. Esta planta, normalmente encontrada nas hortas da zona é, em regra, usado pela população local para consumo durante uma grande parte do ano. Analisou-se o urânio no material vegetal (folha e raiz), nos solos (fracção total e disponível) e nas respectivas águas de rega. As raízes contêm mais urânio do que as folhas, variando a concentração média, respectivamente, entre 1,07 e 4,6 mg/kg peso seco e entre 0,42 e 2,13 mg/kg peso seco. As concentrações mais elevadas na planta foram detectadas no solo que apresentava teor de urânio total ou disponível mais elevado (SCB2: 95,9±16,0 e 14,69±3,40 mg/kg, respectivamente). No entanto, para o mesmo tipo de solo regado com água contaminada e não contaminada em urânio (concentração média de 19±1 µg/L e 1064±76 µg/L) não se registaram variações significativamente diferentes entre os teores na planta. Os coeficientes de transferência (CT) calculados para as folhas e raízes, usando quer o urânio disponível no solo (CTS) quer o urânio da água (CTA) indicam que a alface apresenta uma capacidade de absorção do urânio moderada a partir do solo e alguma tolerância ao teor elevado na água, que não limitou o seu desenvolvimento. Estas características da alface conferem-lhe uma certa perigosidade, pois que a sua ingestão juntamente com outros produtos ricos em urânio poderá provocar problemas de saúde se for ultrapassado o valor guia para o limite de ingestão tolerável diário estabelecido, pela Organização Mundial de Saúde, em 0,6 µg/kg de peso corporal. Estes ensaios de campo são importantes, dado que o conhecimento do teor de urânio em produtos vegetais cultivados em solos agrícolas na envolvente de antigas minas de urânio portuguesas é praticamente inexistente e é prioritário avaliar os riscos que o seu consumo pode representar para a saúde dos residentes nestas áreas.

PALAVRAS-CHAVE: Urânio, absorção, alface, coeficiente de transferência, Cunha Baixa.

ABSTRACT: The water of private wells located nearby Cunha Baixa mine site (Portugal, Mangualde) has been used for the last two decades as source of irrigation for vegetable-garden productions. High levels of uranium in irrigation water have raised health concerns expressed by homeowners of the most

*affected wells. Uranium could be accumulated in soils or may gradually pass into the edible parts of the vegetables, posing health risks to humans. This study was carried out on lettuce (*Lactuca sativa* L.) growing in two soils (SCB1 and SCB2) located in an agricultural area nearby the abandoned uranium mine, in order to evaluate uranium uptake and distribution in the edible and non-edible plant parts. Lettuce is a usual vegetable of the inhabitants diet during the year (spring to autumn).*

Uranium concentration was determined in lettuce leaves and roots. Composite soil samples collected before and after lettuce growth period, were analysed for total and bioavailable uranium after acid digestion and ammonium acetate extraction, respectively. The water used for irrigation (uranium contaminated and non-contaminated) and sampled during the growth period was also analysed. Lettuce roots accumulate more uranium than leaves (mean uranium concentration ranged from 1.07 to 4.6 mg/kg dry weight and from 0.42 to 2.13 mg/kg dry weight, respectively). The highest uranium concentration in lettuce plants was detected in the soil that had higher total and available uranium concentration (SCB2: 95.9±16.0 and 14.69±3.40 mg/kg, respectively). However, there are no significant differences on lettuce uranium uptake for plants growing in the same soil and irrigated with different uranium water quality (mean uranium concentration of 19±1 µg/L and 1064±76 µg/L). The soil-plant coefficient transfer (CTS) and the water-plant coefficient transfer (CTA) calculated for leaves and root tissues, using, respectively, the uranium soil available fraction and the uranium concentration in irrigation water, showed that plants moderately absorbed uranium from soil and presented some tolerance to high uranium water content that not limited its development. These results may indicate some health risk by lettuce ingestion if together with others enriched uranium foodstuff the tolerable diary intake guideline recommended by World Health Organisation (0.6 µg/kg bodyweight) will be exceeded. These field experiments are important as data on uranium levels in vegetables food grown in soils around Portuguese uranium mines was non-existent and it is priority to make an assessment of the health risks to the local residents.

KEYWORDS: Uranium, lettuce, uptake, transfer coefficient, Cunha Baixa.

1. INTRODUÇÃO

A sociedade moderna é totalmente dependente de uma enorme variedade de recursos minerais, cuja extracção provoca em muitos casos impactos ambientais graves.

No caso da extracção de elementos radioactivos como o urânio das cerca de 58 minas em actividade entre 1907 e 2000, as minas da Urgeiriça (Nelas), Cunha Baixa e Quinta do Bispo (Mangualde), e Bica (Sabugal) foram consideradas, a partir dos estudos preliminares desenvolvidos pelo ex-Instituto Geológico e Mineiro (IGM) e ex-Empresa Nacional de Urânio (ENU) como as que representam impactos ambientais mais graves (Magno 2001; Silveira 2001).

As repercussões ambientais da actividade, desenvolvida na mina da Cunha Baixa, entre 1970 e 1993 e o seu posterior abandono, traduzem-se na água dos poços de rega e nos solos que têm utilização agrícola por parte da população (Santos Oliveira et al. 1999; Neves et al. 1999; 2003a, 2003b; 2005; Neves 2002). Esta utilização poderá representar riscos para a população e animais desta antiga área mineira pelo facto de a exposição ao elemento, através da ingestão de alimentos de natureza vegetal ou animal e ainda de material particulado do solo (no caso do gado ou das crianças), poder criar efeitos biológicos, que resultam da sua actividade química e/ou toxicológica.

Estudos anteriores realizados com plantas de milho cultivadas em solos da Cunha Baixa, sob condições não controladas (Neves 2002; Neves et al. 2003a) revelaram que os teores de urânio na parte aérea da planta (0,6 -1,2 mg/kg peso seco) poderiam representar risco quer para os animais quer para os solos, quando as plantas são usadas, respectivamente, como fonte de alimento e fertilizante orgânico.

Apesar de não ser reconhecido como um elemento essencial ou benéfico tanto para as plantas como para os animais, muitas plantas podem absorvê-lo e incorporá-lo na sua biomassa. Brooks (1983) classificou a absorção do urânio pelas plantas em geral, como sendo fraca (factor 0,02)

enquanto Sheppard et al. (1989) referem 0,013 como um valor médio para o factor de absorção e a AIEA (1994) indica valores entre 0,01 e 0,001, com um factor de incerteza de 10.

No estudo das relações solo-planta, o Coeficiente de Transferência planta/solo (CTS) é frequentemente utilizado para caracterizar a intensidade de absorção de um elemento químico pela planta, sendo definido pela relação entre a concentração do elemento na planta e a sua concentração no solo. No entanto, a sua determinação envolvendo a concentração do elemento disponível no solo em substituição do teor total parece ser mais realista, por corresponder de forma mais aproximada ao teor biodisponível.

Neste trabalho pretende-se avaliar a capacidade da alface (*Lactuca sativa L.*) para absorver e translocar urânio para a parte aérea, quer a partir do solo quer a partir da água de rega contaminada e não contaminada em urânio.

2. METODOLOGIA

Realizaram-se na área mineira da Cunha Baixa ensaios de campo controlados, que decorreram entre o início de Outubro e o fim de Novembro de 2005, em dois solos (SCB1 e SCB2) usados, por residentes da Cunha Baixa, para cultivo de diversos produtos hortícolas, destinados ao consumo. Os solos, com diferentes concentrações de urânio, foram seleccionados com base no trabalho de investigação desenvolvido por Neves (2002). Em cada solo, a área experimental com um total de 40 m², foi dividida em dois talhões (3,4 x 5 m, com espaçamento entre talhões de 1,2 m), cada um sub-dividido em 4 leiras (réplicas). Um talhão foi regado com água considerada contaminada e o outro com água não contaminada em urânio.

Em cada leira colheu-se uma amostra compósita da camada superficial do solo (0 - 20 cm) antes e depois do desenvolvimento vegetativo da cultura. Em cada leira foram plantadas 28 alfaces (*Lactuca sativa L.*), da variedade “Marady” (fig. 1), perfazendo um total nos solos SCB1 e SCB2 de 448 plantas. As técnicas culturais, nomeadamente, a frequência e quantidade de rega e de fertilizantes utilizados foram controlados.



Figura 1 – Cultura da alface com 60 dias de desenvolvimento nos talhões do solo SCB1, regado com água contaminada (a) e não contaminada (b).

Figure 1 – Lettuce plants with 60 days of growth in soil plots SCB1, irrigated with contaminated (a) non-contaminated water (b)

Para a caracterização das amostras de solo procedeu-se, na fracção terra fina (< 2 mm), à determinação de urânio total e disponível após, respectivamente, digestão ácida (HF, HClO₄, HNO₃ e HCl) e extracção com acetato de amónio 1M a pH 7 (Schollenberger et al. 1945).

Ao longo do desenvolvimento vegetativo da cultura, colheram-se amostras de água que é habitualmente utilizada para rega dos solos seleccionados e que provém de poços identificados

em Neves (2002) e Neves et al. (2003b, 2005) como P15 e P24. A temperatura, pH, Eh e a condutividade eléctrica (CE) foram medidos *in situ* com aparelhos portáteis. Após determinação da alcalinidade, as amostras foram filtradas, aciduladas com HNO₃ e refrigeradas a 4° C até à sua análise química.

O material vegetal, colhido dois meses após ter sido plantado, foi lavado cuidadosamente *in situ* para remoção de partículas de solo e a parte aérea separada da raiz. No laboratório foram lavadas com água destilada, e pesadas antes e depois da sua secagem, em estufa a 40° C. O material seco depois de sofrer moenda foi enviado para análise química. O processo analítico envolveu incineração e ataque com HNO₃ e H₂O₂ (Activation Laboratories).

Os teores de urânio total e o disponível nos solos e diferentes órgãos da planta, assim como o dissolvido nas águas de rega foram doseados por ICP-MS e ICP-OES no *Actlabs Laboratory* (Canadá).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises do urânio realizadas nos solos, água de rega e alface (raiz e folha) são apresentados nas tabelas 1, 2 e 3.

O solo SCB2 apresenta uma concentração de U cerca de três vezes superior ao do solo SCB1 (tabela 1). Em ambos os solos o teor de U excede largamente o limite superior considerado na literatura (5 mg/kg; Ribera et al. 1996). A sua proximidade à área mineira e a rega prolongada, no passado, com água enriquecida em U são factores que contribuíram para este enriquecimento no elemento.

U/Água/Solo			Solos	
			SCB1	SCB2
U _t	P24	A	38,6 ± 2,4	116 ± 10
		D	41,7 ± 3,7	98,6 ± 15,5
	P15	A	38,6 ± 2,8	95,9 ± 16,0
		D	39,4 ± 4,5	99,4 ± 12,0
U _d	P24	A	2,9 ± 0,8	14,3 ± 4,1
		D	2,4 ± 0,5	10,5 ± 0,5
	P15	A	2,6 ± 0,7	14,6 ± 3,4
		D	1,9 ± 0,2	10,7 ± 0,4

Tabela 1 – Concentração de urânio total e disponível (U_t e U_d) nos solos (mg/kg), no início do ensaio (A) e após a colheita da cultura (D) e rega com água não contaminada (P24) e contaminada (P15).

Table 1 – Total and available uranium concentration (U_t e U_d) in the soils (mg/kg) at begin of field experiments (A) and after lettuce growth (D); irrigated with contaminated (P24) and non-contaminated water (P15).

A fracção de U disponível no solo (U_d) representa, em média, cerca de 7 e 14 % do U total (U_t), respectivamente, nos solos SCB1 e SCB2. Após a colheita, os teores médios totais e disponíveis, nos diferentes talhões dos solos, não sofreram variações estatisticamente significativas, apesar de se ter verificado uma ligeira diminuição do teor médio do U_d, em relação ao U_t, para 5 e 10 % indicando, se se excluir uma possível lixiviação do elemento, a transferência de U desta fracção do solo para a planta.

A água do poço P15 não deveria ser usada para rega, pois apresenta níveis de concentração de U entre 9 a 10 vezes superiores ao limite estabelecido na Austrália e Nova Zelândia (100 µg/L), para rega a curto prazo (ANZECC 2000). Por outro lado, os valores médios de pH ($4,35 \pm 0,05$) e de CE ($1064 \pm 76 \mu\text{S/cm}$) ultrapassam, respectivamente, o Valor Máximo Admissível e o Valor Máximo Recomendado, impostos na Legislação Portuguesa (DL 236/98). A água do poço P24 apresentou teores médios de urânio de que variaram entre $19 \pm 1 \mu\text{g/L}$.

Na alface (tabela 2), observou-se que o U se concentrou preferencialmente ao nível da raiz, registando-se valores mais elevados no solo SCB2 (3280 a 6000 µg/kg) do que no solo SCB1 (950 a 1670 µg/kg), o que está de acordo com os teores totais e disponíveis de U em cada um dos solos. No entanto, não se observaram diferenças significativas entre o teor de U na raiz das plantas desenvolvidas no mesmo solo mas regadas com água com diferentes teores de U (P15 e P24). A mesma tendência foi observada para a folha da alface (tabela 2). Alguns autores verificaram, pelo contrário, que para um mesmo solo, o teor de urânio nas plantas tende a aumentar com o enriquecimento do elemento na água (Gulati et al. 1980; Lakshmanan e Venkateswarlu 1988; Hakonson-Hayes et al. 2002).

Água/ Planta		Solos	
		SCB1	SCB2
P24	R	1072 ± 127	4642 ± 963
	F	422 ± 83	1785 ± 206
P15	R	1488 ± 126	4372 ± 817
	F	605 ± 130	2131 ± 326

Os valores correspondem a média ± DP (n = 4 réplicas para os solos SCB1 e SCB2)

Tabela 2 – Teor de urânio na raiz (R) e na folha (F) da alface (µg/kg peso seco).
Table 2 – Uranium concentration (µg/kg dry weight) in roots (R) and lettuce leaves (F).

Considerando a razão entre o teor de U na folha e o teor de U na raiz (coeficiente de translocação), obtém-se um valor médio de cerca de 0,40 para os diferentes talhões dos solos SCB1 e SCB2, o que indica que pelo menos uma parte considerável do U é translocado para a parte aérea, isto é, exactamente a parte da planta que é comestível.

Nas tabelas 3 e 4 apresentam-se os valores do coeficiente de transferência planta/solo (CTS) calculados para a folha e raiz (peso seco) em relação ao teor de U inicial no solo e também para o U a partir da água (CTA). Os valores do CTS obtidos para a folha e raiz ($0,1 < \text{CTS} < 1$) permitem segundo Perelman (Nagaraju et al. 2001) classificar a absorção do urânio pela alface como sendo intermédia. A absorção do U pela planta (folha ou raiz) a partir da água de rega e avaliado através do CTA é relativamente elevada (tabela 3) indicando que a alface não é exclusiva do U, parecendo ser tolerante aos elevados teores do elemento na água de rega que não impedem o seu desenvolvimento. Todavia, para o mesmo solo o factor de enriquecimento relativo é mais elevado nos talhões cujo solo foi regado com água com os teores mais baixos de urânio. Estes resultados parecem contrariar os obtidos por Kovalevsky (AIEA 1985) que refere ser a absorção do U pelas plantas, em média, 3000 vezes mais intensa a partir de soluções aquosas do que a partir da fase sólida do solo.

Ainda que a partir do estudo realizado não tenha sido possível explicar algumas das relações observadas na transferência do urânio no sistema solo-água-planta, os resultados experimentais permitiram obter conhecimento acerca da assimilação do urânio pela alface desenvolvida em solo agrícola e em condições naturais na envolvente de uma antiga exploração de urânio. O conhecimento dos níveis de urânio na alface em conjunto com os de outras hortícolas, que

entram na dieta alimentar, permitirão avaliar o risco que o seu consumo poderá representar para os residentes nesta área.

Água	CT	Solos	
		SCB1	SCB2
P24	CTS	0,16 ± 0,07	0,13 ± 0,04
	CTA	22,37 ± 4,41	94,72 ± 10,94
P15	CTS	0,23 ± 0,05	0,15 ± 0,04
	CTA	0,57 ± 0,12	2,00 ± 0,30

Os valores correspondem a média ± DP (n = 4 réplicas para os solos SCB1 e SCB2)

Tabela 3 – Coeficientes de transferência: planta (folha) / solo (CTS) e planta (folha) / água (CTA) para o urânio.
Table 3 – Transfer coefficients: plant (leaf) / soil (CTS) and plant (leaf) / water (CTA) for uranium.

Água	CT	Solos	
		SCB1	SCB2
P24	CTS	0,40 ± 0,09	0,34 ± 0,01
	CTA	56,89 ± 6,76	246,28 ± 51,07
P15	CTS	0,59 ± 0,13	0,32 ± 0,12
	CTA	1,39 ± 0,12	4,11 ± 0,76

Os valores correspondem a média ± DP (n = 4 réplicas para os solos SCB1 e SCB2)

Tabela 4 – Coeficientes de transferência: planta (raiz) / solo (CTS) e planta (raiz) / água (CTA) para o urânio.
Table 4 – Transfer coefficients: plant (root) soil (CTS) and plant (root) / water (CTA) for uranium.

A Organização Mundial de Saúde (OMS, 2004) estabeleceu para urânio o limite de ingestão tolerável diário (TDI) de 0,6 µ g/kg de peso corporal, tendo em consideração factores de segurança ao nível do risco químico que este elemento pode representar para o ser humano. Se considerássemos que a exposição interna ao urânio resultaria apenas da ingestão da alface, que apresenta o teor médio mais elevado (2131µg/kg peso seco, tabela 2; ao qual lhe corresponde 103 µ g/kg peso verde), seria necessário para exceder o TDI que um adulto (60 kg peso) consumisse mais de 350 g por dia desta hortícola. De referir, no entanto, que esta quantidade poderá diminuir na estação quente, em consequência do aumento do teor de urânio na planta induzido por uma maior frequência de rega.

7. CONCLUSÕES

Os resultados dos ensaios de campo realizados com alface, em condições controladas, em dois solos situados em zona agrícola na envolvente da antiga mina de urânio da Cunha Baixa, e regados com água contaminada em urânio, mostraram que a cultura apesar de acumular preferencialmente urânio ao nível da raiz, tem capacidade de o translocar para a folha. Apesar de os teores mais elevados de urânio nas plantas terem sido obtidos no solo que contém teor (total e disponível) também mais elevado do elemento, não se obtiveram, neste ensaio, teores

significativamente diferentes de U nas plantas colhidas num mesmo solo regado com água contaminada ou não contaminada.

A absorção de urânio pela alface a partir do solo ou da água de rega com teores elevados, poderá conferir-lhe alguma perigosidade em termos de saúde pública quando ingerida em quantidades apreciáveis e em conjunto com outros produtos agrícolas também ricos em urânio.

Agradecimentos

Agradece-se o suporte financeiro concedido pela FCT e pelo programa POCI 2010, participado pelo FEDER (Projecto POCI/ECM/59188/2004) e o apoio concedido pelos Centros de Petrologia e Geoquímica e de Pedologia da Universidade Técnica de Lisboa.

Referências

- Activation Laboratories website (2007) – <http://www.actalasin.com>.
- AIEA, Agência Internacional De Energia Atómica (1985) – *Uranium biogeochemistry: a bibliography and report on the state of the art*. IAEA-TECDOC, Vienna, 327, 9-15.
- AIEA, Agência Internacional De Energia Atómica (1994) – *Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Temperate Environments*. Technical Report, Vienna, 364.
- ANZECC, Australian And New Zealand Environment And Conservation Council (2000) – *Water Quality Guidelines. The Guidelines*, vol. 1, <http://www.mfe.govt.nz/issues/water/ANZECC/about.html>.
- Brooks, R.R. (1983) – *Biological Methods of Prospecting for Minerals*. Wiley and Sons, New York, 322 pp.
- DL (236/98) – Legislação sobre qualidade da água. *D.R. Série-A, 176/98 de 1 de Agosto de 1998*, 3 676-3 721.
- Gulati, K.L.; Oswall, M.C. & Nagpaul, K.K. (1980) – Assimilation of uranium by wheat and tomato plants. *Plant and Soil*, 55(1), 55-59.
- Hakonsen-Hayes, A.C.; Fresquez, P.R. & Whicker, F.W. (2002) – Assessing potential risks from exposure to natural uranium in well water. *J. Environ. Radioactivity*, 59, 29-40.
- Lakshmanan, A.R. & Venkateswarlu, K.S. (1988) – Uptake of uranium by vegetables and rice. *Water, Air & Soil Pollution*, 38, 1-2 (Online abstract).
- Magno, C.E.F. (2001) – O sistema de gestão territorial e os recursos geológicos em Portugal. *Bol. Minas*, 38(3) Jul/Set, 151-160.
- Nagaraju, A. & Karimullla, S. (2001) – Geobotany and biogeochemistry of *Gymnosporia montana* – a case study from Nellore Mica Belt, Andhra Pradesh. *Environ. Geol.*, 41, 167-173.
- Neves, M.O.; Matias, M.J.; Abreu, M.M.; Magalhães, M.C.F. & Basto, M.J. (2005) – Abandoned mine site characterization for remediation: the case of the Cunha Baixa uranium mine (Viseu, Portugal). International Workshop on Environmental Contamination from Uranium Production Facilities and their Remediation, *IAEA Proceeding Series*, 159-169, http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1228_web.pdf

- Neves, O. (2002) – *Minas desactivadas e impactos geoquímicos ambientais. O caso da mina de urânio da Cunha Baixa (Viseu)*. Tese de Doutoramento, Universidade Técnica de Lisboa, Depart. Eng^a Minas e Georrecursos, Instituto Superior Técnico, Portugal, 280 pp.
- Neves, O.; Abreu, M.M. & Matias M.J. (2003a) – Comportamento do urânio, alumínio e manganês no milho cultivado em solos na área da mina de urânio da Cunha Baixa. *Memórias e Notícias*, 2 (Nova Série), 265-278.
- Neves, O.; Abreu, M.M.; Basto, M.J. & Matias, M.J. (1999) – Contribuição para o estudo da contaminação resultante da exploração e abandono da mina da Cunha Baixa. II. Solos. *Actas XI Semana de Geoquímica / II Congresso Ibérico de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa*. Lisboa, Portugal, 483-486.
- Neves, O.; Matias, M.J. & Cores Graça, R. (2003b) – Efeitos da actividade mineira na qualidade da água de rega: um caso de estudo na envolvente da mina de urânio da Cunha Baixa. Comunicações Seminário Sobre Águas Subterrâneas. *APRH-LNEC*, Lisboa, 27 e 28 de Fevereiro.
- OMS, Organização Mundial de Saúde (2004) – *Guidelines for Drinking-water Quality, Uranium*, 3rd ed.. Disponível a partir de http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/en/cmp130704app1.pdf
- Ribera, D.; Labrot, F.; Tisnerat, G. & Narbonne, J.F. (1996) – Uranium in the Environment: Occurrence, Transfer and Biological Effects. *Rev. Environ. Cont. Toxicology*, 146, 53-80.
- Santos Oliveira, J.M.; Canto Machado, M.J.; Neves, O. & Matias, M.J. (1999) – Estudos de impacte químico associado a uma mina de urânio no centro de Portugal. *Anais do V Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa & VII Congresso Brasileiro de Geoquímica*, Porto Seguro, Baía, Brasil, 170-173.
- Schollenberger, C.J. & Simon, R.H. (1945) – Determination of exchange capacity and exchangeable bases in soil-ammonium acetate method. *Soil Sci.*, 59, 13-24.
- Sheppard, S.C., Evenden, W.G. & Pollock, R.J. (1989) – Uptake of natural radionuclides by field and garden crops. *Can. J. Soil Sci.*, 69, 751-167.
- Silveira, B.C. (2001) – Impacte radiológico da exploração de urânio em Portugal. *Geonovas*, 15, 71-86.

Comunicação apresentada durante o VI Congresso Ibérico de Geoquímica / XV Semana de Geoquímica, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 16-21 de Julho de 2007.

Recebido em 14-Janeiro-2008

Revisto em 31-Janeiro-2008

Publicado em 6-Maio-2008