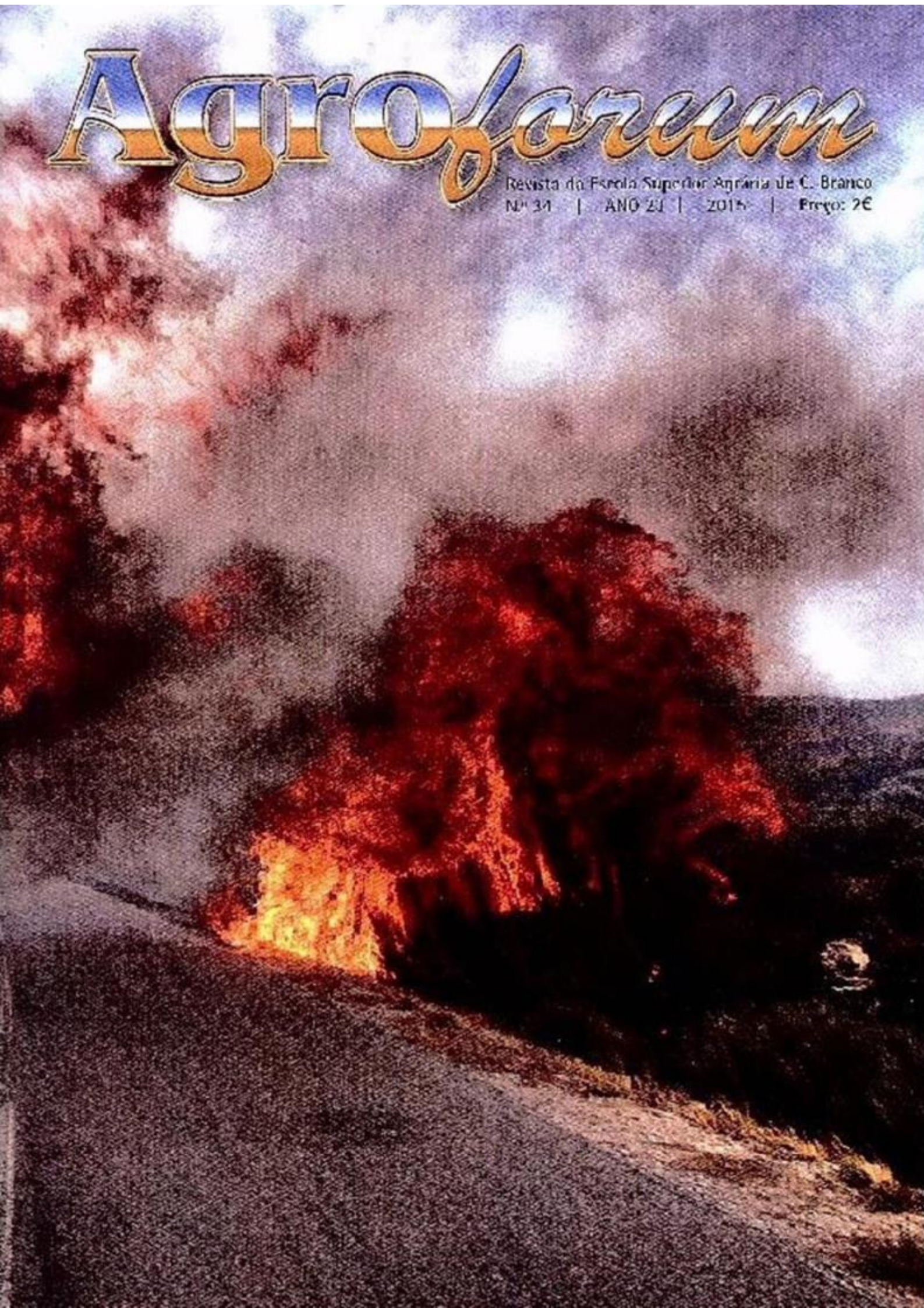


# Agroforum

Revista da Escola Superior Agrária de C. Branco  
N.º 31 | ANO 21 | 2018 | Preço: 2€





Publicação Semestral  
Ano 23, n.º 34  
Junho, 2015

Diretor  
Celestino Almeida

Editor Científico  
Presidente do Conselho Técnico Científico  
João Paulo Batista Carneiro

Editor, Redação e Sede  
Escola Superior Agrária do  
Instituto Politécnico de C. Branco  
Quinta da Sr.ª de Mércules  
6001 - 909 CASTELO BRANCO  
Telef.: 272339900  
Fax.: 272339901  
Email:  
agroforum@ipcb.pt  
tmc@ipcb.pt  
erodrigues@ipcb.pt

[www.ipcb.pt/ESA/index.php/agroforum](http://www.ipcb.pt/ESA/index.php/agroforum)

Conselho Redatorial  
Teresa Marta Lupi O. Caldeira  
Maria Eduarda Rodrigues

Conceção e execução gráfica  
Tomás Monteiro

Impressão e Acabamentos  
Serviços Gráficos IPCB

Tiragem  
500 exemplares

Depósito Legal n.º 39426/90  
ISSN: 0872-2617

As teorias e ideias expostas no presente número são da inteira responsabilidade dos seus autores.

Tudo o que compõe a revista pode ser reproduzido desde que a proveniência seja indicada.

Os artigos publicados podem ser depositados, por arquivo ou auto arquivo, no Repositório Científico do IPCB.

## Risco ambiental em áreas mineiras abandonadas de urânio – – gestão e monitorização Environmental risk in uranium abandoned mining areas – management and monitoring

### RESUMO

No presente trabalho é apresentado um estudo comparativo entre duas antigas explorações mineiras de urânio, atualmente abandonadas, localizadas na região uranífera das Beiras. A mina de Canto Lagar está situada no planalto beirão, próximo de Gouveia (distrito da Guarda), enquanto a mina de Mondego Sul se localiza mais a oeste, junto da povoação de Ázere (distrito de Coimbra). A exploração destas duas áreas mineiras decorreu entre 1987 e 1991, a céu aberto, tendo sido extraídas cerca de 90 toneladas de materiais, cujos rejeitados se encontram depositados em escombrelas, sem qualquer plano de intervenção ambiental.

O principal objetivo deste trabalho consiste na identificação e comparação das principais vulnerabilidades e riscos ambientais associados às atividades mineiras de urânio nas duas áreas em estudo, particularmente a nível dos solos nas suas zonas envolventes.

Susana Andrade  
Escola Superior Agrária,  
Instituto Politécnico  
de Castelo Branco,  
Portugal.  
susanasearapires@sapo.pt

Isabel Margarida  
Antunes  
Escola Superior Agrária,  
Instituto Politécnico  
de Castelo Branco,  
Portugal.  
imantunes@ipcb.pt

Teresa Albuquerque  
Escola Superior  
de Tecnologia,  
Instituto Politécnico  
de Castelo Branco,  
Portugal.  
teresal@ipcb.pt

Os resultados foram obtidos a partir de amostras de solo colhidas na área de influência das minas e à montante das mesmas. De acordo com os resultados obtidos os solos colhidos encontram-se contaminados não devendo ser utilizados para qualquer fim pois apresentam teores superiores aos limites definidos para espaços públicos e residenciais, comerciais e industriais.

A área mineira de Mondego Sul será mais problemática relativamente à mina de Canto Lagar devido à sua localização geográfica com o rio Mondego.

**Palavras-Chave:** Canto Lagar, medidas de segurança, minas de urânio abandonadas, Mondego Sul, riscos ambientais.

### ABSTRACT

In this paper we present a comparative study between two ancient mining of uranium, currently abandoned, located in uranium region of the Beiras. Canto Lagar mine is located in the Beira plateau, near Gouveia (Guarda district), while Mondego Sul mine is located further west, near the village of Ázere (Coimbra district). The exploitation of these two open mining areas occurred between 1987 and 1991, with a production of almost 90 tons of materials, which rejected are stored in heaps without any environmental intervention plan.

The main objective of this work is the identification and comparison of the main environmental vulnerabilities and risks of mining uranium activities in both areas of study, particularly at the level of the soil in their surroundings.

The results were obtained from soil samples taken in the area of influence of the mines and the amount thereof. The soils collected in the area of influence of these mines are contaminated and cannot be used for any purpose, according to the maximum concentration limits defined for public and residential areas as well as commercial and industrial sites.

Mondego Sul mine will be more problematic in relation to Canto Lagar mine due to its geographical location with the Mondego River.

**Keywords:** abandoned uranium mining, Canto Lagar, environmental risks, Mondego Sul, security measures

### 1. INTRODUÇÃO

Desde sempre que o Homem explora os recursos minerais com vista à obtenção de matérias-primas que pos-

sam satisfazer as suas necessidades. Contudo, ao longo dos anos, devido a fatores económicos e tecnológicos, a exploração e o encerramento de instalações industriais de produção e tratamento de minérios tem vindo a ser fortemente controlada (Candeias e Mirão, sem data).

Nas últimas décadas, e em especial na década de 90, com a evolução tecnológica, os aspetos ambientais tornaram-se num importante vetor de desenvolvimento das sociedades mais evoluídas. O aumento das exigências ambientais, suportado pela introdução de legislação mais restritiva, e alguma estagnação nas cotações das matérias-primas, levou a que muitas das explorações mineiras deixassem de ser economicamente viáveis. Portugal seguiu essa tendência e grande parte da indústria mineira, tradicionalmente de pequenas dimensões, foi drasticamente reduzida. Atualmente pode ser considerado como extremamente reduzido o número de unidades em exploração, sendo realizada em minerais do grupo dos sulfuretos e minérios associados (Pereira et al., 2003).

O urânio é um elemento químico de símbolo U, com número atómico 92 e massa atómica de 238,04, contudo, existe na natureza sob a forma de outros dois isótopos, nomeadamente o U-234 e o U-235. O urânio é um metal pesado, radioativo, muito duro e denso (densidade = 18.7 g/cm<sup>3</sup>), de cor branco prateado, ocorrendo no estado sólido à temperatura ambiente, tendo sido descoberto em 1789, pelo cientista alemão Martin Heinrich Klaproth.

O urânio é um importante constituinte de mais de 100 espécies minerais, associado particularmente às terras raras. A sua concentração média na crosta terrestre (clarke) está estimada em cerca de  $4 \times 10^{-7}$  %, ou seja, 4 ppm. Encontram-se vestígios de urânio em quase todas as rochas, por vezes com quantidades inferiores a 0,003 ppm, enquanto nos depósitos minerais ocorre em concentrações superiores a 350 ppm (Raguin, 1961).

O primeiro jazigo urano-radífero português data de 1907, tendo sido em 1913 atribuída a primeira concessão para exploração mineira de minérios radioativos – mina da Rosmaneira – concelho do Sabugal e, mais tarde, iniciada a extração de urânio (Nunes, 1983). Portugal dispõe de uma vasta experiência na exploração de minérios radioativos, particularmente na região centro, onde proliferaram, durante quase um século (1907 – 2001), explorações de minérios de urânio nos granitos do Maciço Hespérico, na conhecida região “Uranífera das Beiras” (Neiva, 2003).

A maioria dos depósitos uraníferos ocorre nos distritos de Viseu, Guarda, Coimbra e Portalegre, sendo os dois primeiros que concentram o maior número de explorações mineiras. O urânio foi explorado em diversas minas, das

quais se salientam as minas de Urgeiriça, Bica, Castelejo, Cunha Baixa, Quinta do Bispo e Pinhal de Souto (Neiva et al., 2014).

O urânio (U-238) possui um tempo de meia vida elevado, nomeadamente de  $4,5 \times 10^9$  anos, o que lhe permite permanecer no ambiente por milhões de anos. No solo, a retenção de urânio pode ocorrer por processos como a adsorção ou a troca catiónica, mas sem capacidade em reduzir os seus efeitos (Lee et al., 2005).

Atualmente, todas as explorações de urânio cessaram a sua atividade e, a maioria, está abandonada sem qualquer plano de recuperação ambiental, pois não foram tomadas medidas ambientais de encerramento por inexistência de legislação aplicável. Os primeiros estudos ambientais, referentes às antigas minas abandonadas, iniciaram-se em 1994 - 1995. Nesses locais, as consequências fazem-se sentir com diferentes níveis de impacto, de acordo com a complexidade das situações e evidenciam tanto riscos radiológicos como não radiológicos para o ambiente e para a saúde humana (Falcão, 2005).



Fig 1. - Escobreiras de uma mina de urânio abandonada (Mina de Mortórios, Mortágua)

No processo de extração e processamento de minérios de urânio são produzidos e acumulados elevados volumes de materiais rejeitados, resultantes de restos de rochas e resíduos mineiros, constituindo as escombrelas de minas (Fig. 1).

As escombrelas são constituídas por materiais soltos de diferentes granulometrias, sendo a sua vegetação natural um processo incipiente. Entre a mineralogia das rochas e filões de quartzo mineralizados que as constituem, encontram-se sulfuretos metálicos e minerais de urânio que, por oxidação, podem produzir soluções ácidas capazes de mobilizar os elementos metálicos presentes. Desta forma, o vento e a água de precipitação constituem os principais agentes de erosão e transporte de contaminantes. Nestas zonas cria-se um forte potencial de contaminação de solos, sedimentos de linha de água e águas (Kipp et al., 2009; Gómez et al., 2006; Lottermoser e Ashley, 2005; Lottermoser et al., 2005). Os elementos metálicos radioativos, provenientes das escombrelas, são transportados por lixiviação dos materiais depositados sem qualquer proteção (Almeida, 2009).

Um dos principais riscos associados às escombrelas e lagoas de mina das antigas minas de urânio (Fig. 2) é a emissão de radiação por parte dos materiais que as constituem, entre as quais se destaca a radiação gama, como a mais penetrante no organismo humano (Gusmão, 2008). No seguimento desta problemática pode considerar-se ainda, a emissão do gás radão, um dos produtos resultantes do processo de decaimento do urânio que, na sequência de decaimento do U-238, apresenta um tempo de meia vida de 3,8 dias. Este gás entra no organismo humano através da inspiração, podendo constituir uma das principais causas de cancro no pulmão.

A contaminação associada a minas de urânio tem sido observada em todo o mundo. Na Europa, a maior fonte de contaminação para os solos resulta não só dos resíduos provenientes das explorações de urânio, como também dos resíduos da indústria extrativa que contém radionuclídeos em menores proporções (Duquêne et al., 2005). Além da sua toxicidade como metal pesado, o urânio possui também efeitos radiotóxicos nefastos e a sua libertação a partir de escombrelas de minas de urânio abandonadas constitui um foco de poluição ambiental, considerando que cerca de 70% da atividade original do urânio permanece nos rejeitados. Os radionuclídeos presentes nos rejeitados apresentam maior mobilidade e são quimicamente mais reativos do que no minério original, tornando-se suscetíveis de entrar no ambiente por lixiviação e arraste de poeiras (Dinis e

Fiúza, 2005). Nestes locais é também frequente a ocorrência de drenagens ácidas ricas em radionuclídeos naturais como o urânio e o rádio, metais pesados e sulfatos, que possibilitam a contaminação de solos, sedimentos de corrente, águas superficiais e subterrâneas e do ar, (Petrova, 2005). Estas áreas representam também um risco potencial para os seres humanos e animais através da exposição direta aos materiais mineralizados, inalação de poeiras radioativas ou ingestão de alimentos e águas contaminadas por radionuclídeos suscetíveis de se transferirem para a cadeia alimentar (Campos et al., 2003).



Fig 2. - Lagoas de uma mina de urânio abandonada (Mina de Canto Lagar, Óuveia)

Em Portugal, estão identificados cerca de sessenta minas de urânio exploradas durante o século 20 para produção de rádio e urânio e atualmente abandonadas (EDM, 2009). Estas atividades mineiras originaram cerca de 13 milhões de toneladas de resíduos sólidos depositados em escombrelas localizadas em diversos locais no centro e norte do país (Carvalho et al., 2007). A exploração de urânio cessou em 2001, tendo sido seguida pela aprovação de um plano de recuperação ambiental para as antigas explorações mineiras abandonadas com vista a eliminar os fatores de risco para a saúde pública, permitindo uma

valorização ambiental, cultural, económica e regional e garantindo a preservação do património ambiental (DL n.º 198-A/2001).

Qualquer atividade mineira tem associados impactos negativos para o ambiente, sobretudo quando se encontram abandonadas e não existe controlo ambiental, daí que as minas de urânio estejam classificadas como prioritárias em termos de reabilitação face ao grau de risco radiológico para a zona envolvente (EDM, 2009). Contudo, os riscos ambientais das minas de urânio abandonadas em Portugal têm sido pouco estudados e documentados (Pinto et al., 2004; Antunes et al., 2011; Neiva et al., 2014).

Diversos estudos mostram que os processos de recuperação de áreas mineiras abandonadas são longos. Muitos anos, após o início dos processos de remediação, alguns metais e metalóides podem ocorrer dissolvidos na água por libertação a partir dos sedimentos (Galán et al., 2002). Em Portugal, não são conhecidos os efeitos dos processos de remediação em áreas de minas de urânio abandonadas.

As minas de urânio promovem contaminação significativa, tanto a nível ambiental como para a saúde humana, dada a natureza dos elementos químicos associados, elevada mobilidade e risco radiológico, sendo necessária uma identificação e caracterização dos riscos ambientais, para posterior definição de adequadas medidas de remediação e monitorização.

O presente trabalho tem como objetivo identificar as principais vulnerabilidades e riscos ambientais associados às atividades mineiras de urânio, atualmente abandonadas, na zona centro de Portugal. Esta caracterização terá por base o estudo comparativo de dois casos identificados e reconhecidos como risco ambiental Canto Lagar e Mondego Sul, nomeadamente a nível dos solos nas suas áreas envolventes.

Após a identificação e caracterização dos principais riscos ambientais nestas áreas mineiras poderão ser analisadas e propostas medidas de gestão e monitorização e a sua aplicação em áreas semelhantes. Neste ponto, será dado particular destaque aos intervenientes nos diversos processos e ações, a nível de elaboração e atuação, nomeadamente na área técnico-científica da proteção civil nacional.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Área de estudo

A área de estudo centralizou-se no interior centro de Portugal Continental, onde estão localizadas a maioria das minas abandonadas (Fig. 3).

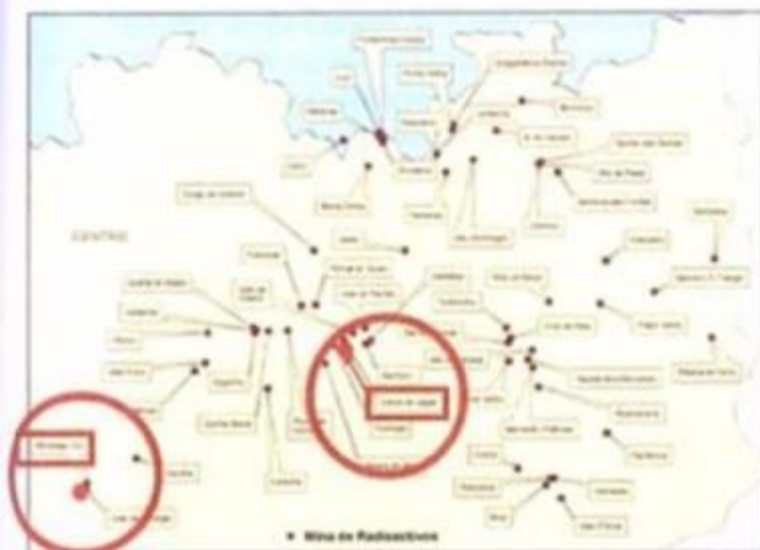


Fig 3. - Localização das áreas mineiras em estudo (EDM, 2011)

As minas de Canto Lagar e de Mondego Sul localizam-se, respetivamente, no concelho de Gouveia, distrito da Guarda e no concelho de Tábua, distrito de Coimbra.

A exploração mineira de Canto Lagar está situada na freguesia de Arcozelo da Serra, concelho de Gouveia, distrito da Guarda (Fig. 4).

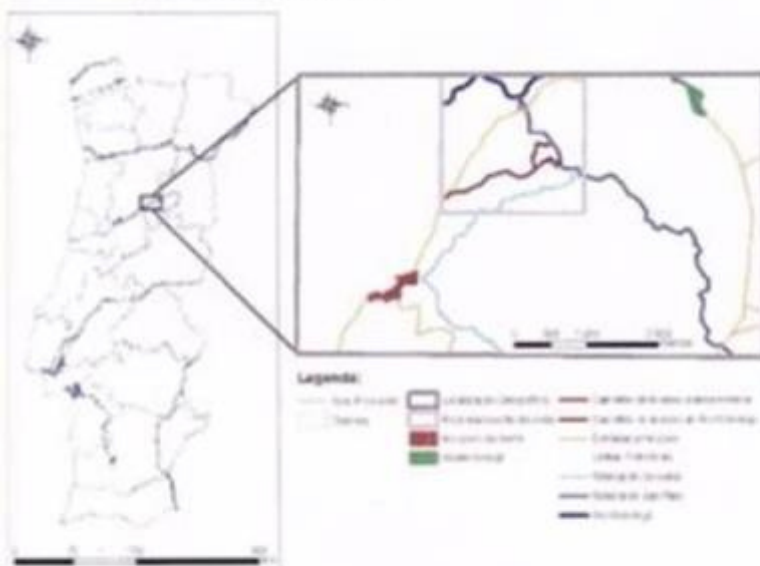


Fig 4. - Localização Geográfica da área mineira de Canto do Lagar, (Ribeiro, 2010)

A área de exploração mineira de Canto Lagar situa-se aproximadamente a 2,5 km para NE de Arcozelo da Serra e a 2,5 km para SW de Ribamondego (Fig. 4).

Trata-se de uma exploração mineira a céu aberto, com um área aproximada de 5 000m<sup>2</sup>, em flanco de encosta, explorada entre 1987 e 1988, atualmente com duas escombreciras (1 milhão toneladas) tendo produzido cerca de 12

toneladas de U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> (Trióxido de urânio), com teor médio de 0,137% de U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> (EDM, 2003). Após cessada a sua exploração em 1988, a pedreira ficou parcialmente inundada por águas pluviais. A existência de um dreno escavado, para evitar o transbordamento de água, conduz o caudal resultante através de um tributário (de regime torrencial) à confluência com a Ribeira de São Paio (Ribeiro, 2011).

Nesta área mineira existe ainda, uma lagoa de mina, (Fig. 5) que conjuntamente com os materiais das escombreciras, se encontra exposta à ação dos agentes atmosféricos, constituindo uma possível fonte de contaminação para os solos e águas existentes na sua envolvente (EDM, 2003).



Fig 5. - Lagoa de mina e escombreciras da mina de Canto Lagar

A exploração mineira de Mondego Sul situa-se na freguesia de Ázere, concelho de Tábua, distrito de Coimbra (Fig. 6).



Fig 6. - Localização geográfica da área mineira de Mondego Sul (Almeida, 2009)

Os aglomerados populacionais mais próximos desta área de exploração mineira são Ázere, (Fig. 6) localizado a

1,5 km a NE da mina, e Pinheiro de Azere a cerca de 2 km a NW desta (Almeida, 2009).

Um possível acesso à mina é feito em direção à albufeira da barragem da Agueira que passa pela mineralização. A área mineira está localizada numa encosta de declive acentuado para SW junto da albufeira da Agueira.

Foi explorada a céu aberto entre 1987 e 1991, com a produção de cerca de 75 toneladas de minério com um teor médio de 0,095% de  $U_3O_8$ . Atualmente possui uma lagoa a céu aberto associada a diversas escombrelas (área = 52000  $m^2$ ; 425 mil toneladas de material) (Almeida, 2009), com uma vegetação incipiente, favorecendo o transporte de contaminantes por fenómenos erosivos e deslizamentos e, conseqüente, libertação e dispersão de radionuclídeos e outros elementos nocivos para os solos, sedimentos de corrente, zonas de céu aberto e albufeira de barragem (Fig. 7).

A pedraira foi inundada com água, o que possibilita que sejam desencadeadas reações de oxidação de sulfuretos e dissolução de metais e exposta juntamente com as suas escombrelas à ação do ar, água e bactérias oxidantes.

Estas minas ficam situadas perto da Barragem da Agueira e anexas ao rio Mondego, constituindo um perigo ambiental (Diário de Notícias, 2014).



Fig 7. - Lagoa de mina e escombrelas da mina de Mondego Sul

## 2.2. Metodologia

Para este estudo efetuou-se uma recolha de amostras de solos em pontos selecionados, localizados a montante da área mineira, para caracterização do fundo geoquímico e na zona de influência das antigas explorações, nos locais onde a concentração de elementos provenientes das zonas mineralizadas pudesse ser mais significativa.

As amostras foram secas na estufa a 40°C, temperatura indicada para evitar eliminar água da amostra e interromper

possíveis reações, no laboratório de preparação de amostras e separação de minerais do Departamento de Ciências da Terra, da Universidade de Coimbra. Em seguida, as amostras foram desagregadas e peneiradas tendo sido retirada a fração para análise química. A determinação analítica dos elementos metálicos e metalóides foi obtida por ICP-MS (Inductively coupled plasma mass spectrometry - Espectrofotometria de massa por ionização acoplada por plasma), nos Serviços Interdepartamentais de Investigação (SIQI) da Universidade Autónoma de Madrid e no Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra.

Na ausência de legislação portuguesa relativa a valores paramétricos para solos, foi considerado o Decreto Ministerial nº 471 de 1999 (Itália) que define os valores de concentração limite no solo para espaços públicos e residenciais, comerciais e industriais, enquanto para o urânio se recorreu ao limite superior considerado na literatura - 5 mg/kg (Ribeira et al., 1996). Foram, ainda, considerados os intervalos de variação encontrados em Portugal Continental para todos os elementos em estudo (Salminen et al., 2005).

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Enquadramento geomorfológico

A área de estudo da exploração mineira de Canto Lagar (Fig. 8) encontra-se na região designada por "Granito das Beiras" (Carvalho, 1997), também conhecida por região "Uranífera das Beiras" (Neiva, 2003).



Fig 8. - Localização da área mineira de Canto Lagar (Ribeiro, 2011)

Nesta região, a unidade geológica dominante é o granito porfiróide de duas micas, predominantemente biotítico. O jazigo é constituído por duas brechas de esmagamento, paralelas ao granito porfiróide. Apresenta-se muito silicificado, sericitizado, jasperizado e avermelhado, numa largura aproximada de 10 metros e com direcção média de N30°E. Estas brechas estão acompanhadas por dois fíloes delgados, de quartzo branco brechificado, ferruginoso e jasperizado, com calcedónia, jaspe vermelho e opala, de

inclinação aproximada de 70° a 80° para NW. Estes fíloes encontram-se afastados cerca de 6 metros (EDM, 2003).

Quanto à geomorfologia da área, o relevo é menos acidentado junto à Ribeira de São Paulo, a norte da exploração mineira de Canto Lagar; sendo bastante acidentado junto à mesma linha de água, a este da exploração, bem como, na zona do céu aberto (Fig. 9) podendo concluir-se que a exploração mineira se situa num local com relevo acentuado sujeito a uma forte erosão.



Fig. 9. - Fotografias da área envolvente da mina de Canto do Lagar. a) Relevo junto à Ribeira de São Paulo a N da exploração mineira; b) e c) Relevo junto à Ribeira de São Paulo a E da exploração mineira e d) Encontro do céu aberto (Ribeiro, 2011).

Do ponto de vista geomorfológico, a mina de Mondego Sul, enquadra-se no antiforma compreendido entre os sinclinais Ordovícicos do Buçaco e de Arganil (Medina e Alonso, 1991). Situada na margem este da albufeira de Aguieira, é parte integrante da plataforma do Mondego, ampla superfície deprimida, que a bacia hidrográfica daquele rio entalhou até profundidades de 100-150 m (Ferreira, 1978).

Na região, é evidente o contraste entre um relevo suave na área granítica, materializado por ondulações moderadas, com altitudes da ordem dos 225 m, e as formas mais vigorosas das formações metassedimentares com altitudes máximas de 288 m sobre a crista quartzítica. Embora exibindo, em certas zonas, acentuadas diferenças de altitu-

de, a região mostra-se uniforme quando observada no seu conjunto, apresentando-se segundo um plano inclinado que desce suavemente para WSW (Martins, 1959).

### 3.2. Enquadramento hidrográfico

Em termos de hidrografia, a região da área mineira de Canto Lagar, está inserida na bacia hidrográfica do rio Mondego (Fig. 10), possuindo diversas linhas de água das quais se destacam as Ribeiras de Gouveia (a Sul) e São Paulo (a SSE-NNW) e o próprio Rio Mondego, como recetor das águas provenientes das linhas de água anteriormente referidas.



Fig 10. - Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Mondego [Diário da República 2002]

Na antiga superfície de aplanção, onde se insere a mina de Mondego Sul, localizam-se os dois principais cursos de água da região - os rios Dão e Mondego (Fig. 10) que estão instalados em vales muito encaixados de vertentes íngremes, com escorrência de NE para SW, seguindo os principais sistema de fratura em paralelismo quase geométrico até às proximidades da sua confluência na albufeira (Martins, 1959).

A área ocupada pela exploração mineira abandonada da mina de Mondego Sul desenvolve-se na direção NW-SE, ao longo de uma extensão aproximada de 400 m. É drenada por pequenas linhas de água de regime torrencial que confluem diretamente na albufeira da Agueira. A mina de Mondego Sul situa-se na margem Este desta albufeira, verificando-se que o bordo SW do céu aberto dista apenas 10 m do nível pleno de armazenamento (Almeida, 2009).

### 3.3. Clima

A classificação climática das áreas mineiras em estudo tem por base a classificação proposta por Köppen (Miranda, 2009), tendo em consideração que as duas áreas mi-

neiras têm uma localização geográfica aproximada, distam cerca de 60Km uma da outra, pertencem ambas à classe Csb (Fig. 11), correspondente a um clima temperado com Invernos suaves e Verões longos e frescos (Miranda, 2009).

### 3.4. Uso e ocupação do solo

Segundo a Carta de Ocupação de Solo de 1990 (COS90), na área mineira de Canto Lagar ocorrem diversas manchas de ocupação de solo, destacando-se as de culturas anuais, olival, sequeiro, vegetação arbustiva baixa - matos, outras folhosas conjuntamente com solos sem cobertura vegetal.

Na região de Ázere predominam cambissolos - solos pouco desenvolvidos, (Cardoso et al., 1973). A área mineira de Mondego Sul apresenta predominantemente duas classes de solo: uma de natureza medíocre ou má, indicada para pastagens ou ocupação florestal, e outra com aptidão agrícola, apresentando boa capacidade de retenção e de armazenamento de água e boa drenagem (COS90).

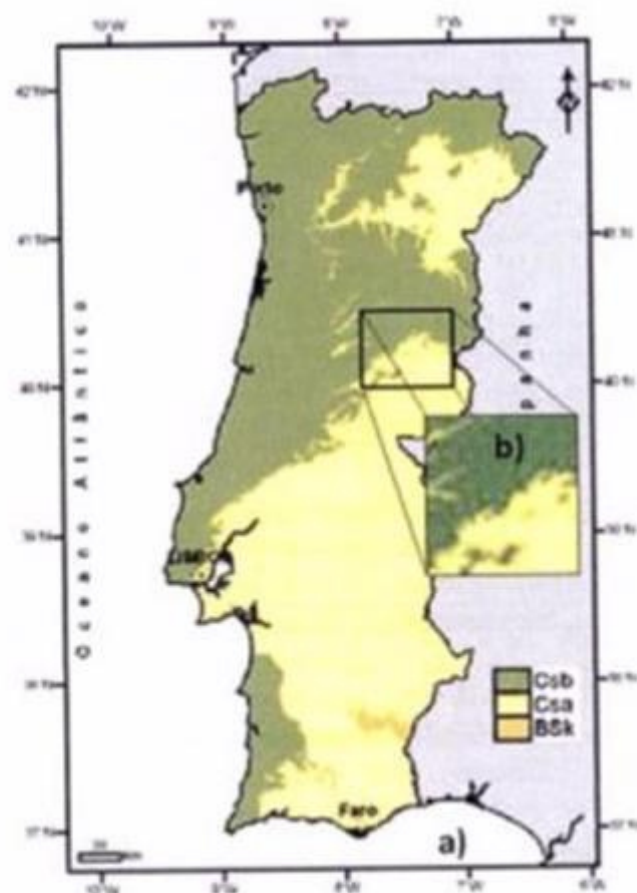


Fig 11. - Classificação climática das áreas mineiras em estudo: a) para Portugal Continental e b) ampliação do local onde se encontram as áreas mineiras de Canto do Lagar e Mondego Sul [adaptado do Instituto de Meteorologia, 2008].

### 3.5. Identificação de Vulnerabilidades Ambientais

A atividade mineira tem associados impactos negativos para o ambiente, sobretudo quando se encontra abandonada e não existe controlo ambiental. As minas de urânio são classificadas como prioritárias em termos de reabilitação face ao grau de risco radiológico para a zona envolvente (EDM, 2009). Nestes locais, os efeitos ambientais nocivos derivam do processamento do minério durante a atividade extrativa e da excessiva emissão de radão associada aos rejeitados (Paulo, 2006).

O urânio é o radionucléido mais frequente na contaminação de solos (Riley et al., 1992) estando associado aos rejeitados das escombrelas de minas de urânio e representando uma importante fonte de poluição ambiental (Petrova, 2005). A mobilidade dos metais e radionucléidos a partir das escombrelas permite a sua migração através

do solo e contamina as águas superficiais e subterrâneas (Dinis e Fiúza, 2005) podendo, também, entrar na cadeia alimentar (Soudek et al., 2005).

### 3.6. Avaliação do grau de contaminação e poluição

O solo é composto por material resultante da alteração química e física de rochas (matéria mineral) com restos de plantas e animais (matéria orgânica) e seres vivos. O solo pode derivar de processos naturais ou provenientes da ação do homem, tornando-se bastante importante a avaliação do risco ambiental associado a áreas mineiras abandonadas, pela sua capacidade de dissolução de elementos metálicos e metalóides (Costa, 2004).

Para a avaliação do risco ambiental associado a estas áreas mineiras estudaram-se os elementos químicos presentes nos solos, a sua mobilidade e consequente distribuição espacial na área de influência das atividades mineiras abandonadas (Ribeiro, 2011). Para tal, foram colhidas 12 amostras de solo localizadas a montante da mina de Canto Lagar e 23 amostras a jusante; em Mondego Sul foi colhida 1 amostra de solo a montante e 3 amostras a jusante. Os teores mínimos, máximos e médios obtidos para alguns elementos seleccionados nestas duas áreas de estudo são apresentados na tabela 1. As concentrações obtidas a montante da área de estudo representam o teor de fundo e permitem identificar potenciais amostras contaminadas, bem como, a distribuição espacial dos riscos ambientais associados a esta atividade.

Na área mineira de Canto Lagar, não foram encontradas diferenças significativas entre o teor de fundo e os solos na área de influência mineira, o que poderá ser justificado pela possível existência de outras mineralizações nas proximidades. De um modo geral, os solos da área mineira apresentam teores mais elevados de Cr, Th, U, Co e Ni do que o teor de fundo, os quais estarão associados a esta atividade (Fig. 12). Os teores de fundo para Mn e Sn são superiores aos das áreas mineiras estudadas estando relacionados com as litologias presentes.

Os solos, na área de influência da mina de Mondego Sul, apresentam teores mais elevados de Cr, Cu, Zn, As, Pb, U, Co e Ni do que o teor de fundo obtido, o que estará diretamente associado às atividades mineiras existentes (Fig. 13).

Os solos colhidos nas áreas em estudo são enriquecidos em Cr, Cu, Zn, As e Pb quando comparados com os valo-

Tab. 1. - Teores de elementos em solos nas áreas em estudo e valores de referência

	Fe (%)	Mn ppm	Cr ppm	Cu ppm	Zn ppm	As ppm	Pb ppm	Sn ppm	Th ppm	U ppm	Ca ppm	Ni ppm
<b>Mondego Sul</b>												
Montante da área mineira	3.49	209.0	34.0	25.6	202.0	37.0	29.5	5.4	18.9	13.3	10.2	16.5
Jusante da área mineira												
mín	3.06	65.0	58.0	27.8	92.0	32.0	25.2	1.2	20.4	22.9	9.4	29.9
máx	3.67	95.0	72.0	31.8	212.0	66.0	203.0	2.0	11.6	51.7	13.7	33.9
média	3.32	77.0	63.7	29.6	164.3	45.7	73.1	1.7	20.8	40.5	11.6	31.5
<b>Canto Lagar</b>												
Montante da área mineira												
mín	1.53	182.1	4.6	6.0	63.7	11.2	14.0	3.9	22.5	13.1	2.5	0.0
máx	2.43	756.3	8.0	171.4	109.6	52.5	22.9	6027.6	51.0	195.6	4.5	5.6
média	1.97	425.4	6.0	32.3	86.2	20.7	18.2	468.2	33.9	87.0	3.4	2.4
Jusante da área mineira												
mín	1.53	168.8	3.4	3.1	58.0	9.5	9.1	3.2	15.8	0.0	2.3	0.0
máx	2.42	475.9	431.4	41.5	134.9	60.5	32.8	14.1	4207.4	1561.1	4.9	18.5
média	1.92	299.5	25.1	11.8	80.9	26.7	19.5	6.0	211.8	158.5	3.6	4.0
<b>Teores de referência</b>												
1	-	-	150	120	150	30	100	1	-	5*	-	-
2	-	-	800	600	1500	50	1000	350	-	-	-	-
3	0.4-3.5	250-4500	8.0-26.0	3.0-27.0	13.0-85.0	5.0-31.0	7.0-32.0	-	7.2-75.9	2.0-51.2	3.0-21.0	3.0-35.0

Legenda: min - mínimo; máx - máximo. 1. Espaços públicos e residenciais; 2. Espaços comerciais e industriais (Decreto Ministerial, 1999); 3. Intervalo variação de teores em Portugal [Salminen et al., 2005]. \* Ribera et al., 1996.

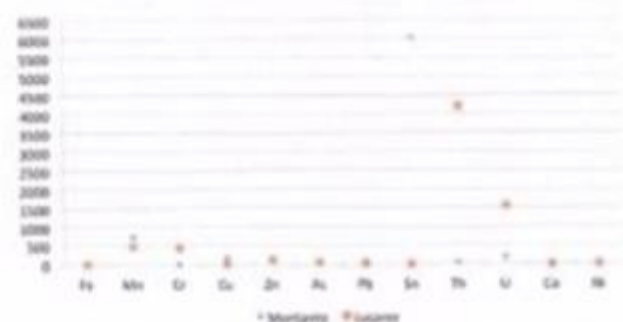


Fig 12. - Distribuição de teores de elementos obtidos nos solos de Canto Lagar (% para o Fe e ppm para os restantes elementos)

res médios obtidos para Portugal Continental (Salminen et al., 2005). A área mineira de Canto Lagar apresenta teores ainda, mais elevados de Th e U (Tab. 1).

Os solos da área mineira de Mondego Sul apresentam teores de As, Zn, Sn e Pb superiores aos admitidos para solos públicos, privados e de residência humana e pontualmente com teores de As que impedem a sua utilização em espaços comerciais e industriais (Fig. 14) pelo que estão poluídos nestes elementos químicos.

Na área mineira de Canto Lagar, os solos não podem ser utilizados para espaços públicos, privados ou residenciais por apresentarem teores de Cr e Cu superiores aos limites paramétricos (Fig. 15). Estes solos também não poderão ser utilizados em espaços comerciais e industriais devido aos seus teores em As e Sn (Fig. 15). Quanto ao teor de U obtido nos solos destas áreas mineiras, este ex-

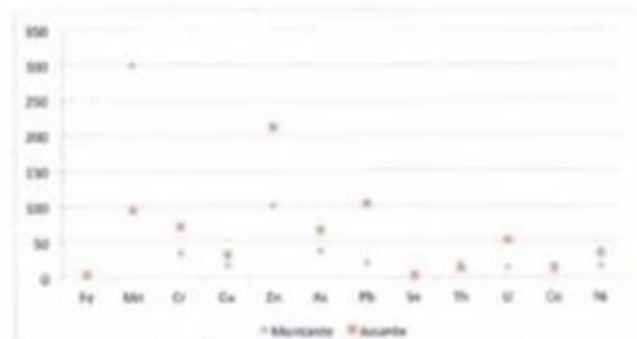


Fig 13. - Distribuição de teores de elementos obtidos nos solos de Mondego Sul (% para o Fe e ppm para os restantes elementos)

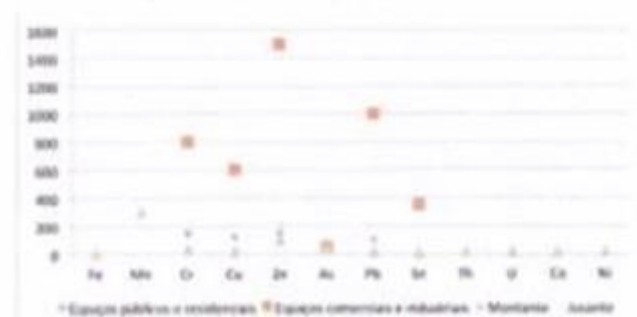


Fig 14. - Comparação dos teores obtidos na área mineira de Mondego Sul e os valores legislados (% para o Fe e ppm para os restantes elementos)

cede largamente o limite máximo considerado (Ribera et al., 1996) impedindo a sua utilização para qualquer fim.

Em termos ambientais a mina de Canto do Lagar, não é considerada como fortemente poluída, no entanto as

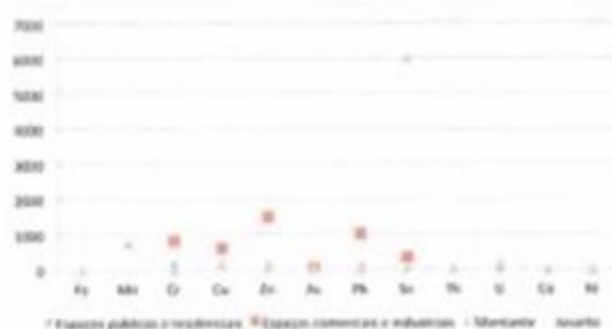


Fig 15. - Comparação dos teores obtidos na área mineira de Canto Lagar e os valores legislados [% para o Fe e ppm para os restantes elementos]

quantidades de minério acumulado nas escombrelas são uma emissão diária de radiação, além disso a exposição junto a linhas de água promove o seu arrastamento pelas águas de escorrência, podendo entrar no sistema de rega dos solos agrícolas envolventes.

Apesar das semelhanças entre as minas em estudo em termos de localização geográfica, tipo de clima, geologia, a mina Mondego Sul é muito mais problemática devido à sua localização próxima com o rio Mondego, pois este é utilizado para abastecimento público de água à região.

### 3.7. Risco ambiental

A magnitude dos problemas a nível de segurança, associados às escombrelas sem qualquer trabalho de recuperação ou estabilidade, depende de diversos factores como sejam: o tipo de material explorado, quantidade de estereis produzidos, métodos construtivos da escombrela, a topografia e a vegetação envolvente (ITGE, 1989). Nas áreas mineiras de Mondego Sul e Canto Lagar é frequente a ocorrência de problemas de instabilidade geomecânica, principalmente nas escombrelas com deslizamentos e queda de blocos. Estas condições resultam da fraturação intensa, associada ao desmonte para exploração e da ocorrência predominante de materiais soltos com diferentes granulometrias, sendo a revegetação natural bastante incipiente.

A mineralogia das rochas e filões de quartzo mineralizados que ocorrem nestas áreas mineiras inclui a ocorrência de sulfuretos metálicos e minerais de urânio que, por oxidação, podem produzir soluções ácidas capazes de mobilizar os elementos metálicos existentes (Almeida, 2009). Estas zonas mineiras atualmente abandonadas constituem uma potencial fonte de contaminação de solos, sedimentos

de linha de água e linhas de água, através da lixiviação de metais pesados e radioativos provenientes das escombrelas e depositados sem qualquer proteção.

Nas minas de Mondego Sul e Canto Lagar os principais focos de contaminação resultam tanto dos elementos metálicos e metalóides expostos à superfície pela exploração a céu aberto, como da acumulação de materiais rejeitados nas escombrelas.

Relativamente às áreas mineiras, encontram-se definidos no Decreto-Lei n.º 198-A/2001 de 6 de julho os objetivos e princípios que deverão ser seguidos na recuperação e monitorização ambiental das áreas mineiras degradadas, com vista a eliminar os factores de risco para a saúde pública, permitindo uma valorização ambiental, cultural, económica e regional e garantindo a preservação do património ambiental (DL n.º 198-A/2001).

As explorações mineiras constituem uma atividade nociva para o ambiente desde a abertura - onde ocorrem atividades de fragmentação, remoção e moagem, que levam a um aumento da superfície específica dos minerais, tornando-os susceptíveis a alterações químicas (Antunes et al., 2002) - até ao seu encerramento, principalmente se após o fim da exploração não se procederem a ações de recuperação que possibilitem a reutilização das áreas degradadas possibilitando a extensão do problema a nível espacial e temporal.

## 4. DISCUSSÃO

### 4.1. Gestão e monitorização de áreas mineiras abandonadas

63

Todas as explorações de urânio cessaram a sua atividade e, a sua maioria, está abandonada sem qualquer plano de recuperação ambiental, pois não foram tomadas medidas ambientais de encerramento, por inexistência de legislação aplicável no momento. Atualmente, nesses locais, as consequências fazem-se sentir, com diferentes níveis de impacto, de acordo com a complexidade das situações e evidenciam riscos, radiológicos e não radiológicos, para o ambiente e para a saúde humana (Falcão, 2005).

As seis décadas de exploração e extração de urânio na Europa geraram um vasto conjunto de resíduos mineiros considerados no projeto - Uranium Mine and Mill Tailings (UMMT) (Falck, 2008) para remediação e recuperação de áreas mineiras. A remediação de sítios UMMT tem como principais

objetivos a interrupção de vias de exposição radiológica e não radiológica e a estabilização mecânica destes locais em dinâmicas ambientais, como a erosão (Falck, 2008).

A evolução espacial e temporal dos reservatórios ambientais destas áreas mineiras promove a implementação de algumas medidas de monitorização, nomeadamente, a recolha de amostras de água superficiais e subsuperficiais ao longo de vários pontos localizados a montante e a jusante da área de influência mineira, o estudo sazonal de diversos parâmetros físico-químicos e elementos químicos com, pelo menos, uma colheita na época de chuva mais abundante e na época mais seca e o estudo temporal que poderá ser de 5 em 5 anos, por se tratar de uma mina de urânio abandonada (Gavrilescu et. al., 2009).

As áreas em estudo não estão classificadas como fortemente poluídas. Contudo, no sentido de minimizar os efeitos ambientais associados, dever-se-á considerar a remoção urgente das escombrelas para um centro destinado ao tratamento destes materiais, visto que estes representam uma fonte de exposição à grande maioria dos elementos metálicos e metalóides analisados e às radiações ionizantes associadas. Como sugestão pode ser indicado o centro de tratamento de minérios marginais do Castelejo (Concelho de Gouveia - Guarda) (EDM, 2003) por ser o tipo de tratamento mais adequado, permitindo uma prevenção da exposição e consequente eliminação da sua fonte (Gilbert, 2004). Outras medidas que poderão ser implementadas e realizadas "in situ" são a atenuação natural das escombrelas, a lavagem e impermeabilização do solo, a solidificação dos contaminantes, a conversão química dos contaminantes em formas solúveis na água, a imobilização química, a remoção química do urânio, a biomineralização através de microorganismos, a fitoestabilização, a fitodegradação ou a fitotransformação (Gavrilescu, et. al., 2009).

Os elevados teores da maioria de elementos metálicos e metalóides encontrados nas escombrelas (e.g., Fe, As, Zr, Th) tornam estas áreas desaconselhadas para utilização em qualquer atividade, bem como representam um elevado risco ambiental visto que poderão promover a contaminação da sua zona envolvente, quer por mobilidade, quer por escorrência superficial e subsuperficial. Dado que estas áreas se localizam em zonas rurais e em situações de contaminação associada, os campos agrícolas existentes poderão ser facilmente afetados, promovendo a contaminação de pessoas e animais que recorrem aos produtos agrícolas aí existentes.

O estudo de anomalias geoquímicas em solos e outros reservatórios ambientais, tal como apresentado neste tra-

balho, promove a identificação e localização de zonas com maior probabilidade de contaminação. Com este conhecimento, será possível a aplicação de medidas de monitorização e minimização adequadas.

## 4.2. Medidas de segurança para minimizar os impactos nas minas abandonadas

Dado que a maioria das explorações mineiras estão atualmente abandonadas, para além dos riscos ambientais existentes, surgem também múltiplos problemas de segurança associados que, independentemente da sua dimensão, podem provocar graves danos para as populações envolventes.

Muitas das explorações mineiras desenvolvem-se em locais de difícil acesso, em que poços, galerias e escarpas se encontram muitas vezes escondidas entre vegetação que, entretanto, se desenvolveu espontaneamente nesses locais, (EDM, 2011)

Num país de florestas, mas também com tradição na exploração do solo, as zonas mineiras abandonadas, com áreas de abatimentos e subsidências, galerias, poços mineiros, escarpas verticalizadas sem proteção, construções e edifícios mineiros em ruínas, constituem alguns dos perigos comuns. Acresce ainda que muitas destas situações ocorrem em habitats protegidos que impõem medidas cautelares para as intervenções, o que leva a que as atuações a nível de segurança justifiquem o desenvolvimento de projetos, (EDM, 2011).

Como ações simples de segurança, podem ser indicadas a identificação/localização de galerias e poços, a colocação de sinalética adequada, a desmatação prévia das áreas mineiras, a vedação de cortas e áreas de risco menos conhecidas e de ruínas. Estas medidas revelam-se de enorme utilidade até que intervenções mais adequadas e eficazes sejam aplicadas.

## 5. CONCLUSÕES

O sector mineiro detém uma importância relevante na economia moderna, tanto em termos locais como nacionais, devido ao contributo para o abastecimento da matérias-primas essenciais a uma vasta gama de atividades industriais (EDM, 2011).

Neste sentido, as empresas foram forçadas a adotar valores económicos, ambientais e sociais distintos dos considerados num passado recente e a incorporarem na sua gestão, políticas, práticas e tecnologias que reduzam marcadamente os danos ambientais e sociais, no ciclo de vida dos projetos, nomeadamente na fase de encerramento (EDM, 2011).

Existe, contudo, um vasto legado negativo associado às minas abandonadas cuja exploração, no passado, não observou tais princípios e sem que tenha sido possível acautelar os prejuízos causados e fazer assumir as responsabilidades por quem os originou. Estas áreas mineiras inativas ou em situação de abandono podem então conduzir a danos irreparáveis nos ecossistemas, sendo os estudos de impacto ambiental extremamente importantes, na medida em que permitem identificar os riscos inerentes e promover medidas de minimização e monitorização.

Um dos principais perigos associados a locais contaminados reside na potencial mobilização e lixiviação de substâncias químicas através do solo, sempre que ultrapassada a sua capacidade de retenção, com consequente contaminação das águas superficiais e subterrâneas. Assim, através desta via, o Homem, bem como os organismos terrestres, ficam expostos aos contaminantes do solo visto que as águas subterrâneas são geralmente a principal fonte de água para consumo humano (Neves, 2011).

As medidas propostas para gestão e monitorização das áreas mineiras em estudo são as indicadas para a continuidade de um sistema que é urgente manter e conservar em boas condições ambientais, tanto a nível da estabilização dos taludes de aterros, como do isolamento das irradiações até à recuperação paisagística final.

Importa, ainda, referir que está em curso um extenso programa de reabilitação das áreas mineiras abandonadas, desenvolvido pela Empresa de Desenvolvimento Mineiro (EDM, 2011) concessionária exclusiva do Estado Português para atividade de recuperação ambiental das áreas mineiras degradadas (DL n.º 198 - A/2001, de 6 de julho).

De acordo com a EDM, já existem projetos de requalificação para ambas as minas em estudo, nomeadamente o projeto "Obra de Remediação Ambiental da Antiga Área Mineira de Canto Lagar - Obras e Acompanhamento" e o projeto "Obra de Remediação Ambiental da Antiga Área Mineira do Mondego Sul". Para a mina de Canto Lagar estão previstas as seguintes atividades: (1) Remoção de escombrelas para corta local; (2) Colocação de dispositivo tipo piezómetro para monitorização da área em aterro; (3) Implantação de um sistema de drenagem superficial perimetral e interno; (4) Recuperação paisagística da área. No

caso da mina de Mondego Sul estão previstos os seguintes trabalhos: (1) Trabalhos de beneficiação da corta de superfície relacionados com a estabilização geotécnica de taludes, a criação de acessos, a construção de um patamar de segurança e de degraus de pequeno declive; (2) Estabilização geotécnica da escombrela de maiores dimensões; (3) Decapagem e remoção de áreas constituídas por materiais com maiores níveis de radiometria; (4) Construção de sistemas de drenagem; (5) Recuperação paisagística da área.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Azevedo, C. (2008). *Impacte Ambiental de Antigas Explorações Mineiras de Urânio na Região Centro de Portugal (Mondego Sul)*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Geociências, Especialidade Ambiente e Ordenamento, no Departamento de Ciências da Terra, na Universidade de Coimbra.
- Antunes, I. M. H. R.; Neves, A. M. R.; Silva, M. M. V. G. (2002). The mineralized veins and the impact of old mine workings on the environment at Segura, central Portugal. *Chem. Geol.* 190: 417-431.
- Antunes, S.C., Pereira, R., Marques, S.M., Castro, B.B., Gonçalves, F. (2011). Impaired microbial activity caused by metal pollution. A field study in a deacidified uranium mining area. *Sci Total Environ.* 410-11, 87-95.
- Candias A., Mirão J., - Minas abandonadas um problema sério, [www.uevora.pt/~uevora/~jernas\\_abandonadas\\_um\\_problema\\_serio.pdf](http://www.uevora.pt/~uevora/~jernas_abandonadas_um_problema_serio.pdf), consultado a 11 de dezembro de 2014
- Candias A., Mirão J., *Riscos Geoquímicos em Minas Abandonadas*, consultado a 11 de dezembro de 2014
- Campos, A. B. A.; Pereira, A. J. S. C.; Neves, L.J.P.F. (2003) - "Distribuição do rádio na área do jazigo de urânio de Nisa." *IV Congresso Brasileiro de Geoquímica - XII Semana de Geoquímica, Resumos*, pp. 313 - 315.
- Cardoso, J. C.; Bessa, M. T. e Marsdo, M. B. (1972) - "Carta dos Solos de Portugal (1:2000 000).
- Carvalho, A.M.G. Lisboa. (1997). *Geologia - Petrogênese e Orogênese*, Universidade Alerta, pp 38-53.
- Carvalho, F.P., Madruga, M.J., Reis, M.C., Alves, J.G., Oliveira, J.M., Oliveira, J., Silva, L. (2007). Radioactivity in the environment around past radium and uranium mining sites of Portugal. *Journal of Environmental Radioactivity* 98: 39-46.
- Costa, J.B. Lisboa. (2004). *Caracterização e constituição do solo: Constituintes do Solo*, 7ª Edição, Fundação Calouste Gulbenkian, pp 14-15.
- Decreto Ministeriale n° 471. (1998). *Regolamento recante criteri, proceduri e modalit  per la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale dei siti inquinati, ai sensi dell'articolo 17 del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n°22, e successive modificazioni e integrazioni*, Gazzetta Ufficiale n°293 de 15/12/1998, Supplemento Ordinaria n°218.
- Diário da República. (2001) - "Decreto-Lei n° 198-A/2001 de 6 de julho" Série IAN/155 - 1-7.
- Diário da República Decreto Regulamentar n° 3/2002 de 1 de março
- Divis, M. L.; Filiz, A. (2002) - "Simulation of liberation and transport of radium from uranium tailings" in Merkel, B. J.; Heische-Berger [ed] - "Uranium in the Environment: mining impact and consequences." Springer-Verlag, Berlin, pp. 609-618.
- Diário de Notícias. (2014) - *Perfil de requalificação de antigas minas de urânio*, consultável em: [http://www.dn.pt/novicas/economia/interior\\_sga/tauentent\\_id=2571906](http://www.dn.pt/novicas/economia/interior_sga/tauentent_id=2571906), consultado a 08 de janeiro de 2015

- Duquène, L.; Vandenhove, H.; Tack, F.; Avoort, E.; Wannijn, J.; Hees (2005) – "Phytoavailability of uranium: influence of plant species and soil characteristics" In Merkel, B. J.; Hasche-Berger (eds) – "Uranium in the Environment: mining impact and consequences." Springer-Verlag, Berlin, pp. 467-476.
- Empresa de Desenvolvimento Mineiro, (2003) – Relatórios Internos (não publicados).
- Empresa de Desenvolvimento Mineiro, (2009), consultável em: www.edm.pt.
- Empresa Desenvolvimento Mineiro, (2011) – A Herança das minas abandonadas – O enquadramento e a actuação em Portugal.
- Falcão, (2005). MINURAR - Minas de urânio e seus resíduos.
- Falck, W.E., (2008). The long-term safety of uranium mine and mill tailing legacies in an enlarged EU. JCR Scientific and Technical Reports 1-33, European Communities, Luxembourg. DOI: 10.2790/2318.
- Ferreira, A. de Brum (1978) – "Planaltos e montanhas do Norte da Beira". Estudo de Geomorfologia, Lisboa, pp. 1-347.
- Galán, E., González, I., Fernández-Callani, J. C. (2002). Residual pollution load of soils impacted by the Aznalcóllan (Spain) mining spill after clean-up operations. *Sci. Total Environ.* 286, 167-179
- Gavrilescu, M., Pavel, L. V., Cretescu, I. (2009). *Journal of Hazardous Materials* 163, Elsevier B. V., pp 475-510.
- Gilbert, S. G. (2004). A small dose of toxicology: The Health Effects of common chemicals. CRC Press LLC., pp 18; 122-130; 149-150.
- Gómez, P., Garralón, A., Buil, B., Turrero, M.J., Sánchez, I., De la Cruz, B. (2006). Modeling of geochemical processes related to uranium mobilization in the groundwater of a uranium mine. *Sci. Total Environ.*, 366, 295-309
- Gusmão, (2008). Caracterização da radioactividade ambiente e contributo para análise de risco – Aplicação à área da antiga mina da Freixiosa. Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Geológica (Georrecursos)
- ITGE, (1989) – "Manual de Restauracion de Terrenos y Evaluacion de Impactos Ambientales em Minería, 2ª edición. Madrid: Instituto Tecnológico Geominero de España.
- Kipp, G.G., Stone, J.J., Stetler, L.D. (2009). Arsenic and uranium transport in sediments near abandoned uranium mines in Harding County, South Dakota. *Applied Geochemistry*, 24, 2246-2255
- Lee, J-U; Kim, S-M; Kim, K-M; Kim, I.S. (2005) – "Microbial removal of uranium in uranium-bearing black shale. *Chemosphere* 59: 147-154
- Lottermoser, B.G., Ashley, P.M. (2005). Tailings dam seepage at the rehabilitated Mary Kathleen uranium mine, Australia. *Journal of Geochemical Exploration*, 85, 119-137.
- Lottermoser, B.G., Ashley, P.M., Costelloe, M.T. (2005). Contaminant dispersion at the rehabilitated Mary Kathleen uranium mine, Australia. *Environmental Geology*, 48, 748-761.
- Martins, J.A. (1959) – "Nota Explicativa da Folha 221 (Tábua). Junta de Energia Nuclear.
- Medina, J.; Alonso, R. (1991) – "O Complexo Xisto-Grauváquico (Grupo das Beiras) na região da Barragem da Aguieira – Litostratigrafia e Estrutura" Memórias e notícias, Publ. Mus. Lab. Mineral Geol. Univ. Coimbra, n.º 112, 573-581.
- Miranda, P. M. A. Lisboa. 2009. Meteorologia e Ambiente - Fundamentos de Meteorologia, Clima e Ambiente Atmosférico., Segunda Edição., Universidade Aberta., pp 277-284.
- Neiva, A.M.R., Carvalho, P.C.S., Antunes, I.M.H.R., Silva, M.M.V.G., Santos, A.C.T. (2014). Contaminated water, stream sediments and soils close to the abandoned Pinhal do Souto uranium mine, central Portugal. *Journal of Geochemical Exploration*, 136, 102-117.
- Neiva, J.M.C. (2003). Jazigos portugueses de minérios de urânio e sua gênese., In: Ferreira, M. R. P. V. (ed): A Geologia de Engenharia e os Recursos Geológicos., Livro em honra do Prof. J. M. Cotelto Neiva., Imprensa da Universidade de Coimbra.
- Neves, A.L.C. (2011). Risco ambiental associado às explorações mineiras abandonadas da Mata da Rainha (Penamacor). Tese para a obtenção do grau de Mestre em Monitorização de Riscos e Impactos Ambientais no Instituto Superior de Castelo Branco. 51pp.
- Nunes, A. (1983). A geologia económica e a indústria mineira através dos tempos. *Geonovas* 5, pp. 67-114
- Paulo, C. J. F. S. (2006) – "Seleção de plantas aquáticas e perspectivas na fitorremediação de escorrências uraníferas." Tese para a obtenção do grau de mestre. Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, pp. 119
- Pereira, A.J.S.C.; Neves, L.J.P.F.; Godinho, M.M.; Dias, J.M.M. (2003) – "As mineralizações de urânio e a radioactividade natural em Portugal: factores geológicos condicionantes e implicações para o ordenamento do território" In: Ferreira, M.R.P.V. (ed): A Geologia de Engenharia e os Recursos Geológicos, Livro em Honra do Prof. J. M. Cotelto Neiva. Imprensa da Universidade de Coimbra.
- Petrova, R. (2005) – "Accumulation of natural radionuclides in wooden and grass vegetation from abandoned uranium mines. Opportunities for phytoremediation" In Merkel, B. J.; Hasche-Berger (eds) – "Uranium in the Environment: mining impact and consequences." Springer-Verlag, Berlin, pp. 507-513
- Pinto, M. M. S. C., Silva, M. M. V. G., Neiva, A. M. R. (2004). Pollution of water and stream sediments associated with the Vale de Abruçiga uranium mine, central Portugal. *Mine, Water and the Environment*, 23, 66-75.
- Raguin, E. (1961) – *Géologie des Gites Miéaux*. Masson et Cie, 686 p.
- Ribera, D.; Labrot, F.; Tisnerat, G. Et Narbonne, J.F. (1996) – "Uranium in the Environment: Occurrence, Transfer and Biological Effects." *Rev. Environ. Cont. Toxicology*, 146, 53-80.
- Ribeiro, A. (2011) – Avaliação do Risco Ambiental de uma mina de urânio (Gouveia, Centro de Portugal). Dissertação apresentada ao Instituto Politécnico de Castelo Branco para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Monitorização de Riscos e Impactes Ambientais.
- Riley, R.J., Zachara, J. M.; Wobber, F. J. (1992) – "Chemical contaminants on DOE lands and selection of contaminant mixtures for subsurface science research DOE/ER-0547T." DOE Office of Energy Research Report
- Salminen, R., Batista, M.J., Bidovec, M., Demetriades, A., De Vivo, B., De Vos, W., Duris, M., Gilucis, A., Gregorauskiene, V., Halamic, J., Heitzmann, P., Lima, A., Jordan, G., Klaver, G., Klein, P., Lis, J., Locutura, J., Marsina, K., Mazreku, A., O'Connor, P.J., Olsson, S.A., Ottesen, R.T., Petersell, V., Plant, J.A., Reeder, S., Salpetateur, I., Sandstrom, H., Siewers, U., Steenfelt, A., Tarvainen, T. (2005). FO-REGS Geochemical Atlas of Europe. Methodology and Maps (Part 1, 526pp; Part 2, 690pp).
- Soudek, P.; Valenova, S.; Vanek, T. (2005) – "Study of radiophytoremediation on heavily polluted area in South Bohemia" In Merkel, B. J.; Hasche-Berger (eds) – "Uranium in the Environment: mining impact and consequences." Springer-Verlag, Berlin, pp. 519-524

## AGRADECIMENTOS

O presente estudo foi desenvolvido no âmbito da Unidade Curricular Seminário do Curso de Pós-Graduação em Proteção Civil (ano letivo 2013/2014). Os autores expressam o seu agradecimento aos professores da Unidade Curricular Celestino Almeida, Cristina Alegria e Francisco Lucas.

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que, de forma direta ou indireta, me ajudaram a concluir este trabalho

que culmina com esta etapa da minha vida académica. Agradeço à Professora Doutora Isabel Margarida Horta Ribeiro Antunes, minha orientadora, pelo seu trabalho incansável como tal, por todos os ensinamentos, amizade, preocupação, disponibilidade, pelas suas palavras nos momentos oportunos, pela sua ajuda, pelo esclarecimento

de questões pontuais e pela leitura e crítica do trabalho. À professora Doutora Maria Teresa Durães Albuquerque, pela disponibilidade, conhecimentos transmitidos, leitura e crítica do trabalho. E ainda à minha irmã, Ana Seara, todo o apoio prestado, na transmissão de conhecimentos e leitura, análise e crítica do trabalho.

