

Concentração de urânio em plantas desenvolvidas em solos agrícolas e de escombreira da área mineira da Cunha Baixa (Mangualde)

Uranium concentration in plants developed on agricultural soils and waste dumps in Cunha Baixa mine site (Mangualde)

O. Neves¹ & M.M. Abreu²

RESUMO

Neste trabalho avalia-se e compara-se a concentração e capacidade de bioconcentração (CB) do urânio em diversas espécies vegetais (parte aérea) que se desenvolveram em solos de escombreira (*Pinus pinaster*, *Cytisus striatus*, *Cytisus multiflorus*) e cultivadas (*Zea mays* L., *Phaseolus vulgaris* L., *Lactuca sativa* L.) em solos da zona agrícola, envolvente à área mineira da Cunha Baixa (Mangualde). As espécies colonizadoras da escombreira estão bem adaptadas ao substrato, sendo o *Pinus pinaster* aquela que mais urânio concentrou na parte aérea (13,9 mg kg⁻¹) podendo, juntamente com as espécies do género *Cytisus*, contribuir para a estabilização dos resíduos mineiros, ainda com elevadas concentrações em urânio total e disponível (118 mg kg⁻¹ e 43 mg kg⁻¹, respectivamente). Entre as espécies cultivadas destaca-se a *Lactuca sativa* que concentrou, em média, 5,37 mg kg⁻¹ de urânio (peso seco). Nenhuma das espécies estudadas se revelou acumuladora deste elemento (CB <

1), mesmo em situação de água de rega e solo ainda bastante contaminados.

Palavras-chave: Bioacumulação; espécies cultivadas; espécies espontâneas; urânio; solos contaminados

ABSTRACT

The uranium concentration and the bioconcentration capacity (BC) in several plant species (aboveground part) were evaluated and compared among species grown on soils developed on waste materials (*Pinus pinaster*, *Cytisus striatus*, *Cytisus multiflorus*) and agricultural soils (*Zea mays* L., *Phaseolus vulgaris* L., *Lactuca sativa* L.) from the surrounding area of Cunha Baixa mine (Mangualde).

The species colonizing waste materials are well adapted to the substratum, which contains high total and available uranium concentration (118 mg kg⁻¹ and 43 mg kg⁻¹, respectively). *Pinus pinaster* concentrated

¹ Centro de Petrologia e Geoquímica, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa (TULisbon), Av. Rovisco Pais 1049-001 Lisboa, orquidia.neves@ist.utl.pt; ² Dept Ciências do Ambiente, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa (TULisbon), Tapada da Ajuda 1399-017 Lisboa, manuelaabreu@isa.utl.pt

more uranium (13.9 mg kg^{-1}) than the species of genus *Cytisus*. As a consequence, and also due to the effective vegetation cover these plants can contribute to the stabilization of mining wastes dumps. *Lactuca sativa* concentrated more uranium (on average, 5.37 mg kg^{-1} dry weight) than the other cultivated plants. None of the studied species was uranium accumulator ($BC < 1$), even if they are growing in high-contaminated soils and irrigated with contaminated water.

Key-words: Bioaccumulation; contaminated soils; cultivated plants; spontaneous plants; uranium.

INTRODUÇÃO

A exploração mineira gera grandes quantidades de resíduos que se acumulam, frequentemente, à superfície em escombreliras de volumetria variável. Estes resíduos são, em regra, enriquecidos em elementos vestigiais perigosos para o Homem e o biota em geral e podem levar a uma perda da biodiversidade na área. A dispersão físico-química de contaminantes pela acção da água da chuva e pelo vento a partir destes locais pode ser minimizada pela colonização daqueles materiais por espécies vegetais, introduzidas pelo Homem ou de crescimento espontâneo, desde que sejam tolerantes a ambientes extremos. Estes substratos possuem elevadas concentrações de elementos químicos gravosos para o meio e, na grande maioria dos casos, valores de pH bastante baixos associados a baixos níveis de nutrientes para as plantas. Na envolvente das explorações mineiras, as águas superficiais e subterrâneas e os solos são, também, frequentemente afectados pelo impacto da actividade mineira. Se estes solos e águas contaminadas forem usados para fins agrí-

colas, e se as espécies vegetais que aí se cultivam apresentarem capacidade para absorver e concentrar na parte aérea elementos químicos gravosos para a saúde, potenciarão desta forma a sua transferência, através das cadeias tróficas, para o Homem.

Ao longo de quase um século (1907 - 2000) foram exploradas pela Empresa Nacional de Urânio (ex-ENU) e entidades suas antecessoras, 59 minas uraníferas distribuídas pelos distritos da Guarda, Viseu e Coimbra. Uma das mais importantes áreas mineiras de exploração de minérios radioactivos da região Centro Portuguesa foi a da Cunha Baixa que se localiza no concelho de Mangualde, na vizinhança da povoação com o mesmo nome. Os trabalhos mineiros de reconhecimento tiveram início em 1967 e a sua exploração decorreu entre 1970 e 1993. A caracterização geológica da área e as características da mineralização assim como do método de exploração foram descritas por vários autores (Matos Dias & Costa, 1972; Santos Oliveira & Ávila, 2001; Neves, 2002). Da exploração subterrânea e a céu-aberto resultaram grandes volumes de estéréis e rejeitados que foram depositados em escombreliras, nas imediações da mina. Após o seu fecho, foram tomadas medidas para diminuir o impacto visual e paisagístico decorrentes desta actividade, quer ainda pela ex-ENU quer recentemente pela Empresa de Desenvolvimento Mineiro (EDM). Estas medidas compreenderam a vegetalização das escombreliras junto ao céu-aberto principal, com pinheiros (*Pinus pinaster* Aiton). Inicialmente as acções de vegetalização desenvolvidas pela ex-ENU não foram muito satisfatórias dado que a espécie apresentava dificuldades de desenvolvimento (Figura 1a). Porém, actualmente, verifica-se que não só o pinheiro parece adaptado às características físico-químicas das escombreliras sem manifestar, aparentemente, sintomas visíveis de toxicidade

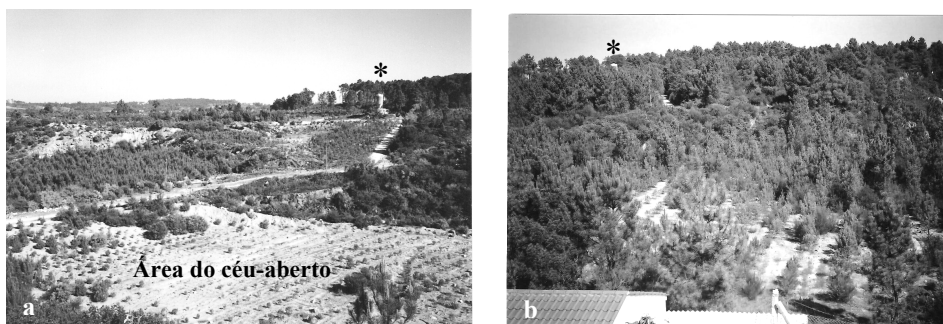


Figura 1 – Vista da recuperação paisagística da área mineira da Cunha Baixa: (a) Setembro de 1996 e (b) Setembro de 2006 (* indica o mesmo ponto de referência)

(Figura 1b), como também a área está a ser colonizada por espécies espontâneas, como é o caso das do género *Cytisus*. Estudos realizados por Petrova (2006) sobre o desenvolvimento de pinheiros (*Pinus sylvestris* L. e *Pinus nigra* Arn.) em escombreciras de minas uraníferas da Bulgária, permitiram concluir que nos primeiros anos o seu crescimento era significativamente reprimido, mas que mais tarde este tipo de vegetação se ia adaptando às condições desfavoráveis do meio conseguindo sobreviver com um desenvolvimento vegetativo aparentemente normal.

A proximidade de uma área populacional (100 m a SW da mina) exigiu o diagnóstico da natureza e extensão dos problemas ambientais existentes na região envolvente à mina e os possíveis riscos químicos e radiológicos associados à exploração mineira. Alguns estudos anteriormente desenvolvidos (Neves, 2002; Santos Oliveira *et al.*, 2005; Neves & Matias, 2008) indicaram contaminação do meio hídrico com repercursões na qualidade da água superficial (linha de água que drena a mina) e água sub-superficial que é utilizada, pela população, para rega das culturas agrícolas.

Apesar de o urânio não ser reconhecido como um elemento essencial ou benéfico tanto para as plantas como para os ani-

mais, muitas plantas podem absorvê-lo e incorporá-lo na sua biomassa (Gulati *et al.*, 1980; Ebbs *et al.*, 1998; Shahandeh & Hossner, 2002; Duquène *et al.*, 2006). Os dados obtidos por estes autores sugerem, por um lado, a possibilidade de fitoremediação de locais contaminados com urânio e por outro, algum risco associado à ingestão de alimentos de natureza vegetal.

Neste trabalho pretendeu-se avaliar e comparar a concentração e capacidade de bioconcentração do urânio em diversas espécies vegetais que se desenvolveram em solos de escombrecira e cultivadas em solos da zona agrícola envolvente à área mineira da Cunha Baixa.

MATERIAL E MÉTODOS

Na zona da escombrecira, que preenche a antiga corta do céu-aberto principal da Mina da Cunha Baixa, amostrou-se a parte aérea (folhas e raminhos) de uma espécie arbórea plantada (*Pinus pinaster* Aiton) e de duas espécies espontâneas do estrato arbustivo: a giesta amarela (*Cytisus striatus* (Hill) Rothm) e a giesta branca (*Cytisus multiflorus* (L'Hérit) Sweet). Nos terrenos agrícolas localizados a jusante amostraram-se culturas como o milho (*Zea mays* L.), o feijão verde

(*Phaseolus vulgaris* L.) e a alface (*Lactuca sativa* L.), aí cultivadas para consumo animal e humano. Em cada local de colheita das plantas, amostrou-se o respectivo solo (amostra compósita 0-20 cm). A água usada na rega das culturas agrícolas foi, igualmente, amostrada. As amostras de milho (folhas e caule) e respectivos solos (S5 e S15), assim como a respectiva água de rega foram colhidas em Setembro de 1996. As amostras compósitas de plantas e solos foram obtidas com um mínimo de pelo menos três sub-amostras. A restante amostragem foi realizada entre Setembro e Outubro de 2006 na sequência de ensaios de campo controlados e no âmbito do Projecto UCROP (POCI e PPCDT/ECM/59188/2004). As amostras de solo com a referência SB6 e SB8 foram colhidas no mesmo terreno agrícola onde, dez anos antes, tinha sido colhida a amostra de solo S15 e o milho aí cultivado.

Na fracção terra fina (<2 mm) do solo seco ao ar, determinou-se o pH em água (1:2,5 m:v) e a salinidade através da condutividade eléctrica (CE) do extracto de saturação (Póvoas & Barral, 1992). O material vegetal colhido na fase de maturação, depois de bem lavado em água corrente seguida de água desionizada, foi seco a 40 °C, moído e enviado para análise química no Actlabs Laboratory, Canadá. Amostras das águas de rega, bem como dos solos e das soluções resultantes da extracção com acetato de amónio 0,5 M a pH 7 (fracção de U disponível no solo) foram também analisadas no mesmo laboratório. O urânio na água de rega foi determinado por ICP-OES. Nos solos e plantas por ICP-MS: U total no solo, no extracto após digestão triácida; fracção disponível do U no solo, extraída com acetato de amónio; U nas plantas, no extracto após digestão com HNO₃ e H₂O₂

Para caracterizar a capacidade de concentração de um elemento químico pelas plantas é frequentemente utilizado o coeficiente

de bioconcentração (CB), definido pela relação entre a concentração do elemento na planta e a sua concentração total no solo. No entanto, a determinação do CB considerando a concentração da fracção disponível do elemento no solo, em alternativa ao seu teor total, parece ser mais adequada, por aquela corresponder de forma mais aproximada ao teor biodisponível (Nriagu & Allan 1993; Abreu *et al.*, 2008). Assim, neste trabalho a capacidade das plantas para concentrarem urânio na parte aérea foi avaliada com base na concentração da fracção de urânio disponível no solo.

A análise estatística de parte dos resultados foi realizada no programa STATISTICA 7.0. Para aferir diferenças entre concentrações efectuou-se uma análise de variância (ANOVA) pelo teste de Tukey HSD e recorreu-se ao coeficiente linear de Pearson para avaliar possíveis correlações estatísticas. O nível de significância usado neste estudo foi $P < 0,05$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Quadro 1 apresentam-se as características dos solos agrícolas e dos solos desenvolvidos sobre escombreira. Em 1996, os solos onde se desenvolveu o milho (S5 e S15) e que foram regados com água contaminada em urânio (2 a 2,5 mg L⁻¹) eram hiperácidos (pH < 4,5) e muito pouco a moderadamente salinos (2 < CE < 12 mS cm⁻¹). A concentração total (225 e 362 mg kg⁻¹) e a fracção disponível de urânio (158 e 128 mg kg⁻¹) era bastante elevada, quando comparada com a concentração de 12 mg kg⁻¹ indicada por Santos Oliveira *et al.* (2005) como sendo o valor de fundo geológico para solos aluviais desenvolvidos na região da Cunha Baixa ou mesmo com a concentração de 14 mg kg⁻¹ indicada para solos amostrados fora da influência da mina

Quadro 1 - Características dos solos agrícolas e dos solos desenvolvidos sobre escombreira da área mineira da Cunha Baixa onde se colheram as amostras de plantas

Solo		Agrícola				Escombreira		
Planta		Milho		Alface**		Feijão**		Pinheiro/Giestas
Referência		S5*	S15*	SA2	SB6	SA4	SB8	SEsc
pH		4,40	4,04	5,29	4,78	5,30	4,70	4,08
CE	mS cm ⁻¹	2,56	10,48	5,12	6,30	2,82	2,19	0,15
U _{total}	mg kg ⁻¹	362	225	68	108	103	258	118
U _{disponível}	mg kg ⁻¹	128	158	1,8	12,7	2,8	13,3	43
U _{disponível} /U _{total}	%	35	70	2,8	11,7	2,7	5,1	36,4

* Neves *et al.* (2003); ** concentração de U no solo agrícola, corresponde a uma média de 4 réplicas

da Urgeiriça (Araújo *et al.*, 2001). Em relação a estes valores, os solos S5 e S15 apresentavam-se em média 22 vezes mais enriquecidos em urânio total.

Comparando a amostra de solo S15 com as amostras de solo SB6 e SB8, verifica-se que, no período de 10 anos que decorreu entre a primeira e a segunda colheita, ocorreu uma melhoria na qualidade do solo, no que respeita a características como o pH e salinidade assim como no teor de urânio disponível (Quadro 1).

Em 2006, todos os solos amostrados se apresentavam ácidos ($4,6 < \text{pH} < 5,5$), muito pouco a pouco salinos ($2 < \text{CE} < 8 \text{ mS cm}^{-1}$) e com baixa concentração de urânio disponível ($< 13,3 \text{ mg kg}^{-1}$) em relação ao teor total ($68 \text{ a } 259 \text{ mg kg}^{-1}$), ainda que este seja, em média, 10 vezes superior aos valores de referência supracitados. Comparativamente a 1996, a concentração de urânio na água de rega era, em 2006, também menor ($0,94 \text{ a } 0,96 \text{ mg L}^{-1}$) o que confirma a tendência da diminuição da contaminação da água já antes observada, durante a monitorização feita até 2004, por Neves & Matias (2008). Apesar das melhorias observadas, se considerarmos o valor guia preliminar de 23 mg kg^{-1} , estabelecido no Canadá, para o urânio em solos com uso agrícola, tendo em atenção a protecção da saúde

humana (PSQ_{GHH}, CCME, 2007), verifica-se que a concentração deste elemento nos solos analisados continua muito elevada, pelo que não se recomendaria a sua utilização para aquele fim.

O solo desenvolvido sobre a escombreira é hiperácido, não salino e com percentagem considerável de urânio na fracção disponível (36,4%) relativamente ao urânio total, cuja concentração se aproxima, em média, do determinado nos solos agrícolas em 2006 (Quadro 1). Em 1997, três sondagens realizadas pela ex-ENU a pedido do Laboratório Nacional de Energia e Geologia – LNEG (ex-Instituto Geológico e Mineiro – IGM) nos resíduos mineiros do céu-aberto principal, forneceram os seguintes valores médios de urânio total: 85, 201 e 164 mg kg^{-1} (Neves, 2002). O valor de urânio total no solo da escombreira sugere que a acção de lixiviação efectuada durante nove anos pelas águas pluviais, aliada à acidez do meio ainda não foi suficiente para mobilizar de forma considerável o urânio contido nestes resíduos, apesar de uma fracção importante se encontrar sob formas potencialmente mobilizáveis (na solução do solo e no complexo de troca).

No Quadro 2 apresenta-se a concentração de urânio na parte aérea das várias espécies vegetais estudadas, assim como o respectivo

Quadro 2 - Concentração de urânio (mg kg^{-1} peso seco) na parte aérea de culturas agrícolas e de plantas do estrato arbóreo e arbustivo e respectivo coeficiente de bioconcentração ($\text{CB} = [\text{U na parte aérea da planta}] / [\text{U disponível no solo}]$)

Culturas agrícolas						Estrato arbóreo e arbustivo			
Solo	S5	S15	SA2	SB6	SA4	SB8	SEsc		
Planta	Milho		Alface**		Feijão**		Pinheiro	Giesta amarela	Giesta branca
U	1,40*	0,94*	1,24	5,37	1,46	1,24	13,9	0,96	6,26
CB	0,01	0,005	0,42	0,66	0,51	0,09	0,32	0,02	0,15

* Neves *et al.* (2003); ** concentração de U nas culturas agrícolas corresponde a uma média de 4 réplicas

valor do coeficiente de bioconcentração. A concentração de U (peso seco) obtida nas diferentes espécies desenvolvidas em solo de escombreira seguiu a seguinte ordem: pinheiro (*P. pinaster*) > giesta branca (*C. multiflorus*) > giesta amarela (*C. striatus*). Os teores de urânio nas plantas analisadas ($< 13,9 \text{ mg kg}^{-1}$) aproximam-se dos determinados por Araújo *et al.* (2001) em folhas de pinheiro e de giestas ($< 10 \text{ mg kg}^{-1}$) que cresceram em escombrireas antigas, com mais de 40 anos, da mina da Urgeiriça. Estes autores concluíram que estas espécies apresentavam um comportamento excludor, relativamente ao urânio, que impedia que atingisse níveis tóxicos nas plantas apesar das elevadas concentrações totais do elemento nos solos amostrados (69 a 356 mg U kg^{-1}).

As plantas de milho (*Z. mays*) desenvolvidas em solo agrícola e após rega com água contaminada em urânio continham na sua parte aérea (folhas e caule) valores semelhantes ao determinado na giesta amarela; tendo-se observado uma maior concentração nas folhas ($0,8$ e $1,24 \text{ mg kg}^{-1}$) do que no caule ($0,13$ e $0,17 \text{ mg kg}^{-1}$) (Neves *et al.*, 2003).

Em 2006, culturas de alface (*L. sativa*) e feijão (*P. vulgaris*) desenvolveram-se em solos que apresentavam antes, respectivamente, da plantação e da sementeira, diferentes concentrações de urânio total (SA2 e SB6: 92 e 248 mg kg^{-1} ; SA4 e SB8: 53 e

109 mg kg^{-1} , respectivamente). No final, e após rega com água contaminada o teor médio de urânio no feijoeiro (folhas e caule) de ambos os solos, era estatisticamente semelhante ($1,46$ e $1,24 \text{ mg kg}^{-1}$ peso seco) enquanto que na alface, o teor médio de urânio nas folhas das plantas desenvolvidas no solo mais contaminado (SB6) era quatro vezes superior ($5,37 \text{ mg U mg kg}^{-1}$ peso seco) ao determinado nas plantas do solo menos contaminado (Quadro 2). Verificasse, igualmente, que o teor de urânio na alface desenvolvida no solo SB6 é superior ao referido na bibliografia disponível para esta cultura; $2,15 \text{ mg U kg}^{-1}$ (peso seco) em alface que cresceu num solo contendo um total de 17 mg U kg^{-1} numa área mineira da Sérvia (Sarić *et al.*, 1995) e $2,30 \text{ mg U kg}^{-1}$ (peso seco) em alfices de ensaios em vaso cujo solo não contaminado foi regado com água contendo $1,2 \text{ mg U L}^{-1}$ (Hakonson-Hayes *et al.*, 2002). Apesar do teor de urânio nesta hortícola ser elevado, a estimativa da exposição associada ao seu consumo por um adulto da população da Cunha Baixa, revelou que esta é inferior à dose oral de referência (RfD) estabelecida pela Agência de Protecção Ambiental Americana (US EPA) (Neves & Abreu, 2009).

A concentração de urânio, na parte aérea do milho e do feijoeiro, poderá eventualmente representar riscos quer para os animais, através da sua ingestão em grandes

quantidades, quer para o solo, por decomposição dos resíduos vegetais quando estes são incorporados no solo sob a forma de fertilizante orgânico, como é prática corrente na região. A informação e dados relativos a efeitos do urânio em animais domésticos ou selvagens são ainda reduzidos. Sintomas da toxicidade do urânio referidos em animais domésticos incluem alterações na morfologia das células sanguíneas, alterações na função da tiróide e funções hepáticas e ainda o aparecimento de albumina na urina (CCME, 2007).

O coeficiente de bioconcentração para o urânio indica que, entre as espécies colonizadoras da escombreira o *P. pinaster* foi a que mais concentrou o elemento na parte aérea (CB = 0,32) e entre as espécies cultivadas, a alface (CB: 0,4 e 0,6) concentrou mais que o feijão (CB: 0,1 e 0,5) e que o milho (CB: 0,01). Este coeficiente que, de acordo com a CCME (2007) varia com a espécie de planta e com as diferentes propriedades do solo, regista variações desde < 0.001 até 1,8, mas é, geralmente, inferior a 1, o que sugere que a maioria das espécies vegetais analisadas não é acumuladora de urânio.

Para as plantas analisadas, não se verificou correlação estatística entre o teor do elemento na parte aérea e a concentração de urânio total e da fracção disponível no solo.

CONCLUSÕES

O solo desenvolvido sobre a escombreira, que preenche o antigo céu-aberto principal na área mineira da Cunha Baixa, e os solos agrícolas analisados continuam, cerca de 13 anos após o fecho da mina, a apresentar concentrações totais de urânio elevadas (68 a 258 mg kg⁻¹), as quais segundo as normas canadianas seriam um factor

condicionante no que respeita à sua utilização agrícola. O solo de escombreira e os colhidos há cerca de 10 anos têm maior quantidade (35-70%) de urânio disponível e pH mais baixo (4,1- 4,4) do que os solos agrícolas colhidos mais recentemente. As espécies colonizadoras da escombreira estão bem adaptadas ao substrato, sendo o pinheiro a espécie que mais urânio concentrou na parte aérea (folhas e raminhos, peso seco): pinheiro (13,9 mg kg⁻¹); giesta branca (6,26 mg kg⁻¹); e giesta amarela (0,96 mg kg⁻¹). Porém, nenhuma das espécies é acumuladora deste elemento (CB < 1), podendo por isso, conjuntamente com a cobertura vegetal eficaz que oferecem, contribuir para a estabilização dos resíduos mineiros, ainda com elevadas concentrações em urânio, que constituem as escombreas da mina da Cunha Baixa.

Apesar do coeficiente de bioacumulação indicar que nenhuma das espécies cultivadas é bioacumuladora, a alface apresentou maior capacidade de concentrar urânio na parte aérea (folhas) do que o feijoeiro (folhas e caule) e do que o milho (folhas e caule). A absorção do urânio por estas plantas, a partir do solo e/ou água de rega, ambos ainda considerados bastante contaminados, e a sua translocação para a parte aérea não inviabilizou o seu desenvolvimento vegetativo que é aparentemente normal.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se ao Programa POCI 2010 e FEDER (Projecto POCI e PPCDT/ECM/59188/2004), ao Centro de Petrologia e Geoquímica (Sub-Projecto ENVIGEO) e Centro de Pedologia, da Universidade Técnica de Lisboa. Agradece-se também a colaboração de Elsa Vicente, Catarina Matos e Ana Ágata Sousa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, M. M., Tavares, M. T. & Batista M. J. 2008. Potential use of *Erica andevalensis* and *Erica australis* in phytoremediation of sulphide mine environments: São Domingos, Portugal. *Journal of Geochemical Exploration*, 96: 210-222.
- Actlabs, Activation Laboratories Ltd website: <http://www.actlabsint.com>
- Araújo, M.F., Barbosa, T., Madruga, M.J. & Faria, I. 2001. Dispersão de contaminantes e sua transferência no sistema solo-planta nas escombreiras da mina de urânio da Urgeiriça. *Actas Congresso Internacional Sobre Património Geológico e Mineiro*, pp. 567-573. Beja, Portugal.
- CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment). 2007. Canadian soil quality guidelines for uranium: environmental and human health. Scientific supporting document. CCME, Winnipeg. Disponível em http://www.ccme.ca/assets/pdf/uranium_ssd_soil_1.2.pdf (acesso em 5 Janeiro 2009).
- Duquène, L., Vandenhove, H., Tack, F., Van der Avoort, E., Van Hees, M. & Wanninij, J. 2006. Plant-induced changes in soil chemistry do not explain differences in uranium transfer. *Journal of Environmental Radioactivity*, 90: 1-14.
- Ebbs, S.D., Brady, D.J. & Kochian, L.V. 1998. Role of U speciation in the uptake and the translocation of uranium by plants. *Journal of Experimental Botany*, 49: 1183-1190.
- Gulati, K.L., Oswal, M.C. & Nagpaul, K.K. 1980. Assimilation of uranium by wheat and tomato plants. *Plant and Soil*, 55 (1): 55-59.
- Hakonson-Hayes, A.C., Fresquez, P.R. & Whicker, W.F. 2002. Assessing potential risk from exposure to natural uranium in water. *Journal Environmental Radioactivity*, 59: 29-40.
- Matos Dias, J.M. & Costa, C.V.B. 1972. A região uranífera da Cunha Baixa-Quinta do Bispo. *Memórias e Notícias, Publ. Mus. Lab. Mineral. Geol., Univ. Coimbra*, 73: 26-47.
- Neves, O. 2002. Minas Desactivadas e Impactos Geoquímicos Ambientais. O Caso da Mina de Urânio da Cunha Baixa (Viseu). Tese de Doutoramento em Engenharia de Minas, Instituto Superior Técnico, 279 p.
- Neves, O., Abreu M.M. & Matias M.J. 2003. 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. & Matias, M. J. 2008. Assessment of groundwater quality and contamination problems ascribed to an abandoned uranium mine (Cunha Baixa region, Central Portugal). *Environmental Geology*, 53 (8): 1799-1810
- Neves, O. & Abreu M.M. 2009. Are uranium-contaminated soil and irrigation water a risk for human vegetables consumers? A study case with *Solanum tuberosum* L., *Phaseolus vulgaris* L. and *Lactuca sativa* L. *Ecotoxicology*, 18: 1130-1136.
- Nriagu, J.O. & Allan R.J. 1993. Heavy metals in the Environment, IX, Vol. 1. CEP Consultants, Edinburgh (UK)
- Póvoas, I. & Barral, M.F. 1992. Métodos de Análise de Solos. *Comunicações Instituto de Investigação Científica Tropical. Série Ciências Agrárias. Ministério do Planeamento e da Administração do Território*, 10: 41-61.
- Petrova, R. 2006 Accumulation of natural radionuclides in wooden and grass vegetation from abandoned uranium mines. Opportunities for phytoremediation. In B.J. Merkel & A. Hasche-Berger (eds)

- Uranium in the Environment. Mining Impact and Consequences, pp.507-518. Springer Berlin Heidelberg.
- Santos Oliveira, J. M. & Ávila P. F. 2001. Geoquímica na área envolvente da mina da Cunha Baixa (Mangualde, no centro de Portugal). Estudos, Notas e Trabalhos, 43: 25-47.
- Santos Oliveira, J.M., Canto, M.J., Pedrosa, M.Y., Ávila, P. & Machado Leite, M. R. 2005. Geochemical evaluation for the site characterization of Cunha Baixa Uranium Mine Central Portugal. International Workshop on Environmental Contamination from Uranium Production Facilities and their Remediation, IAEA Proceeding Series, 233-243. Disponível através de http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/pub1228_web.pdf (acesso em 10 de Dezembro de 2005).
- Shahandeh, H. & Hossner, L.R. 2002. Role of soil properties in phytoaccumulation of uranium. Water, Air and Soil Pollution, 141: 165-180.