



P
**ARA DESENVOLVER
A TERRA**
MEMÓRIAS E NOTÍCIAS
DE GEOCIÊNCIAS
NO ESPAÇO LUSÓFONO

Quinta-Ferreira, M., Barata, M. T.,
Lopes, F. C., Andrade, A. I.,
Henriques, M. H., Pena dos Reis, R.
& Ivo Alves, E.

Coordenação

ENSAIOS DE FITORREMEDIAÇÃO DE URÂNIO COM BASE NA LIXIVIAÇÃO DE ESCOMBREIRAS

PHYTOREMEDIATION TRIALS WITH LEACHATES FROM URANIUM TAILINGS

J. Pratas¹, F. Pita¹ & P. Canetas¹

Resumo – O presente trabalho pretende verificar a possibilidade de utilização da fitorremediação na descontaminação de escombrelas uraníferas. Para a realização deste trabalho foi selecionada uma antiga exploração mineira (Mina de Sevilha – Tábuia) e amostrados os materiais de escombrela aí depositados. Sabendo-se que existem várias espécies de macrófitas aquáticas capazes de acumular elevadas quantidades de urânio nos seus tecidos, tenta-se promover uma lixiviação das escombrelas para obter licores nos quais essas plantas seriam cultivadas. Para tal, recorre-se a técnicas de lixiviação com ácido cítrico, em alternativa à tradicional utilização de ácido sulfúrico como método de extração, vulgarmente utilizado na indústria mineira. Os licores gerados por este processo são, posteriormente, remediados através de macrófitas aquáticas acumuladoras.

A lixiviação de urânio das escombrelas com ácido cítrico evidenciaram um maior rendimento e, no final de 6 lixiviações sequenciais, a sua eficiência foi bastante superior (cerca de 71%), ao procedimento tradicional com ácido sulfúrico, cujo rendimento foi de apenas 19,4%.

Os ensaios de fitorremediação com culturas de *Lemna minor* permitiram verificar uma redução da concentração em urânio nos licores e o seu aumento nas plantas ao longo do tempo. Ao fim de sete dias conseguiram-se rendimentos de descontaminação dos licores da ordem dos 50% e ao fim de trinta dias conseguiram-se, em alguns casos, rendimentos da ordem dos 95%.

O processo indica uma elevada eficiência quer do processo de lixiviação quer do processo de acumulação de urânio pelas plantas. Porém, para a correta validação desta técnica como metodologia de remediação ambiental deverá ser analisada o tempo de permanência das macrófitas no licor, a biomassa utilizada, assim como a hipótese de lixiviação de outros metais pelo ácido cítrico e sua implicação no processo de fitorremediação.

¹ Departamento de Ciências da Terra da FCTUC, Centro de Geociências, jpratas@dict.pt; fpita@dict.pt

Palavras chave: urânio, escombreyras, lixiviação, ácido cítrico, fitorremediação, *L. minor*.

Abstract – *This work intends to verify the possibility of using phytoremediation in the descontamination of uraniferous tailings. For this work was been selected an old mining area (Sevilha mine – Tábua) and sampled the tailing materials deposited therein. Knowing that there are several species of aquatic macrophytes can accumulate high amounts of uranium in their tissues, we attempt to promote the leaching of tailings to obtain liquors in which these plants were cultivated. For such, it will be considered citric acid leaching techniques, in alternative to the traditional sulfuric acid method, vulgarly used in the mining industry. The resulting liquors generated from this process will be, later on, attenuated through accumulative aquatic macrophytes.*

The preliminary tests had evidenced a high contrast in the leaching process results. It was verified that, in the end of 6 sequential leachings, the citric acid solutions efficiency was amply superior (about 71%), whereas the application of the traditional sulfuric acid procedure, in the same conditions, the results were in the order of 19.4%.

*Essays of phytoremediation with cultures of *Lemna minor* allowed a reduction of the amounts of U in liquor and its increase in plants over time. After seven days led decontamination efficiency of liquors of approximately 50% and after thirty days have been, in some cases, efficiency of approximately 95%.*

The process indicates high efficiency of the leaching process as of the process of Uranium accumulation by the plants. Moreover, this process could reveal itself as a lower cost alternative to the traditional physical-chemical processes. However, for correct validation of this technique as an ambient remediation methodology the permanence time of the macrophytes in the liquor, the used biomass, as well as other metals leaching capabilities by citric acid must be analyzed and their implications in the phytoremediation process.

Keywords: *uranium, tailings, leaching, citric acid, phytoremediation, L. minor.*

1 – Introdução

A indústria mineira, como muitas outras atividades humanas, geram inúmeros resíduos sólidos, líquidos e gasosos, potencialmente perigosos devido ao seu conteúdo em contaminantes, como metais potencialmente tóxicos, radioatividade e efluentes de processos químicos (LOTTERMOSER, 2003). Em Portugal, durante vários anos, a indústria mineira constituiu uma das maiores riquezas nacionais, tendo proporcionado inúmeros postos de trabalho, bem como lucros económicos avultados pela sua exportação. O urânio constituiu nos anos 80 uma das maiores riquezas mineiras nacionais (MATOS DIAS *et al.*, 1980). No entanto, a atividade mineira deixou como herança níveis consideráveis de contaminação de urânio em várias zonas do país, como é o caso da Província Uranífera das Beiras, onde se insere o local de estudo. Contrariamente aos compostos orgânicos, os metais não podem ser degradados e a descontaminação de solos, com concentrações elevadas de metais, requer em geral a sua imobilização ou remoção física (BARCELÓ & POSCHENRIEDER, 2003). Um dos maiores perigos dos resíduos de urânio depositados em escombreyras resulta da sua dispersão e contaminação dos solos e de águas subterrâneas e superficiais, devido à percolação de urânio.

Assim, é importante o desenvolvimento de processos eficazes e mais baratos de monitorização e de descontaminação de modo a diminuir a dispersão dos contaminantes.

A fitorremediação surge como uma técnica alternativa de descontaminação de resíduos, inovadora, inócua, de custos mais reduzidos e de fácil aceitação pública, que se baseia na utilização direta de plantas acumuladoras na extração de elementos tóxicos nos resíduos (PIVETZ, 2001; PRASAD *et al.*, 2003; GHOSH & SPRINGH, 2005; PAULO, 2006). Existem plantas com capacidade de acumular o urânio, o que permite ponderar a hipótese de utilização das mesmas em sistemas de descontaminação, por exemplo de efluentes líquidos, utilizando a metodologia da rizofiltração.

São objetivos deste trabalho estudar a remediação de licores enriquecidos em urânio através da utilização de macrófitas aquáticas acumuladoras (*Lemna minor* L.) e implementar uma metodologia de extração seletiva que permita a remoção de urânio de escombrelas de modo a obter o maior rendimento possível. Para tal, recorrer-se-á a técnicas de lixiviação com ácido cítrico, em alternativa à tradicional utilização de ácido sulfúrico como método de extração vulgarmente utilizado pela indústria mineira. Este estudo seguiu duas etapas, a primeira de extração do urânio do material de escombrela e a segunda de descontaminação dos efluentes líquidos (licores) gerados através de técnica de fitorremediação.

2 – Localização

O presente estudo foi desenvolvido numa mina abandonada – mina de Sevilha – localizada no centro de Portugal, mais precisamente na zona de Tábua (Fig.1), constituindo atualmente uma escombrela pois ali foi depositado o minério de urânio, proveniente do processo extrativo, que na época da exploração apresentava baixo teor, sendo por isso considerado um estéril. Aquela zona insere-se na Província Uranífera das Beiras onde as litologias dominantes são os graníticos hercínicos porfíroides. Os minerais de urânio desta área são a pechblenda, a autunite e a torbernite (PAULO, 2006).

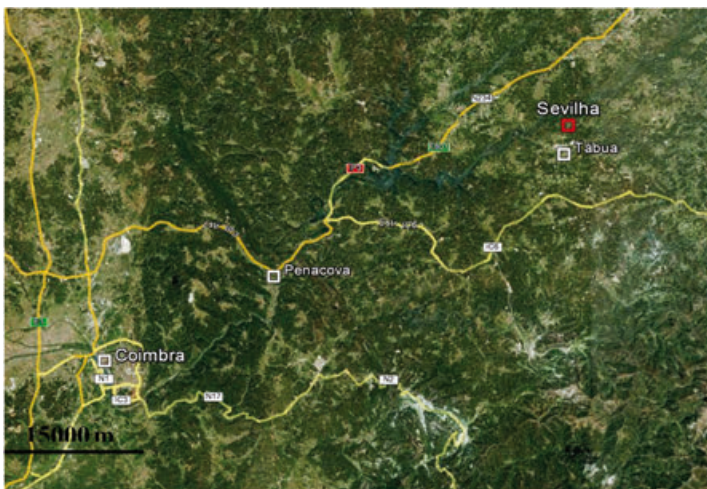


Fig. 1 - Imagem de localização da área de estudo Mina de Sevilha - Tábua (Google Earth, 2012).

3 – Metodologia

334

Na escombreira foram colhidas aleatoriamente três amostras de resíduos com cerca de 100 Kg de material. Em laboratório fez-se a sua análise granulométrica e a determinação do teor em urânio em cada lote granulométrico com o objetivo de analisar a distribuição do teor em urânio pelos vários lotes. A metodologia adotada para a lixiviação de urânio das escombreiras consistiu na execução de ensaios laboratoriais onde se utilizaram soluções de ácido cítrico e ácido sulfúrico, de igual pH, visando assim a análise do melhor tipo de lixiviante. A escolha destes ácidos teve como principal objetivo a comparação entre o método industrial tradicional (uso de ácido sulfúrico na lixiviação de minérios uraníferos de baixo teor) e uma alternativa que tivesse em conta: a) fatores de ordem económica (custo); b) fatores de ordem ambiental (inócuo e biodegradável); c) possibilidade de formação de compostos biodisponíveis para posterior recuperação por plantas bioacumuladoras. Estes ensaios consistiram em fazer percolar 500 ml de solução ácida sobre uma amostra de 500 g de material de escombreira com teores médios de 25 mg/kg, contido em tubos de percolação. Realizaram-se ensaios de lixiviação por percolação com sucessivos ataques por lixiviante virgem e com recirculação do lixiviante

Os ensaios de fitorremediação consistiram no desenvolvimento de culturas de *Lemna minor* L., nas quais o meio de cultura constou dos licores obtidos nos processos extractivos precedentes. Ao longo do desenvolvimento das culturas foram analisados os teores de urânio nas plantas e nos respetivos licores, ao fim 1, 2, 4 e 7 dias. As análises químicas foram efectuadas por fluorimetria utilizando o equipamento de Lumex Fluorat-02. A metodologia analítica seguiu o protocolo descrito por PAULO (2006).

4 – Resultados e Discussão

4.1 – Caracterização dos materiais

Os três materiais de escombreira apresentam granulometria similar (Tabela 1). Relativamente ao teor em urânio das várias frações constituintes dos três escombros, verifica-se que as mais finas apresentam maiores valores, tendo uma grande contribuição para o urânio existente nos três materiais (Tabela 1). No material 1 a fração mais grosseira apresenta um elevado teor em urânio, podendo ser consequência da heterogeneidade da constituição das partículas que constituem esta fração. Localmente encontraram-se algumas partículas de maiores dimensões ricas em autunite. Aquando da enquarteração e posterior amostragem esta heterogeneidade poderá ter sido parcialmente mantida e consequentemente originado valores elevados.

Dos resultados apresentados na Tabela 1 conclui-se que os teores médios de urânio para os materiais 1, 2 e 3, são respetivamente 31,02; 34,68 e 32,50 mg/kg. Os três materiais revelaram assim teores de urânio similares, o que permite concluir da homogeneidade do material ali existente.

Aquando da preparação dos tubos de percolação, verificou-se que as partículas de calibre superior a 16 mm não poderiam ser incluídas nos tubos por possuírem dimensões demasiado grandes. Por este motivo optou-se pela sua não inclusão no processo extrativo. Visto que os três materiais revelaram teores de urânio idênticas, seleccionou-se o ma-

terial 1 para posteriores ensaios de percolação. Sem aquela fração grosseira o teor médio de urânio deste material é de 25,09mg/kg.

Tabela 1 – Distribuição granulométrica e teor em urânio de cada fração.

| Frações (mm) | Análise granulométrica (%) | | | Teor em Urânio (mg/kg) | | | Contribuição de cada fração para o Urânio (%) | | |
|--------------|----------------------------|------------|------------|------------------------|------------|------------|---|------------|------------|
| | Material 1 | Material 2 | Material 3 | Material 1 | Material 2 | Material 3 | Material 1 | Material 2 | Material 3 |
| <0,5 | 8,13 | 12,12 | 11,47 | 104,55 | 78,66 | 82,33 | 27,41 | 27,49 | 29,05 |
| 0,5-0,7 | 2,59 | 4,17 | 2,94 | 64,67 | 39,24 | 43,62 | 5,40 | 4,72 | 3,94 |
| 0,7-1,0 | 3,04 | 4,53 | 3,50 | 49,89 | 41,22 | 35,24 | 4,89 | 5,38 | 3,79 |
| 1,0-1,4 | 4,35 | 5,86 | 4,97 | 29,35 | 32,62 | 47,79 | 4,12 | 5,51 | 7,31 |
| 1,4-2,0 | 5,95 | 6,76 | 6,45 | 38,20 | 31,66 | 27,54 | 7,33 | 6,17 | 5,46 |
| 2,0-2,8 | 7,31 | 7,69 | 8,05 | 13,81 | 23,41 | 31,23 | 3,26 | 5,19 | 7,73 |
| 2,8-4,0 | 9,66 | 10,08 | 11,19 | 33,09 | 18,84 | 23,77 | 10,31 | 5,48 | 8,18 |
| 4,0-5,6 | 9,73 | 9,21 | 10,77 | 8,79 | 27,79 | 15,43 | 2,76 | 7,38 | 5,11 |
| 5,6-8,0 | 14,94 | 13,32 | 16,27 | 2,71 | 13,94 | 24,35 | 1,31 | 5,35 | 12,19 |
| 8,0-11,2 | 9,46 | 9,38 | 9,14 | 5,54 | 19,59 | 28,46 | 1,69 | 5,30 | 8,00 |
| 11,2-16,0 | 10,63 | 9,37 | 7,74 | 2,80 | 40,48 | 20,94 | 0,96 | 10,95 | 4,99 |
| >16,0 | 14,20 | 7,50 | 7,52 | 66,75 | 51,17 | 18,37 | 30,57 | 11,07 | 4,25 |

4.2 – Percolação

Para o estudo da percolação com ácido cítrico e com ácido sulfúrico os testes foram desenvolvidos em três réplicas de material, num total de seis testes de percolação, e utilizou-se em cada passagem uma solução virgem de cada um daqueles ácidos a pH 2,5.

Verificou-se que os valores da concentração de urânio nos licores provenientes do processo extrativo utilizando-se soluções de ácido cítrico são superiores aos provenientes do processo extrativo utilizando-se as tradicionais soluções de ácido sulfúrico (Tabela 2). Pode concluir-se que as soluções de ácido cítrico se revelaram bastante mais eficazes na remoção de urânio do escombros. Partindo-se de um material com um teor médio inicial de urânio de 25,09 mg/kg, ao fim de uma série de 6 percolações, com o ácido cítrico conseguiu-se extrair 71,2% do urânio enquanto que com o ácido sulfúrico o rendimento foi de apenas 19,4%.

Tabela 2 - Concentração de U nos licores provenientes dos testes de percolação.

| | Concentração de urânio no licor (mg/L) | |
|---------------|--|-----------------|
| | Ácido cítrico | Ácido Sulfúrico |
| 1ª percolação | 1,304 | 0,027 |
| 2ª percolação | 3,113 | 0,193 |
| 3ª percolação | 7,178 | 0,529 |
| 4ª percolação | 1,800 | 0,870 |
| 5ª percolação | 2,993 | 1,577 |
| 6ª percolação | 1,478 | 1,680 |

Teoricamente seria de esperar que a capacidade de extração diminuísse ao longo do tempo, porém tal não se verificou. A concentração de urânio nos licores provenientes das sucessivas percolações com soluções de ácido cítrico aumenta até à terceira percolação, diminuindo de seguida, e no caso de soluções de ácido sulfúrico, a concentração de urânio nos licores vai aumentando ao longo do tempo. Este comportamento resulta do aumento do tempo de contacto (percolação) entre o ácido e o material à medida que se avança no número de percolações, resultado da diminuição da permeabilidade do material.

Também na percolação com ácido cítrico o pH desempenha um papel importante. O rendimento de extração por ácido cítrico diminui acentuadamente com o aumento do pH (Tabela 3). As soluções com menor pH permitiram obter licores com maiores concentrações em urânio. Para soluções percolantes de pH 3,5; 4,0 e 4,5 o rendimento de extração foi de apenas 10,2, 5,2% e 2,5% respetivamente.

Tabela 3 - Concentração de U nos licores provenientes dos testes de percolação, com soluções de ácido cítrico de diferentes pH.

| | Concentração de urânio no licor (mg/L) | | | | |
|----------------|--|----------|----------|----------|----------|
| | pH – 2,5 | pH – 3,0 | pH – 3,5 | pH – 4,0 | pH – 4,5 |
| 1ª percolação | 1,304 | 1,906 | 0,512 | 0,274 | 0,116 |
| 2ª percolação | 3,113 | 2,412 | 0,545 | 0,410 | 0,220 |
| 3ª percolação | 7,178 | 3,087 | 0,484 | 0,326 | 0,144 |
| 4ª percolação | 1,800 | 1,533 | 0,399 | 0,132 | 0,063 |
| 5ª percolação | 2,993 | 1,561 | 0,354 | 0,105 | 0,057 |
| 6ª percolação | 1,478 | 0,719 | 0,267 | 0,057 | 0,029 |
| 7ª percolação | 2,218 | 1,264 | | | |
| 8ª percolação | 1,503 | 0,657 | | | |
| 9ª percolação | | 0,730 | | | |
| 10ª percolação | | 0,724 | | | |
| 11ª percolação | | 0,810 | | | |
| 12ª percolação | | 0,719 | | | |

Nos testes visando o estudo da influência da utilização de lixiviante virgem ou recirculação do lixiviante, optou-se pelo uso de uma solução de ácido cítrico de pH 3,0, pois embora o rendimento de extração aumente com a diminuição do pH pretende consumir-se menor quantidade possível de ácido. Saliente-se que para preparar uma solução de ácido cítrico de pH 2,5 são necessárias 5 g de ácido concentrado por litro de solução, enquanto que para preparar a mesma solução a um pH de 3,0 são necessárias 0,5 g de ácido, 10 vezes menos do que na primeira solução.

Conclui-se que a lixiviação por recirculação do ácido cítrico conduz a menores rendimentos do que o uso de soluções virgens (Tabela 4). Naquele caso as soluções vão perdendo poder de dissolução ao longo das sucessivas percolações. Ao fim da quinta percolação a solução está perto do seu limite de saturação.

Tabela 4 - Concentração de urânio nos licores provenientes dos testes de percolação, realizados com reciclagem e sem reciclagem da solução percolante, com soluções de ácido cítrico de pH 3,0.

| | Concentração de urânio no licor (mg/L) | | Rendimento de extração acumulado (%) | |
|----------------|--|---------------------|--------------------------------------|---------------------|
| | Licor Reciclado | Licor não Reciclado | Licor Reciclado | Licor não Reciclado |
| 1ª percolação | 4,7148 | 5,236 | 18,79 | 20,89 |
| 2ª percolação | 5,8467 | 3,303 | 23,30 | 34,03 |
| 3ª percolação | 7,2756 | 2,313 | 29,00 | 43,25 |
| 4ª percolação | 8,2878 | 1,213 | 33,03 | 48,09 |
| 5ª percolação | 8,5061 | 1,110 | 33,90 | 52,51 |
| 6ª percolação | | 0,691 | | 55,27 |
| 7ª percolação | | 0,527 | | 57,37 |
| 8ª percolação | | 0,357 | | 58,79 |
| 9ª percolação | | 0,419 | | 60,46 |
| 10ª percolação | | 0,350 | | 61,85 |
| 11ª percolação | | 0,301 | | 63,05 |
| 12ª percolação | | 0,312 | | 64,30 |

4.3 – Fitorremediação

Foram realizados testes preliminares de fitorremediação com o objetivo de testar a eficácia da planta selecionada, *Lemna minor* L., na remoção de urânio nos licores provenientes do processo extrativo, com a realização de culturas hidropônicas daquelas macrófitas em um licor com uma concentração inicial de 3,6 ppm em urânio. Os resultados das variações das concentrações de urânio nas plantas e nas águas ao longo do tempo são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Concentração de urânio no licor (mg/L) e nas plantas (mg/kg) no decorrer dos testes de fitorremediação.

| | Licor | Plantas |
|--------|--------------------------|---------------------------|
| | Concentração de U (mg/L) | Concentração de U (mg/kg) |
| Início | 3,602 | 0,689 |
| 1 hora | 3,587 | 6,478 |
| 1 dia | 3,583 | 7,309 |
| 2 dias | 3,559 | 14,410 |
| 4 dias | 3,212 | 118,502 |
| 7 dias | 2,663 | 250,000 |

Ao longo do decurso dos ensaios verificou-se um aumento da concentração de urânio nas plantas, e um decréscimo proporcional na concentração em urânio nos licores. No entanto, o aumento de acumulação de urânio pelas plantas foi mais acentuado a partir do segundo dia. No final do tempo de permanência máximo da macrófita neste licor (7 dias) obteve-se uma redução da concentração de urânio no licor para 2,66 ppm, a que correspondeu um rendimento de extração pelas plantas de aproximadamente 25%. Conclui-se que o tempo de permanência da macrófita no licor é um fator de elevada importância na eficácia do processo.

Foi realizado um segundo conjunto de ensaios de fitorremediação sobre seis licores resultantes de sucessivas percolações de material, nos quais se prepararam novas culturas hidropônicas, tendo-se recolhido as plantas e licores ao fim de sete e trinta dias (Tabela 6). A experiência 1 corresponde a ensaios desenvolvidos com licores provenientes das primeiras percolações, a experiência 2 a ensaios com licores das segundas percolações, e assim sucessivamente.

Verificou-se um aumento da concentração de urânio nas plantas e um conseqüente decréscimo da sua concentração nos licores, comportamento que é mais acentuado, na maioria das experiências, até ao sétimo dia. Ao fim deste tempo, a redução da concentração de urânio nos licores apresentou valores na ordem dos 40-50%.

Durante o sétimo e trigésimo dia continua a verificar-se um aumento da concentração de urânio nas plantas, e a conseqüente diminuição da concentração de urânio nos licores, embora não tão acentuada como nos primeiros dias, sendo conseqüência provável da saturação ao metal pela planta. Este comportamento geral que se verifica em quase todas as experiências, não é visível na experiência 1, em que a concentração de urânio nas plantas aumenta também acentuadamente ao longo de todo o tempo, e na experiência 2, em que se verifica uma pequena diminuição da concentração de urânio nas plantas a partir do sétimo dia.

Ao fim de 30 dias, verificou-se que em todas as experiências houve uma diminuição acentuada da concentração de urânio nos licores. As experiências 3 e 5, foram as que revelaram um maior decréscimo na contaminação de urânio no licor, aproximadamente vinte vezes. Em todas as experiências, o rendimento do processo de descontaminação dos licores, ao fim de 30 dias, ultrapassou os 63%, tendo atingido em algumas valores da ordem dos 95%.

Tabela 6 – Concentração de urânio nos licores (mg/L) e nas plantas (mg/kg) no decorrer dos testes finais de fitorremediação.

| Concentração de urânio nos licores (mg/L) | | | | | | |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | Experiência 1 | Experiência 2 | Experiência 3 | Experiência 4 | Experiência 5 | Experiência 6 |
| Início | 3,206 | 2,856 | 2,002 | 1,234 | 1,096 | 0,518 |
| 7 dias | 1,802 | 1,171 | 0,928 | 0,645 | 0,649 | 0,284 |
| 30 dias | 0,493 | 0,667 | 0,109 | 0,451 | 0,074 | 0,166 |

| Concentração de urânio nas plantas (mg/kg) | | | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | Experiência 1 | Experiência 2 | Experiência 3 | Experiência 4 | Experiência 5 | Experiência 6 |
| Início | 0,697 | 0,697 | 0,697 | 0,697 | 0,697 | 0,697 |
| 7 dias | 207,884 | 270,011 | 201,476 | 122,684 | 113,689 | 44,171 |
| 30 dias | 532,838 | 230,199 | 264,643 | 172,545 | 173,033 | 57,344 |

A análise dos resultados obtidos indica que a espécie utilizada tem uma elevada capacidade de *uptake* de urânio em solução, o que se revela uma boa indicação para a sua viabilidade para aplicação na fitorremediação de águas contaminadas com urânio.

O processo desenvolvido e proposto deverá ser melhorado futuramente, nomeadamente no que respeita à influência da adição de ácidos orgânicos fracos na biodisponibilização de outros elementos, para além do estudado, e posterior acumulação pelas plantas, controlo de nutrientes e oxigenação da solução. Por fim, carece de um aspecto de extrema importância, uma aplicação *in situ*.

5 – Conclusões

Face aos resultados obtidos na etapa de extração, conclui-se que o ácido cítrico revela um elevado potencial na extração de urânio dos escombros, por percolação, comparativamente com o ácido vulgarmente usado na indústria mineira, H_2SO_4 , aumentando a solubilização deste elemento e potenciando a acumulação deste radionuclídeo pelas plantas. São inúmeras as vantagens da sua utilização, em particular o fato de ser um ácido biodegradável, não promover nem manter a acidez do terreno, contrariamente ao ácido sulfúrico, e ser de baixo custo.

Os resultados obtidos mostram que o ácido cítrico pode desempenhar simultaneamente duas funções, a de lixiviante capaz de dissolver e recuperar o urânio do material de escombros e a de agente quelatante que promove o aumento da biodisponibilidade do urânio, facilitando o processo de acumulação pelas plantas (EBBS *et al.* 1998, HUANG *et al.*, 1998, VANDENHOVE & VAN HEES, 2004).

Para soluções de ácido cítrico a pH 3 obtiveram-se rendimentos de extração do urânio de aproximadamente 75%.

A fitorremediação, nomeadamente a rizofiltração, para a descontaminação de efluentes líquidos contendo urânio pode ser uma alternativa aos processos físico-químicos tradicionais, tendo-se conseguido diminuições significativas da concentração em urânio dos licores, atingindo-se em alguns casos diminuições da ordem dos 95%.

Agradecimentos – Este trabalho foi financiado pela FCT (Projecto PTDC/CTE-GEX/66710/2006).

Referências Bibliográficas

- BARCELÓ, J., POSCHENRIEDER, C. (2003) – Phytoremediation: principles and perspectives. *Contributions to Science*, 2 (3): 333-344. Barcelona.
- EBBS, S.D., BRADY, D.J., KOCHIAN, L.V. (1998) - Role of uranium speciation in the uptake and translocation of uranium by plants. *Journal of Experimental Botany*, 49, pp. 1183-1190.
- GHOSH, M. & SINGH, S. P (2005) – A Review on Phytoremediation of heavy metals and utilization of its products. *Applied Ecology and Environmental Research* 3 (1) pp. 1-18. Hungary.
- GOOGLE EARTH. Acedido a 06/02/2012.
- HUANG, J.W., BLAYLOCK, M.J., KAPULNIK, Y. & ENSLEY, B.D. (1998) - Phytoremediation of Uranium-Contaminated soils: Role of organic acids in triggering uranium Hyperaccumulation in plants. *Environ. Sci. Technol.* 32, pp. 2004-2008.
- MATOS DIAS, J.M. & MACHADO DA COSTA, J. M. (1980) – Aspectos geológico-mineiros dos jazigos uraníferos em exploração pela Empresa Nacional de Urânio. *Comum. Serv. Geol. Portugal*, 66. pp. 167-175.
- LOTTERMOSER, B.G. (2003) - *Mine Wastes – Characterization, treatment and environmental impacts.* Verlag Berlin Heidelberg, pp. 3-16.
- PAULO, C.J.F.S. (2006) *Seleção de Plantas Aquáticas e Perspectivas na Fitorremediação de Escorrências Uraníferas.* Dissertação para obtenção de grau de Mestre, Instituto Superior Técnico. pp. 25-29.
- PIVETZ, B. E. (2001) – Phytoremediation of contaminated soil and ground water at hazardous waste sites. *Ground Water Issue. Technology Support Project.* EPA.

PRASAD, M. N. V. & FREITAS, H. M. O. (2003) - Metal hyperaccumulation in plants – Biodiversity prospecting for phytoremediation technology. *Electronic Journal of Biotechnology*, 6, pp. 285-305.

VANDENHOVE, H. & VAN HEES, M. (2004) - Phytoextraction for clean-up of low-level uranium contaminated soil evaluated. *Journal of Environmental Radioactivity*, 72, pp. 41-45.